



Hiomakoneen suunnittelu

Heikki Renkola

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

HEIKKI RENKOLA:
Hiomakoneen suunnittelu

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2014

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella hiomakone yritykselle Puusepäntoiminta Ari Renkola. Yritys on valmistanut alihankintana puisia kynttilänjalkoja Crosspine Oy:lle jo yli kymmenen vuoden ajan. Kynttilänjalat on hiottu käsin aikaisemmin, mikä on työläin vaihe kynttilänjalan valmistuksessa. Yrittäjä tilasi opinnäytetyön kynttilänjalkojen hiontaan tarkoitetusta koneesta, koska markkinoilta ei löytynyt tarkoitukseen sopivaa ratkaisua.

Kynttilänjalat ovat kolmionmuotoisia ja niissä on toisella sivulla jyrsketty profiili. Niistä hiotaan kolmion sivut ja profiilit. Vaatimukset hiomakoneelle olivat siis, että sillä pystytään hiomaan kolmion sivut sekä noin 5 mm syvän profiilin tasaisesti.

Hiomakoneen osatoimintoja luonnosteltiin työn tilaajan kanssa, mutta varsinaisen tuotekehityksen suoritti oppilas yksin. Konseptit mallinnettiin Autodesk Inventor ohjelmalla ja tarvittavat lujuuslaskennat suoritettiin Ansys FEM-ohjelmalla.

Opinnäytetyö sisälsi hiomakoneen kirjallisen suunnitelman, mutta konetta ei valmistettu opinnäytetyöprosessin aikana. Suunnitelmassa kone on toimiva kokonaisuus ja jokaisella osatoiminnolla on järkevä ratkaisu. Lopullinen konstruktio on suunniteltu tarpeeksi pitkälle, että se voidaan myös rakentaa, jos työn tilaaja niin päättää.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Product Development

HEIKKI RENKOLA:
Development of a Sanding Machine

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 2 pages
May 2014

The purpose of this thesis was to design a sanding machine for a carpentry shop PSL Ari Renkola. They have been manufacturing wooden candlesticks for another company Crosspine Oy for over a decade.

The candlesticks have been sanded by hand before, which is the most laborious and time consuming stage of the manufacturing process. The company wanted to design a sanding machine for the candlesticks, because there were no suitable solutions on the market.

The candlesticks are triangular, and on the other side there is a milled profile. All of the side faces of the triangle and the profile are sanded. The demand for the machine is that it can evenly sand the sides and the 5 mm deep profile.

The suboperations of the machine were sketched with the entrepreneur, but actual product development process was performed by the student alone. The concepts were modeled with a cad-program Autodesk Inventor and the needed strength calculations were executed with FEM-program Ansys.

This thesis does not include the building of the machine, but only the design process. In theory, the achieved design of the machine is a well working construct and a rational solution was found for every suboperation. The final design would be ready to be built, if the entrepreneur decides to do it.

Key words: product development, sanding machine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TILAAJA JA	7
	2.1 PSL Ari Renkola	7
	2.2 Puun hionta	7
	2.3 Kynttilänjalka.....	9
3	TUOTEKEHITYSPROSESSI.....	12
	3.1 Käynnistäminen	13
	3.2 Luonnosteluvaihe.....	15
	3.3 Kehittely.....	19
	3.4 Viimeistely.....	20
4	PROJEKTIN KÄYNNISTÄMINEN JA KONEEN MÄÄRITELMÄ	22
5	Luonnosteluvaihe	23
	5.1 Hiomakoneelle asetetut vaatimukset.....	23
	5.2 Osatoiminnot.....	23
	5.2.1 Hiontatekniikka	23
	5.2.2 Koneen rakenne.....	24
	5.2.3 Voimanlähde ja -siirto.....	25
	5.2.4 Kuljetin.....	26
	5.2.5 Pöytä.....	27
	5.3 Vaihtoehdot.....	28
	5.4 Ensimmäinen versio.....	29
	5.5 Lopullinen versio	30
	5.5.1 Rakenne.....	32
	5.5.2 Voimansiirto.....	32
	5.5.3 Moottori	34
	5.5.4 Taajuusmuuttaja	35
	5.5.5 Korkeuden säätö.....	35
	5.5.6 Tuotteen liike	36
	5.5.7 Pölyn poisto.....	37
	5.6 Laskennat	38
6	POHDINTA JA LOPPUTULOKSET	41
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	44
	Liite 1. Mekanex sakarakytkintaulukko	44
	Liite 2. Hiomakoneen rakenteen FEM-mallinnus.	45

LYHENTEET JA TERMIT

PSL	puusepäntiike
Cad	Computer assisted drawing, tietokoneavusteinen piirtäminen
Mesh-luku	hiomapaperin karkeuden kertova lukuarvo, merkitään yksiköllä al
FEM	finite element method, elementtiverkkomenetelmä, jolla lasketaan kappaleiden lujuuslaskuja
Rpm	kierrosnopeuden yksikkö rounds per minute eli kierroksia minuutissa

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella hiomakone yritykselle PSL Ari Renkola. Työ sisältää hiomakoneen suunnitteluprosessin, mutta ei sen rakentamista. Tuotteen rakentaminen edellyttäisi konedirektiivin mukaisia toimenpiteitä, kuten CE-merkinnän hankkimista. Tällöin opinnäytetyöstä tulisi hyvin laaja.

Viime aikoina PSL Ari Renkolan tavoitteena on ollut tuotannon tehostaminen. Tuotantovaiheita tarkasteltaessa huomio on kiinnittynyt työlääseen hiontavaiheeseen. Hionta on kynttilänjalan valmistuksessa eniten aikaa vievä vaihe, koska se tähän asti on suoritettu käsin hiomapaperilla. Yksittäisen tilauksen määrä on tavallisesti 500 kappaletta erivärisiä kynttilänjalkoja, joten sellaisen määrän käsihionta on hitauden lisäksi myös fyysisesti raskasta.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa esitellään työn tilaaja, käydään läpi hionnan teoriaa ja selitetään yleinen tuotekehitysprojektin kulku. Lopuksi käydään läpi koneen suunnittelu ja lopputulos. Suunnitteluvaihe alkaa tuotteen vaatimusten sekä raja-arvojen määrittämisellä, jatkuu eri osakokonaisuuksien konseptoinnilla ja päättyy lopullisen konstruktion esittelemiseen. Suunnitteluvaiheeseen sisältyy myös tarvittavat laskelmat sähkömoottorin tehon määrittämiseen ja akselille kohdistuvan vääntömomentin tarkasteluun. Rakenteen kestävyys varmistettiin käyttäen FEM-ohjelmaa Ansys:ia. Suunnittelu ja konseptointi suoritettiin Autodesk Inventor:illa, joka on TAMK:ssa opetuksessa käytetty 3D-mallinnusohjelma.

Suunniteltavan koneen tulisi olla sellainen, että sillä voidaan hioa kolmionmuotoisten kynttilänjalkojen sivut ja sivuun jyrskitty profiili tehokkaammin ja nopeammin kuin ennen. Tuotteen pitäisi olla kuitenkin muokattavissa muillekin kappaleille sopivaksi.

Kone pitäisi suunnitella niin, että se on materiaali- ja rakennuskustannuksiltaan mahdollisimman edullinen.

2 TYÖN TILAAJA JA HIONTAPROSESSI

2.1 PSL Ari Renkola

Puusepäntoiminta Ari Renkola on vuonna 1986 perustettu yritys, joka tarjoaa puusepän palveluita alihankintana. Yritys sijaitsee Ilmajoella keskellä Etelä-Pohjanmaata, ja se työllistää yhden kokoaikaisen työntekijän. Puusepäntoiminta Ari Renkolalla on vakiintunut asema puuteollisuuden alalla. Se on ollut alihankkijana suurille asiakkaille, kuten esimerkiksi Iskulle, jolle Renkola teki viiden vuoden ajan laatikostoja. Yritys on palvellut myös Ronald McDonald- järjestöä, jonka rakentamiin lastensuojelukoteihin se valmisti portaita. Asiakkaina on usein myös yksityishenkilöitä, jotka tilaavat mittatilaushuonekaluja. Yrityksen palveluihin kuuluu myös entisöinti ja koristemaalaus.

PSL Ari Renkola on valmistanut noin kymmenen vuoden ajan kolmionmuotoisia kynttilänjalakoita Crosspine Oy:lle, joka myy kynttilänjalat lahjapakkauksissa erilaisiin juhlatilaisuuksiin, kuten häihin ja hautajaisiin. PSL Ari Renkola on valmistanut kynttilänjalakoita noin 10 000 kappaletta vuodessa 10 vuoden ajan.

2.2 Puun hionta

Hionta on puun työstövaihe, joka antaa tuotteelle lopullisen pinnanlaadun. Siinä tapahtuu kaapimista, mikä johtuu hioma-aineen hiomajyväsissä olevasta negatiivisesta rintakulmasta (Auvinen ym. 2006, 88).

Hiomajyväsien määrä ja koko määrittävät hiomapaperin karkeuden, ja se merkitään Mesh-luvulla. Mitä suurempi luku on, sitä hienompi paperi ja hiontajälki. Hiomalla voidaan myös vähentää paksuutta, jolloin poistettava ainemäärä voi olla jopa 1-2 mm. Loppuhionnassa hienokarkeisella hionnalla poistetaan 0,1-0,3 mm.

Puun hionnassa käytetään karkeuksia 40–600 al ja ne jaotellaan eri ryhmiin: karkea (40–60), keskinkertainen (80–120), hieno (150–180), erittäin hieno (220–240), extra hieno (280–320) ja super hieno (360–600). On olemassa erilaisia hiomapaperityyppejä, joista puun hionnassa käytetään alumiinioksidista ja graniittimineraalista valmistettuja hiomapapereita. (Babatunde, 2013).

Hionnan tehtävänä on poistaa koneistuksen aiheuttamia jälkiä ja poistaa muita virheitä kuten lommoja ja viiruja. Hionta aloitetaan tarpeeksi karkealla hiomapaperilla, jolla saadaan ongelmakohdat poistettua nopeasti. Karkeamman paperin aiheuttamat naarmut hiotaan hienommalla edelleen, kunnes saadaan haluttu pinnan sileys. Yleisesti aloitetaan karkeudesta 80 al ja jatketaan karkeuteen 220 al, tosin 180 al on usein riittävän hieno hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.

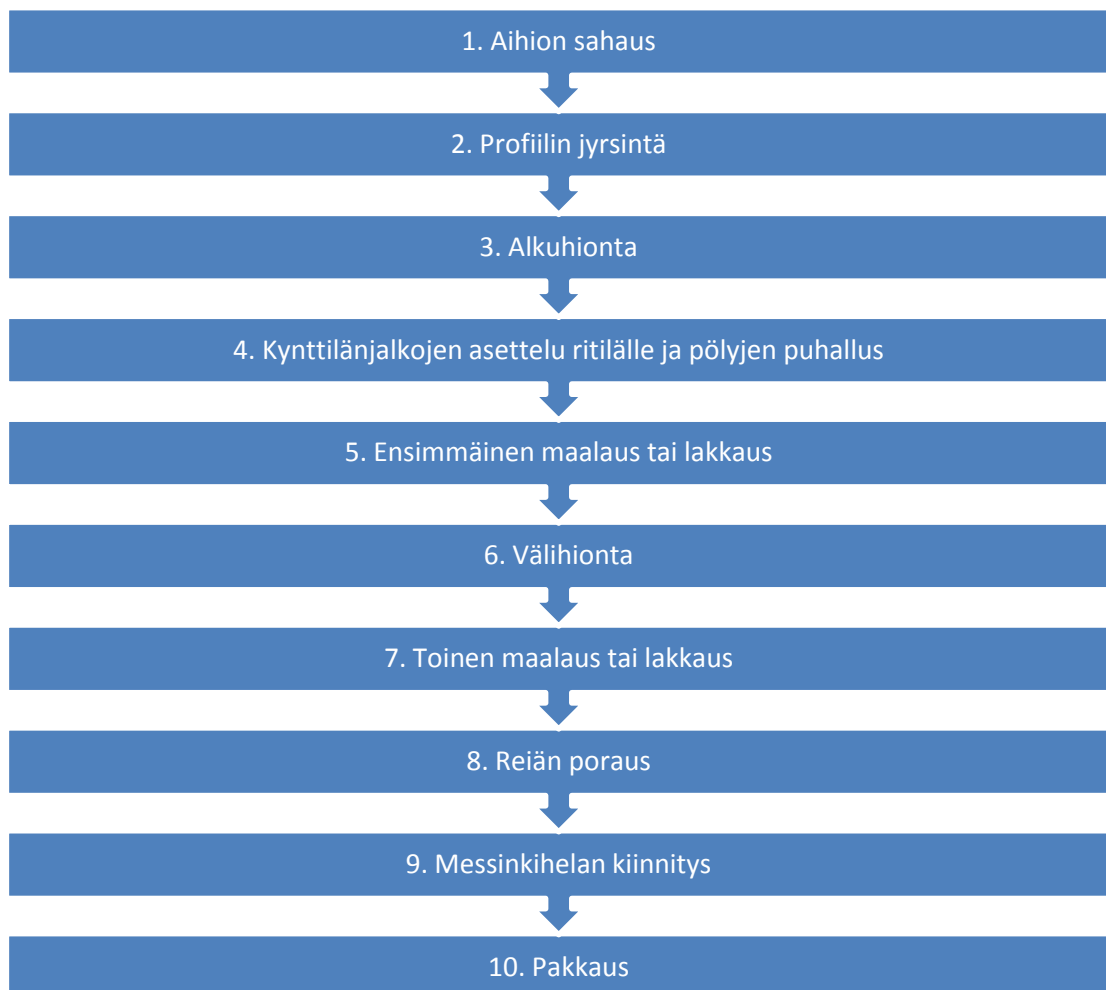
Hionnan tulisi tapahtua puun syiden mukaisesti, koska syynvastainen hionta repii puun syyt rumasti ja jättää jälkiä. (Flexner 2008).

2.3 Kynttilänjalka

Kynttilänjalan valmistuksessa on kymmenen vaihetta (kuvio 1), joista hionta on työläin ja hitain. Aluksi laudasta sahataan sirkkelillä kolmionmuotoiset ahiot, minkä jälkeen niiden toisen puolen reunoihin jrsitään profiili tasoajrsimellä (kuva 1).

Tämän jälkeen on vuorossa alkuhionta, jossa hiotaan epätasaisuudet, terävät reunat ja karheus pois siten, että kynttilänjalka tuntuu pehmeältä ja hyvältä käteen.

Hiotut tuotteet asetetaan ritilälevylle, jossa ne puhalletaan puhtaaksi ja, riippuen tilauksesta, ne maalataan tai lakataan kahteen kertaan. Ensimmäisen maalauksen tai lakkauksen välissä suoritetaan vielä kevyt välihionta, jonka tarkoituksena on poistaa valumat ja karheus ennen viimeistä pintakäsittelyä. Seuraavaksi kynttilänjalkoihin porataan reikä pylväsporakoneella kynttilää ja reikää ympäröivää messinkihelaa varten ja samalla tarkistetaan, että tuotteen laatu on riittävän hyvä. Lopuksi messinkihelat painetaan omaan koloonsa kiinni ja tuotteet pakataan laatikoihin. Valmiin tuotteen täytyy olla maalipinnaltaan hyvä ja helan täytyy olla tiukasti kiinni (kuva 2).

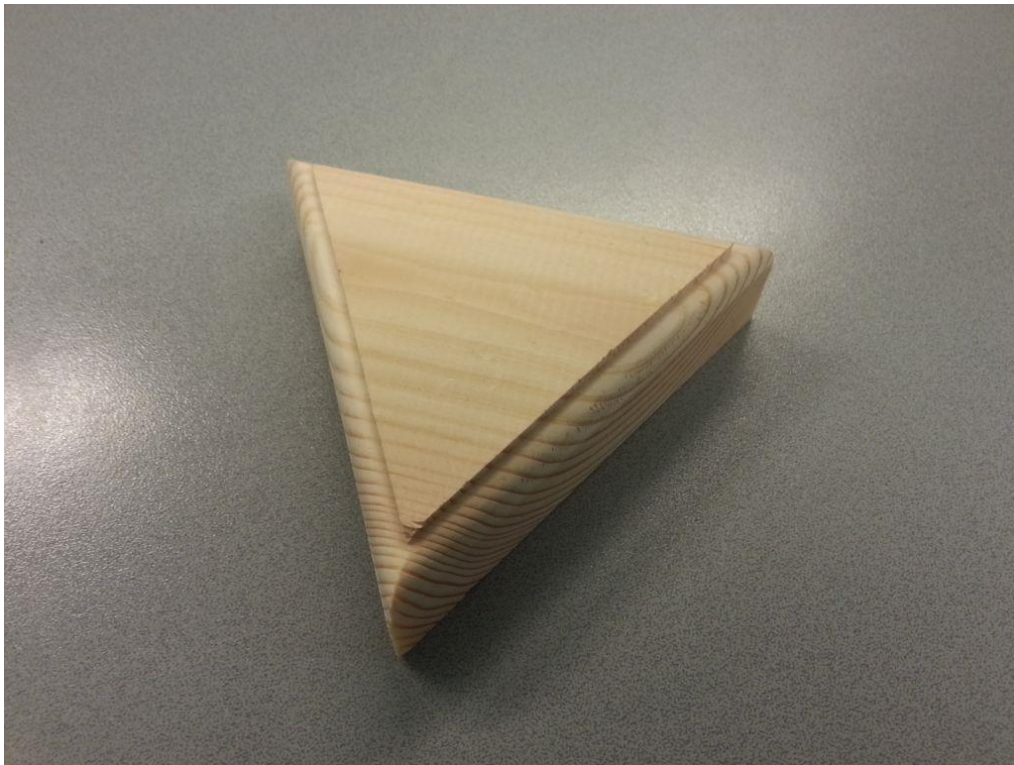


KUVIO 1. Kynttilänjalan valmistuksen vaiheet

Sahauksen ja jyrinnän jälkeen kynttilänjalan pinta on karhea ja siinä on teräviä reunoja (kuva 1), jotka täytyy hiomalla pehmentää. Yrityksessä hionta on toteutettu käsin hiomalla karheudeltaan 220 al olevalla hiomapaperilla hiomatyynyä paperin alla apuna käyttäen. Hionta suoritetaan niin, että neljä kynttilänjalkaa asetetaan kyljelleen pöydän reunalle ja niitä pidetään toisella kädellä kiinni ja toisella hiotaan sivu kerrallaan.

Kynttilänjalkoja ohjataan ja liikutetaan kädellä niin, että myös profiilit ja kulmat saadaan hiottua välistä.

Neljän kynttilänjalan hiontaan kuluu aikaa yhteensä noin 40 sekuntia ja sama toistetaan kaikille tuotteille. Normaali tilaus on 500 kynttilänjalkaa ja niiden hiontaan menee ilman konetta yhteensä noin 83 minuuttia ilman taukoja ja hiomapaperin vaihtoja.



KUVA 1. Jyrsitty ja hiomaton kynttilänjalka



KUVA 2. Valmis maalattu kynttilänjalka

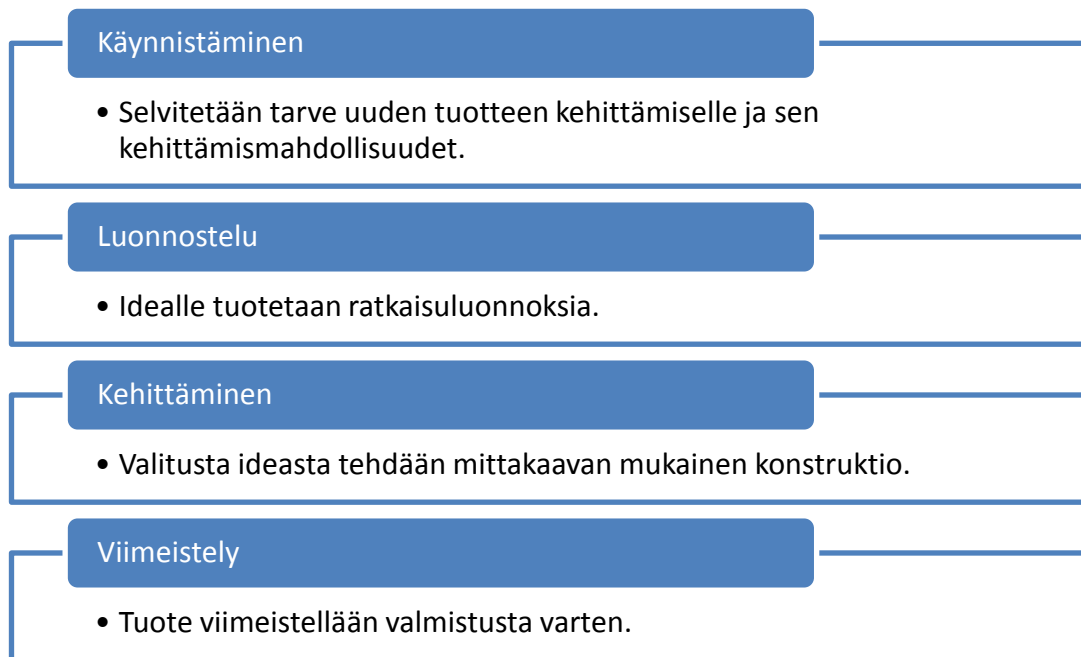
3 TUOTEKEHITYSPROSESSI

Yrityksen menestymisen kannalta yksi keskeisistä edellytyksistä on onnistunut tuotekehitystoiminta. Tuotteilla on tietty elinikä, joten yrityksen on jatkuvasti huolehdittava kehityksestä. Muuten tulee aika, jolloin tuote jää kilpailijoista jälkeen vanhentuneena, ja myynti vähenee ja loppuu kokonaan (Jokinen 2001, 9). Jokinen määrittelee tuotekehityksen seuraavasti:

Tuotekehityksellä ymmärretään toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi, käsittäen tuoteidean etsimisen, kehitysnäkymien, markkinoiden ym. tuotekehityshankkeen käynnistämiseen tarvittavien tietojen selvittämisen, varsinaisen tuotteen luonnostelun, yksityiskohtaisen suunnittelun, optimoinnin, työpiirustusten tekemisen, käyttöohjeiden laatimisen sekä tuotantomenetelmien kehittämisen (Jokinen 2001, 9).

Ennen tuotekehitysmenetelmien käyttöä, yritysten tuotteiden kehittämistoiminta tapahtui vastaantulevien tilanteiden johdattelmina. Tuotekehitys tieteenä on melko nuori, se on saanut alkunsa 1940- ja 50-lukujen vaihteessa. Nykyaikana menetelmille on paljon kysyntää ja aiheesta on olemassa paljon kirjallisuutta (Jokinen 2001, 11).

Jokinen (2001, 14) jakaa tuotekehityshankkeen neljään eri toimintavaiheeseen: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Kaikissa vaiheissa on omat tehtävänsä. Projektin käynnistysvaiheessa selvitetään mahdollisuudet ja tarve tuotekehitykselle, luonnosteluvaiheessa tuotetaan ratkaisuluonnoksia tuotteelle, kehittämissä vaiheissa tehdään mittakaavan mukainen konstruktio ja viimeistelyvaiheessa tuote valmistellaan tuotantoa varten (kuviot 2).



KUVIO 2. Tuotekehitysprojektin kulku

3.1 Käynnistäminen

Tuotekehitystoiminnan edellytyksenä on tuotteen tarve sekä mielikuva sen toteuttamismahdollisuuksista. Ei riitä, että saadaan idea uudesta mullistavasta tuotteesta, vaan se täytyy myös olla mahdollinen toteuttaa.

Uusi idea voi syntyä sattumalta tai systemaattisen hakutoiminnan tuloksena (Jokinen 2001, 17). Sattumalla tarkoitetaan odottamatonta satunnaista tapahtumaa, ja se voi johdattaa myös täysin uuden idean syntymiseen. Systemaattisella tuoteidean etsimisellä yritys selvittää ensiksi ne tuotealueet, joilla yrityksellä on parhaat potentiaaliset mahdollisuudet (Jokinen 2001, 20).

Tuotteelle tehdään tehtävän määrittäminen, mikä kuvailee tuotteen funktionaaliset peruseräkkeet ja projektin markkinatavoitteet. Tuotteelle siis määritellään lyhyesti sen tuotekuvaus, hyötyehdotus, jossa todetaan, miksi asiakas ostaisi tuotteen, liiketoiminnan avaintavoitteet, kohdemarkkinat, oletukset ja raja-arvot, jotka ohjaavat kehitysprojektia, sekä eri sidosryhmien listaaminen (Ulrich & Eppinger 2008, 47–48).

Yrityksen on selvitettävä oma yrityspotentialinsa, eli toimintansa voimavarat, hankkimalla tietoa yrityksen ja sen tuotteiden asemasta yrityksen sisällä ja ulkopuolella.

Ulkoa saadaan tietoa markkina-analyyseillä, asiakkaiden kyselyistä ja tarjouspyynnöistä, messujen herättämistä vaikutelmista, kilpailijoiden tuotteiden analyyseistä ja yleisistä tekniikan alan kehityssuunnusteista (Jokinen 2001, 19).

Yrityksen täytyy tutkia sisäiset markkinavalmiudet tuotteen kehitykseen ja valmistukseen. Se tehdään keräämällä tietoa muun muassa henkilökunnan osaamisesta, käytettävissä olevista laitteista ja tutkimustiloista, valmistusmahdollisuuksista, omista ja kilpailijoiden patenteista ja lisensseistä sekä yrityksen taloudellisista mahdollisuuksista.

Jos yrityksen omat voimavarat eivät riitä, on niitä vahvistettava uuden henkilökunnan tai konekannan hankinnalla tai etsimällä yhteistyökumppani (Jokinen 2001, 20).

Yrityksen on etsittävä oikea tuotealue, jolla sillä on parhaat potentiaaliset mahdollisuudet menestyä. Tuotealue voi olla esimerkiksi sellainen, että se täyttää tietyt toiminnot, toimii tietyllä toimintaperiaatteella, valmistetaan tietyistä raaka-aineista tai tietyllä valmistusmenetelmällä tai markkinoidaan tietylle asiakaspiirille. Moottoripyöriä valmistavalle yritykselle potentiaalinen tuotealue voisi olla seuraavanlainen: tuotteen toiminto on henkilön kuljetus, se toimii polttomoottorilla, se valmistetaan alumiinista ja sitä markkinoidaan täysi-ikäisille. Etsimisessä auttaa yritysperiaatteen selvittäminen ja yrityksen oma toiminta-ajatus. Kun lupaavia tuotealueita löydetään, niiden pohjalta etsitään konkreettisia tuoteideoita.

Löydetystä tuoteideasta tehdään kehitysehdotus, joka sisältää kehitettävän tuotteen kuvauksen, sen tekniset ja taloudelliset vaatimukset, käytettävissä olevan kehityspanoksen ja projektin aikataulun.

Lopulta yrityksen johto tekee kehityspäätöksen ja siirtyään luonnosteluvaiheeseen (Jokinen 2001, 20–21).

3.2 Luonnosteluvaihe

Luonnosteluvaiheen päämääränä on tuottaa ratkaisuihin tuotteen osa- ja kokonaistoimintoihin ja lopussa arvostella sekä karsia niistä parhaat kehittämissä vaiheeseen. Ratkaisuja etsitään erilaisilla ideointimenetelmillä, joista kerrotaan lisää myöhemmin.

Hankkeen aloittamisesta päättävä ryhmä koostuu yleensä eri henkilöistä kuin tuotekehityksen toteuttava ryhmä. Siitä syystä projektin aloittamisen jälkeen tuotekehitysryhmä analysoi tehtävänannon tarkasti. Luonnosteluvaiheessa määritellään hankkeen vaatimukset ja tavoitteet. Tässä vaiheessa saattaa tulla esiin uusia asioita, esimerkiksi kustannusten nousu, joista täytyy keskustella toteuttamispäätöksentekoryhmän kanssa. (Jokinen 2001, 14.).

Luonnosteluvaiheessa tehtävä yleistetään siten, että irtaudutaan varsinaisesta tehtävänannosta ja selvitetään olennaiset ongelmat ja tuotteen kokonaistoiminto. Kokonaistoiminto jaetaan osatoimintoihin, joihin etsitään eri ratkaisumahdollisuuksia ideointimenetelmillä. Osatoiminnoista valitaan paras vaihtoehto teknistaloudellisesta näkökulmasta, eli teknisesti pätevä mutta myös mahdollinen ja järkevä toteuttaa.

Valitut osatoiminnot yhdistetään useaksi kokonaistoiminnon ratkaisuksi ja vaihtoehtoiset ratkaisut arvostellaan arvostelutaulukon avulla. Lopullisista valinnoista tehdään yksi tai useampi ratkaisuluonnos. Luonnokset voivat olla esimerkiksi vain paperille piirrettyjä ideakuvia, eli vielä ei tarvita tarkkoja ja mittakaavassa olevia piirustuksia.

Erilaisia ideointimenetelmiä on useita ja ne voidaan jakaa kahteen pääryhmään, intuitiivisiin ja diskursiivisiin menetelmiin. Intuitiiviset eli vaistonvaraiset menetelmät ovat nimensä mukaisesti luovempia, kun taas diskursiivisissa eli hajanaisissa menetelmissä analysoidaan ja yhdistetään systemaattisesti ja tietoisesti erilaisia ideoita läpikäymällä tietty ajatusketju. Niissä on kaksi yhteistä pääsääntöä, ensinnäkään ei saa tyytyä ensimmäiseen käyttökelpoiseen ideaan, ja toisekseen ideoiden etsiminen ja niiden arvostelu on erotettava toisistaan. Ideointimenetelmiä käytettäessä olisi myös pyrittävä pois totutuista ratkaisuista. (Jokinen 2001, 40.)

Intuitiivisista menetelmistä suosituin ja tunnetuin on aivoriihi. Se on ryhmätyöskentelymuoto, jossa muodostetaan ryhmä 5-10 eri kokemustaustan omaavasta jäsenestä.

Ideana on, että jäsenet keksivät vilttejäkin ideoita, jotka kerrotaan ilman, että kukaan kritisoi. Jäsenet ovat ryhmän sisällä tasavertaisia (Jokinen 2001, 40–42).

Aivoriihestä on tehty erilaisia muunnelmia, kuten Gordonin aivoriihi ja kirjallinen aivoriihi 635. Gordonin versiossa käsitellään, ennen oikean aiheen paljastamista, täysin aiheeseen liittymättömiä asioita, jotta saataisiin mahdollisimman vapautunut ilmapiiri aikaiseksi. 635 versiossa on nimensä mukaisesti kuusi henkeä ryhmässä, joista jokainen kirjoittaa kolme ideaa lapulle viidessä minuutissa (Jokinen 2001, 42–43).

Muita intuitiivisia menetelmiä ovat esimerkiksi muuntomenetelmä, synektiikka, tuplatiimi ja tuumataalkoot (Jokinen 2001, 44–67).

Diskursiivinen menetelmä on esimerkiksi fysikaalisen ilmiön systemaattinen analysointi, jossa tekniselle ongelmalle laaditaan yhtälö tai yhtälöryhmä. (Jokinen 2001, 71–72.)

Osatoimintojen valinta toteutetaan arvostelemalla niihin löydetty ratkaisumahdollisuudet käyttäen kriteereinä asetettuja tavoitteita ja vaatimuksia. Huonot vaihtoehdot karsituvat ja parhaat jäävät jäljelle, joista karsinnan jälkeen yhdistellään ratkaisumahdollisuuksia kokonaistoiminnolle. (Jokinen 2001, 73.)

Ratkaisujen yhdistämisessä voidaan käyttää apuna morfologista analyysiä, jossa osatoiminnot ja niiden ratkaisumahdollisuudet järjestetään matriisiksi (taulukko 1). Osatoiminnon ratkaisut esitetään matriisin kullakin rivillä, ja kokonaistoiminnon ratkaisut etsitään yhdistämällä niitä kaikilla mahdollisilla tavoilla. Saaduista yhdistelmistä valitaan parhaat ja niistä kehitetään konkreettisemmat ratkaisuluonnokset (Jokinen 2001, 74).

TAULUKKO 1. Morfologisen analyysin matriisi (Jokinen 2001, 74).

Osatoiminto	Osatoimintojen ratkaisut				
Toiminto 1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}
Toiminto 2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}
Toiminto 3	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}	R_{35}
Toiminto 4	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{44}	R_{45}
Toiminto n	R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_{n4}	R_{n5}

Kun jo löydettyjä ratkaisuperiaatteita kehitetään edelleen ratkaisuluonnoksiksi, käydään läpi useita työvaiheita ja tehtäviä. Ratkaisuista tehdään suuntaa-antavia laskuja käyttäen yksinkertaisia oletuksia, esimerkiksi niiden kustannuksista ja ominaisuuksista. Sel-

vitetään esimerkiksi ratkaisujen staattiset ja dynaamiset ominaisuudet, laaditaan karkeita luonnoksia, määritetään likimääräinen tilantarve, muoto ja paino, sekä määritetään perusominaisuudet esikokeilla, tehdään ideoita koskeva patenti- ja kirjallisuustutkimus ja selvitetään valmistukseen liittyviä ratkaisuita. Ratkaisuperiaatteita kuvataan vain sen verran, että niiden hyvät ja huonot puolet ovat luotettavasti laskettavissa ja arvioitavissa sekä teknisesti että taloudellisesti (Jokinen 2009, 75).

Valittuja kokonaisratkaisuja karsitaan ja arvostellaan eri menetelmillä. Aluksi voidaan suorittaa karkea arvostelu, jossa hylätään selkeästi huonot ratkaisut tervettä maalaisjärkeä käyttäen. Karkeassa arvostelussa tarkastellaan kysymyksiä, kuten paljonko idea täysin onnistuessaan tuottaisi ja paljonko toteuttaminen vähintään maksaisi, niin että tuotot ylittäisivät kustannukset enemmän kuin runsaasti. Apuna voidaan käyttää karkean arvostelun taulukkoa, jossa esitellään tavanomaiset arvosteluperusteet, kuten vastaako vaihtoehto sille annettuja tavoitteita ja onko toteuttamiskelpoisuus riittävän hyvä. Vaihtoehdot arvostellaan kyllä-ei -periaatteella (Jokinen 2009, 76–77).

Karsinta- ja arvosteluprosessia jatketaan painoarvotaulukolla yksityiskohtaisemmin. Se on tärkeä ja tehokas työkalu luonnostelun loppuvaiheessa, jolloin luonnoksista on valittuna muutama jatkuu lopullisiksi vaihtoehtoiksi. Tietyt vaatimukset ovat tärkeämpiä kuin toiset, mikä täytyy ottaa pisteytyksessä huomioon. Painoarvotaulukossa kriteerit painotetaan toisiinsa nähden kuvaamaan niiden keskinäistä tärkeysjärjestystä. Yleensä painotus jaetaan niin, että niiden summa on yksi.

Ratkaisut pisteytetään jokaisen vaatimuksen ja tavoitteen suhteen asteikolla 0–4, missä 0 on hylätty ja 4 on ideaalitalanne. Ratkaisun todellinen kokonaisuuteen suhteutettu pistemäärä selviää kertomalla pisteet kyseisen kriteerin painoarvolla ja summaamalla ne yhteen. Parhaan pistesumman saanut vaihtoehto ei ole välttämättä paras, vaan yhdestäkin kriteeristä saatu huono tai hylättävä pistemäärä voi karsia sen pois.

Taulukossa 2 on esitetty tavanomainen painoarvotaulukko. Siinä on kaksi kokonaisratkaisuvaihtoehtoa, jotka pisteytetään arvostelukriteerien mukaan. Ratkaisu 2 sai paremman painotetun pistesumman ja siinä ei ole yhtään huonoa ominaisuutta, joka aikaansaisi ratkaisun hylkäyksen.

TAULUKKO 2. Painoarvotaulukko esimerkki

Arvostelu kriteeri	Painoarvo	Ratkaisu 1			Ratkaisu 2		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Paino (kg)	0,2	100	4	0,8	150	3	0,6
Asennus	0,15	Vaikea	2	0,3	Helppo	3	0,45
Teho (kW)	0,15	200	4	0,6	150	3	0,45
Kustannukset (€)	0,3	10 000	2	0,6	8 000	3	0,9
Valmistus	0,2	Vaikea	2	0,4	Helppo	4	0,8
Yhteensä	1			2,7			3,2

Usein käy niin, että painotus ei muuta ratkaisevasti vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Silloin niistä voidaan tehdä arvoprofiili, jonka tarkoituksena on havainnollistaa vaihtoehdon tasapaino pisteytyksessä graafisena murtoviivana. Painotuspisteet unohdetaan ja tarkastellaan ainoastaan kriteereille annettuja pisteitä. Paras vaihtoehto on se, jossa on tasaisin arvoprofiili (Jokinen 2009, 78–81).

Lopuksi voidaan vielä laskea vaihtoehtojen teknisistä ja taloudellisista ominaisuuksista konkreettisia numeroarvoja. Ratkaisuvaihtoehdolle lasketaan tekninen ja taloudellinen arvo määrätyillä kaavoilla ja niitä verrataan toisiinsa s-diagrammissa. Vaihtoehtojen saamat arvot sijoitetaan diagrammiin niin, että vaaka-akselilla on tekninen arvo ja horisontaaliakselilla taloudellinen arvo. Ideaalitalanteessa vaihtoehtoa kuvaava piste sijaitsee oikeassa yläkulmassa, jolloin kumpikin arvo on suurimmillaan. (Jokinen 2009, 82–85).

Ratkaisujen arvostelun jälkeen saadaan arvostelukriteereiden mukainen paremmuusjärjestys, mutta se ei vielä määrää valittua vaihtoehtoa. Ennen kuin voidaan tehdä valintapäätös, on ratkaisu vielä testattava kolmesta eri näkökulmasta: haittavaikutusten, herkkyyden ja potentiaalisten ongelmien kannalta. Haittavaikutusanalyysissä tutkitaan, sisältääkö ratkaisu joitakin negatiivisia tai positiivisia seuraamuksia, joita arvostelussa ei ole otettu huomioon. Herkkyysanalyysissä tutkitaan, miten herkästi ratkaisuvaihtoehtojen paremmuusjärjestys muuttuisi, jos arvostelupisteet tai painoarvot muutettaisiin. Potentiaalisten ongelmien analyysin tarkoituksena on etsiä tekijöitä, joilla on pieni esiintymis-

mahdollisuus, mutta jotka olosuhteiden muuttuessa voisivat aiheuttaa ratkaisun virheellisyyden. (Jokinen 2009, 86–87).

Luonnosteluvaiheen viimeinen tehtävä on idean hyväksyttäminen siitä päättävillä tavoilla. Hyväksyttämisen prosessi myös varmistaa sen, onko keksijä itse vakuuttunut ideastaan. Hyväksyttämisen pääperiaate on, että hyväksyjien tulisi osallistua tuotekehitysprosessiin, joka täten vähentäisi usein tapahtuvaa uusien ideoiden vastustusta (Jokinen 2009, 87–88). Luonnosteluvaihe päättyy parhaan kokonaisratkaisun valitsemiseen, joka päätetään suunnitella loppuun asti valmiiksi tuotteeksi.

3.3 Kehittely

Kun luonnosteluvaiheessa on arvioitu ja valittu lupaavin ratkaisuluonnos, alkaa kehittäminen tekemällä mittakaavan mukainen konstruktio. Vaihe voidaan toteuttaa esimerkiksi Cad-ohjelmalla. Kehittelyvaiheen päämääränä on suunnitella valitun ratkaisuvaihtoehdon yksityiskohdat teknis-taloudellisten näkökulmien mukaan niin, että lopulta työpiirustukset ja osaluettelot ovat tehtävissä viimeistelyvaiheessa (Jokinen 2009, 89–90).

Kehittelyn työvaiheet etenevät järjestyksessä. Ensimmäinen laaditaan mittakaavan mukainen konstruktio ratkaisuluonnoksen sekä vaatimus- ja tavoitelistan pohjalta. Konstruktio tehdään teknisten ja taloudellisten ominaisuuksien arviointi samalla tavoin kuin luonnosteluvaiheessa, ja niitä verrataan s-diagrammissa.

S-diagrammi paljastaa heikot kohdat, jotka voidaan poistaa käyttämällä esimerkiksi laajasti käytettyä arvoanalyysiä. Menetelmässä määritellään ratkaisun arvo jakamalla toiminnot ratkaisun kustannuksilla. Sillä haetaan uusia ratkaisuja, jotka ovat kustannuksiltaan pienempiä tai ominaisuuksiltaan runsaampia tai näitä molempia. Ratkaisun arvo siis nousee, jos ominaisuuksia lisätään tai niiden kustannuksia pienennetään. Arvoanalyysissä käydään läpi työsuunnitelma, jonka seitsemän kohtaa ovat seuraavat:

- asiantietojen hankinta
- tehtävän analysointi
- ratkaisuvaihtoehtojen ideointi
- niiden arviointi
- suunnittelu

- toteutus
- valvonta.

Lopputuloksena on parannettu konstruktio, joka arvostellaan uudelleen s-diagrammilla ja, jos tulos ei tyydytä, arvoanalyysi suoritetaan uudestaan. On myös mahdollista, että valittu ratkaisu ei vastaa vaatimuksia tarpeeksi. Silloin voidaan valita kokonaan uusi ratkaisuluonnos kehitystyön pohjaksi (Jokinen 2009, 90–95).

Työ jatkuu yksityiskohtien suunnittelulla ja optimoinnilla etsien kohteita, joilla voidaan vielä parantaa oleellisesti konstruktion arvoa.

Vaihe päättyy kehitetyn konstruktion vahvistuspäätökseen (Jokinen 2009, 91).

3.4 Viimeistely

Kehittelyvaiheessa konstruktio on valmis ja se viimeistellään. Viimeistely on työvaihe, jossa konstruktiosta tehdään työpiirustukset, työselitykset, asennus- ja käyttöohjeet sekä muut tuotteen valmistamiseen ja käyttämiseen tarvittavat asiat.

Silloin päätetään myös tuotteen yksityiskohdista, kuten lopullisista raaka-aineista, valmistustavoista, toleransseista ja pintakäsittelystä (Jokinen 2001, 96).

Tuotetta täytyy testata ennen kokonaisuittaisen tuotannon aloittamista. Jos kyseessä on melko edullinen tuote, voidaan siitä tehdä prototyyppi, jonka avulla tuotteesta saadaan käytännön tietoa sen teknisistä ja taloudellisista ominaisuuksista sekä edullisimmista valmistustavoista (Jokinen 2001, 96). Prototyyppi on lähes oikea versio valmiista tuotteesta yhden tai useamman kiinnostavan osa-alueen kannalta. Prototyypin avulla saadaan vastaukset seuraaviin kysymyksiin: toimiiko se ja kuinka hyvin se vastaa asiakastarpeisiin. Se myös helpottaa kommunikointia esimerkiksi johdon, asiakkaiden ja sijoittajien kanssa, kun he pääsevät näkemään konkreettisen mallin tuotteesta (McGraw 2008, 247).

Prototyyppi voidaan rakentaa myös jo luonnosteluvaiheessa. Aina ei ole mahdollista tehdä täysikokoista mallia tuotteesta. Näin on esimerkiksi silloin, kun tuote on liian suuri tai kallis. Silloin voidaan valmistaa testattavaksi tuotteen pienoismalli tai sen kriittisimmistä osista täysimittaisia koekappaleita (Jokinen 2001, 96–98).

Sarjavalmisteisesta tuotteesta voidaan tehdä nollasarja, jonka valmistuksen tarkoituksena on pääasiassa tutkia tuotteen valmistusmenetelmiä. Sarja antaa myös tietoa tuotteen ominaisuuksista ja valmistuskustannuksista (Jokinen 2001, 98–99).

Lopulta tuotteesta tehdään valmistuspäätös, kun kaikki suunnitelmat on saatu valmiiksi ja tuotteen on todettu olevan valmis tuotantoon.

4 PROJEKTIN KÄYNNISTÄMINEN JA KONEEN MÄÄRITELMÄ

Tämä opinnäytetyö ei edennyt täysin edellä esitetyn tuotekehitysprosessin mukaisesti, koska kyseessä oli pienimuotoinen hanke ja rakennettiin vain yksi kone, joka tulee yrityksen omaan käyttöön. Seuraavaksi käydään läpi kyseisen kehitysprojektin eri vaiheet ja esitellään projektin tulos. Koneen mallinnus suoritettiin Autodesk Inventor-ohjelmalla ja valmiit osakokonaisuudet siirrettiin Ansys FEM-ohjelmaan, jolla voitiin tehdä tarvittavat lujuuslaskennat.

Projektin käynnistäminen tapahtui nopeasti. Puusepäntuotantayhtiö Ari Renkola tavoitteli tuotannon tehostamista kohtuullisin kustannuksin ja hiomakoneprojekti oli ollut odottamassa jo pitkään. Uuden koneen ostaminen on kallista, eikä markkinoilla ollut sopivaa hiomakonetta, jolla voisi käsitellä kyseessä olevaa kynttilänjalkaa.

Aluksi selvitettiin hiomakoneen sallitut kehittämiskustannukset sekä -mahdollisuudet. Kustannusten määrää ei rajoitettu tarkasti, vaan tarkoituksena oli saada hiomakone rakennettua mahdollisimman edullisesti. Kone tulisi suurimmaksi osaksi rakentamaan itse. Ainoastaan koneistettavat osat täytyisi tilata ulkopuolelta, koska yrityksellä ei ole valmiuksia teräksen koneistukseen.

Toinen projektin alussa selvittävät seikka oli realistiset mahdollisuudet koneen rakentamiseen lakisääteisesti. Konedirektiivissä (2006/42/EY) kone määritellään seuraavasti:

Toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten (Konedirektiivi 2006, 4).

Konedirektiivissä on selitetty tarkasti vaatimukset koneen käyttöturvallisuudelle ja käyttöönottoprosessille. Koneita suunniteltaessa täytyy noudattaa konedirektiivin antamia ohjeita ja, jos kone rakennetaan, sille täytyy hankkia CE-merkintä. Prosessin laajuuden vuoksi hiomakoneen rakentamista ei sisällytetty opinnäytetyöhön.

5 LUONNOSTELUVAIHE

5.1 Hiomakoneelle asetetut vaatimukset

Aluksi yrittäjän kanssa pidettiin palaveri, jossa määriteltiin koneen vaatimukset. Tultiin siihen tulokseen, että koneella hiotaan pääasiassa kynttilänjalkoja, mutta rakenteen tulisi olla sellainen, että sitä voitaisiin tarpeen vaatiessa käyttää myös muuhun hiontaan. Hiontatekniikan täytyy olla sellainen, että koneella pystyy hiomaan sekä tasaista pintaa että syviä profiileja samanaikaisesti. Kone tulee yksityisyrittäjälle, joten hinnan tulisi pysyä mahdollisimman alhaisena. Tämä täytyy ottaa suunnittelussa huomioon tekemällä rakenteesta mahdollisimman yksinkertainen ja käyttämällä standardi- ja varasto-osia. Tuotteen tilaajalla oli valmiina tiettyjä osia, joita kustannussyistä tullaan käyttämään suunnittelussa uusien osien hankkimisen sijaan. Valmiina oli vanha sähkömoottori, josta selvitetään vain tehon riittävyys, ja paljon puutavaraa, jota voidaan käyttää joihinkin rakenteen osiin.

5.2 Osatoiminnot

Tilaajan kanssa piirrettiin konseptuja ideoiduille osakokonaisuuksille ja niitä lähdettiin kehittämään tarkemmin Inventor Cad-ohjelmalla.

Suunnittelun aikana koneen osakokonaisuuksille löytyi erilaisia ratkaisuja, jotka esitellään seuraavissa kappaleissa.

Eri ratkaisuvaihtoehdot on myös koottu taulukkoon (taulukko 2).

5.2.1 Hiontatekniikka

Ensimmäisenä tutkittiin erilaisia hiontatekniikkavaihtoehtoja internetistä, kirjallisuudesta ja vierailemalla puusepänteollisuudessa. Se on tärkein alkutieto, josta koneen suunnittelun voi aloittaa. Hiontatekniikalla tarkoitetaan erilaisia menetelmiä, joilla puuta voidaan hioa. Sellaisia ovat esimerkiksi seuraavat:

- nauhahionta
- laikkahionta
- harjahionta
- tasohionta.

Ainut vaihtoehto, joka täyttää kaikki luonnosteluvaiheen alussa asetetut vaatimukset on hiomaharja (kuva 3). Hiomaharjassa on kapeita ja taipuisia hiomapaperisuikaleita, joiden ansiosta harja voi saada minkä muodon tahansa.



KUVA 3. Hiomaharjoja (Pro-Flex katalogi)

Internetin hakukoneiden perusteella Suomessa on kaksi yritystä, jotka myyvät hiomaharjoja. Heidän valikoimistaan parhaaksi vaihtoehdoksi tähän tarkoitukseen osoittautui Posicraft Oy:n maahantuoma Multi-Flex-järjestelmä. Siihen kuuluu uritettu keskiosa, jonka pituuden saa vapaasti valita. Uriin asetetaan valitut hiomaharjaliuskat säteittäisesti keskiosan ympärille. Liuskojen pituus ja karheus sekä koko harjan läpimitta määräytyvät käyttötarkoituksen mukaan.

Yritykselle tehtiin tarjouspyyntö koneeseen tulevasta harjasta, ja vastauksena saatiin heidän suosittelemansa harjan mitat ja spesifikaatiot.

Suosittelun halkaisija on 180 mm, jossa on 32 mm akselin halkaisija. Hiomaharjat ovat karkeudeltaan 150 ja 220 al ja niiden pituus 65 mm ja leveys 4 ja 7 mm vuorotellen.

5.2.2 Koneen rakenne

Koneen rakenteen tärkein määritelmä oli yksinkertaisuus ja kustannusten vähäisyys. Sen pitäisi olla myös helppo ja edullinen rakentaa. Rakenteen tulisi olla kestävä ja värähtelyn vähentämiseksi kone saisi olla painava.

Materiaalivaihtoehtoja ovat teräs, alumiini, puu ja muovi. Helpoin ja paras vaihtoehto olisi rakenneteräs S355, koska sitä on helppo työstää ja se on kestävä sekä edullista.

5.2.3 Voimanlähde ja -siirto

Koneen voimalähteeksi on järkevin vaihtoehto sähkömoottori, mutta paineilmakäyttö on myös mahdollinen. Aluksi voimalähteeksi mietittiin sähköporakonetta suunnittelun helpottamiseksi, koska siinä on valmiiksi pyörimisnopeuden säätö ja kytkin. Ideasta keskusteltiin työn tilaajan kanssa, mutta voimalähteeksi haluttiin erillinen sähkömoottori. Yrityksellä oli vanha ylimääräinen moottori ennestään olemassa, jota tullaan käyttämään suunnittelussa.

Posicraft Oy:ltä saadussa tarjouskirjeessä suositeltiin taajuusmuuttajan käyttöä kierrosnopeuden säätöön. Jotta hiomatulos saataisiin optimoitua, pitäisi moottorin pyörimisnopeus olla säädettävissä alueella 500- 1000 rpm.

Voimansiirto voi tapahtua suoralla akselilla moottorilta harjan akselille. Akselit voidaan liittää jäykällä liitoksella, kuten hitsaamalla tai joustavalla kytkimellä, joita ovat esimerkiksi sakarakytkin (kuva 4) ja kumiholkkikytkin. Toinen vaihtoehto on hihna-, ketju tai hammaspyörävoimansiirto, jolloin moottorin voi sijoittaa koneen päälle, alle tai sivulle.

Moottorille laskettiin sen tarvitsema vähimmäisteho ja akselille kohdistuva vääntömomentti. Kaavat ja tulokset on käsitelty tarkemmin luvussa 5.6.



KUVA 4. Sakarakytkin (Joustavat kytkimet, Konaflex)

5.2.4 Kuljetin

Hiottava kappale täytyy saada liikkumaan harjan alla. Yksinkertaisin vaihtoehto olisi liikuttaa kappaletta käsin harjan ali, mutta se ei käy, koska liike tulisi saada mahdollisimman tasaiseksi, ettei synny epätasaista hiomajälkeä. Riippuen koneen rakenteesta, siihen voitaisiin asentaa sähkömoottorilla pyörivä hinnakuljetin tai jonkinlainen lineaarijohdin (kuva 5).

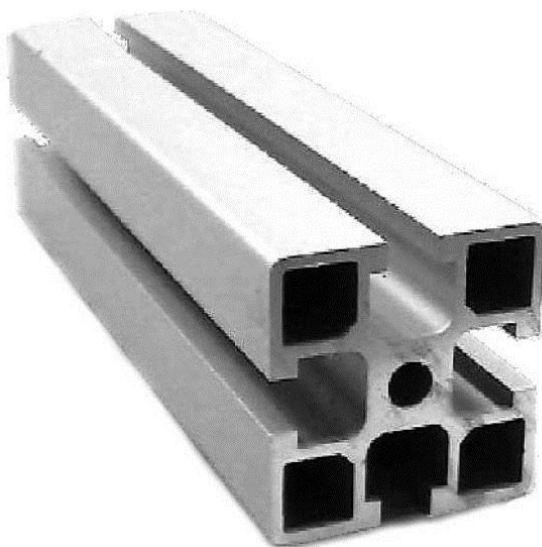


KUVA 5. Lineaarijohde (Mekanex-lineaarijohdekatalogi)

5.2.5 Pöytä

Yhdessä työn tilaajan kanssa mietittiin koneen sijoituspaikkaa. Aluksi suunniteltiin, että koneen voisi ruuvata suoraan verstaalla valmiina olleeseen puiseen pöytään kiinni. Lopulta tultiin siihen tulokseen, että koneelle pitäisi suunnitella ja rakentaa kokonaan uusi taso.

Pöydässä pitäisi olla tukevat jalat ja sitä pitäisi olla helppo liikuttaa. Koneen pitäisi olla noin 90–100 cm korkeudella parhaan työergonomian saavuttamiseksi. Kone ei saisi kokonaisuudessaan viedä paljoa tilaa. Erilaisia tasovaihtoehtoja keksittiin paljon. Pöydän voisi rakentaa teräksestä, alumiiniprofiilista tai puusta. Teräksestä huonekaluputkesta voisi hitsata jalat pöydälle, mutta ongelmaksi tulisi paino, hinta ja työstettävyyden vaikeus puupöytään verrattuna. Alumiiniprofiili (kuva 6) olisi kevyt ja se olisi helppo rakentaa valmiiden liitososien avulla, mutta haittapuolena olisi korkea hinta.



KUVA 6. Alumiiniprofiili (Drivematic alumiiniprofiiliesite)

5.3 Vaihtoehdot

Eri osatoimintojen ratkaisuvaihtoehdot merkittiin morfologiseen matriisiin (taulukko 3) ja niitä yhdistelemällä valittiin kaksi eri vaihtoehtoa kokonaistoiminnolle. Matriisissa näkyvät nuolet tarkoittavat kokonaistoimintoon valittuja osatoimintoja.

TAULUKKO 3. Morfologinen matriisi

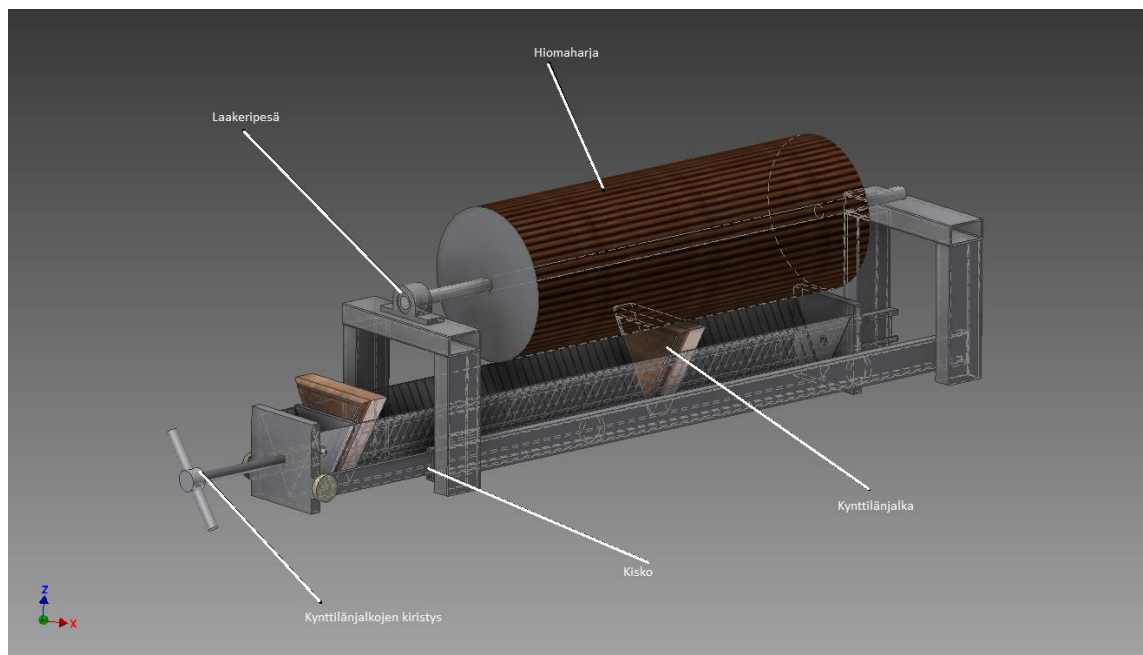
	1.	2.	3.
Hiontatekniikka	Hiomaharja	Hiomarumpu	
Rakenne	Teräsputki	Alumiiniprofiili	Latta- ja kulmarauta
Voimansiirto	Suora akseli	Hihna	Ketju
Kuljetin	Lineaarijohde	Hihnakuuljetin	Ei kuljetinta
Akseliliitos	Sakarakytkin	Kumiholkkikytkin	Laippaliitos
Pöytä	Puu	Teräs	Alumiini
Voimanlähde	Sähkömoottori	Paineilmamoottori	Porakone
Nopeudensäätö	Vaihteisto	Taajuusmuuttaja	Ei säätöä

5.4 Ensimmäinen versio

Ensimmäinen konsepti (kuva 7), jota lähdettiin kehittämään, oli rakenteeltaan kuvan 4 mukainen. Siinä hiomaharja on asetettu koneen yläpuolelle ja kynttilänjalat asetetaan peräkkäin kelkkaan, jota liikutetaan harjan ali. Kynttilänjalkojen väliin tulee 5 mm paksuinen irtonainen kolmiolevy, jotta hiomaharjan harjakset mahtuisivat paremmin hiomaan sivuprofilia. Kelka liikkuu kiskoilla edestakaisin.

Koneen rakenne tehtäisiin 30 x 50 x 2 kokoisista nelikulmioteräsputkista ja ne hitsattaisiin yhteen. Harja olisi paikallaan, mutta se olisi niin leveä, että sillä pystyisi hiomaan kynttilänjalan koko leveydeltä.

Suunnitelma hylättiin kokonaan, koska siinä oli kriittisiä virheitä. Esimerkiksi moottorin sijoitus tuotti suuria ongelmia rakenteen takia ja kelkan kulkusuunta ei ollut järkevä. Kelkan pitäisi liikkua harjan ali niin, että kynttilänjalat hiottaisiin puun syyn mukaisesti, eli kulkusuunnan pitäisi olla käännettynä 90 astetta suunnitellusta. Konstruktio ei vastannut määrättyihin vaatimuksiin, joten valittiin uusi konsepti kehitettäväksi.

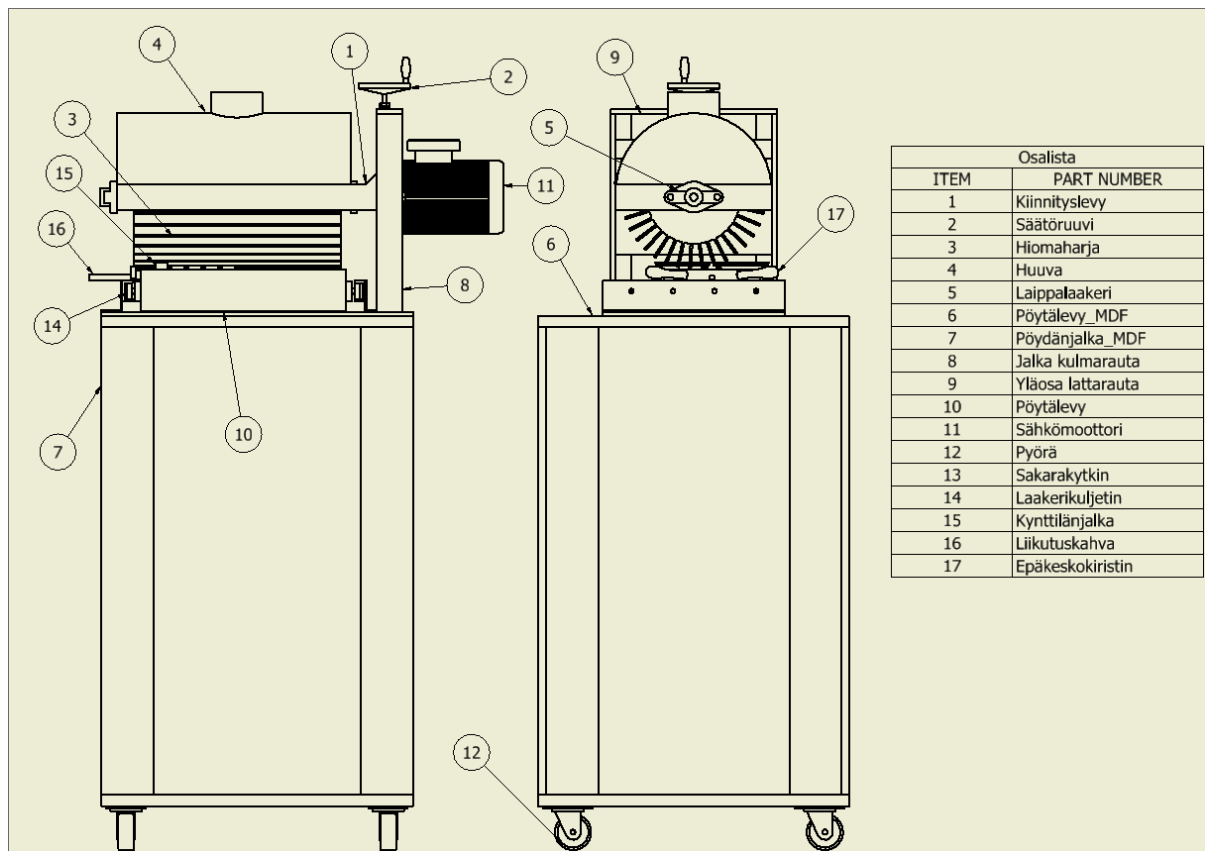


KUVA 7. Hiomakoneen ensimmäinen versio

5.5 Lopullinen versio

Uusi idea koneen rakenteelle ja toimintatavalle saatiin eräästä jo markkinoilla olevasta harjahiomakoneesta, joka sopisi muuten työn tilaajan tarpeisiin, mutta sillä ei ollut mahdollisuutta hioa kynttilänjalkoja ilman rakennemuutoksia. Lisäksi se oli kallis eikä sitä myyty Suomessa.

Mallia otettiin ainoastaan sen perusrakenteesta, kuten korkeudensäädöstä ja voimansiirrosta, kaikki muu suunniteltiin itse. Kuvassa 8 on esitetty koneen rakenne sivusta ja edestä sekä osaluettelo. Kuvassa 9 on koneen lopullinen 3D-mallinnettu konstruktio.



KUVA 8. Hiomakoneen osaluettelo



KUVA 9. Lopullinen 3D-mallinnettu konstruktio

5.5.1 Rakenne

Koneen rakenne valmistetaan rautakaupasta löytyvistä lattaraudoista, kulmaraudoista ja teräslevystä, jotka ovat S355 rakenneterästä. Pöytä rakennetaan kestävästä mdf-puulevystä, koska sen työstämiseen on yrityksessä hyvät valmiudet. Teräsosat hitsataan yhteen ja kone pultataan puupöytään kiinni pohjalevystään.

Pöydän rakenne on yksinkertainen. Se rakennetaan levystä kokonaan ja sekä jalat että taso tehdään samasta materiaalista. Pöydän alle asennetaan lukittavat ja kääntyvät pyörät liikuttamisen helpottamiseksi. Pöydän kokonaiskorkeus on 100 cm hyvän ergonomian saavuttamiseksi.

Koneen rakenteen pohjana on pöytään pultattava 600 x 350 x 8 mm kokoinen pohjalevy, johon koneen jalat kiinnitetään hitsaamalla. Jalat sahataan 60 x 40 x 3 mm kokoisesta kulmaraudasta 380 mm pituisiksi ja niiden päässä ylimpänä on 60 x 3 mm kokoinen ja 320 mm pituinen lattarauta. Kaikki osat hitsataan toisiinsa.

Hiomaharjalle tehdään kehikko, jonka korkeutta pystytään säätämään (kuva x). Kehikko rakennetaan 50 x 10 mm kokoisesta lattaraudasta hitsaamalla sahatut osat yhteen tarkasti. Kehikko hitsataan kiinni 300 x 220 x 10 mm kokoiseen takalevyyn, johon kiinnitetään myös sähkömoottori ruuveilla.

Hiomaharjalle sorvataan 32 mm halkaisijaltaan oleva akseli, joka lepää sille tehdyissä urissa ja se kiinnitetään kehikkoon laakeripesiin kummastakin päästä. Laakerien kohdalla akselin halkaisija on 15 mm.

Koneen valmistuksessa on otettava huomioon osien tarkka kohdistus.

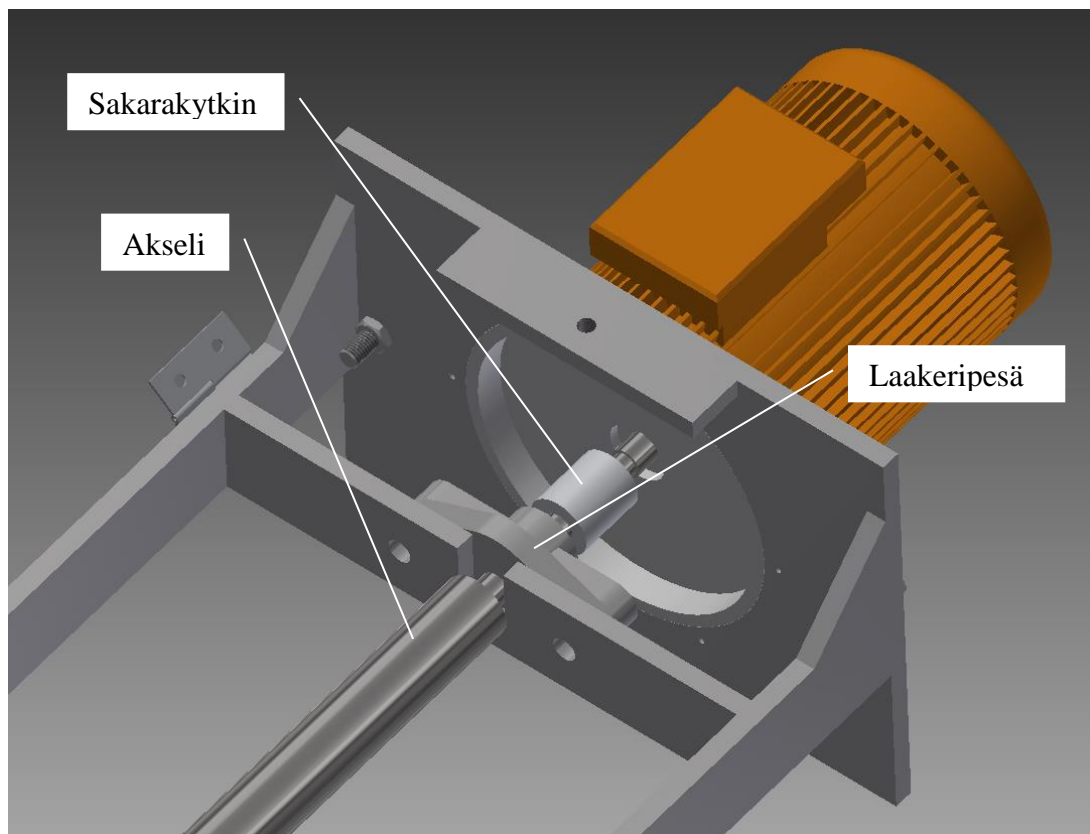
5.5.2 Voimansiirto

Voimansiirto toteutetaan suoralla akselilla moottorilta harjan akselille siten, että akselin väliin tulee sakarakytkin vaimentamaan voimia (kuva 10). Sakarakytkin valittiin siihen kohdistuvan momentin mukaan Mekanex sakarakytkin-taulukosta (liite 1). Valittiin kytkinkoko 14, perustuen kappaleen 5.6 akselille kohdistuvan momentin laskentoihin. Harjan puoleinen akselinhalkaisija on 15 mm ja moottorin puoleinen 12 mm. Sakarakytkin yhdistää akselit ja vaimentaa samalla voimapiikkejä varsinkin käynnistyksessä.

Se mahdollistaa myös pienet asennusvirheet esimerkiksi akseleiden kohdistuksessa. Nämä seikat pidentävät koneen käyttöikä.

Erilaisia joustavia kytkimiä on olemassa paljon, mutta sakarakytkimellä saadaan aikaiseksi hyvä momentinsiirtokyky komponentin kokoon nähden. Se oli tärkeä kriteeri, sillä moottorin ja harjan välissä on vain vähän tilaa.

Moottoriin liitetään taajuusmuuttaja ja se kiinnitetään koneen runkoon. Taajuusmuuttaja valitaan sähkömoottorin tehon perusteella.



KUVA 10. Voimansiirto

5.5.3 Moottori

Suunnittelussa käytetty sähkömoottori on vanha kolmivaiheinen Hanning Elektro Werke-merkkinen (kuva 11) ja se on ollut ennen pumppukäytössä. Moottorin kunto ei ollut kovin hyvä. Laakerit olivat ruostuneet ja ne vaihdettiin.

Moottorin antoteho on 0,55 kW ja sen pyörimisnopeus on 2810 rpm.



KUVA 11. Käytettävä sähkömoottori purettuna

5.5.4 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja (kuva 12) on laite, jolla voidaan säätää sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja joillakin malleilla myös vääntömomenttia. Vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeus määräytyy syötettävän sähkön taajuudesta, johon taajuusmuuttajan toiminta perustuu. Taajuusmuuttaja valitaan käytettävän sähkömoottorin tehon perusteella.

Valinnaksi käy mikä tahansa taajuusmuuttaja, joka on 0.55 kW teholtaan ja tarkoitettu kolmivaihemoottorille.

Koska kustannukset on pidettävä mahdollisimman pieninä, valitaan myös taajuusmuuttajaksi edullisin vaihtoehto.

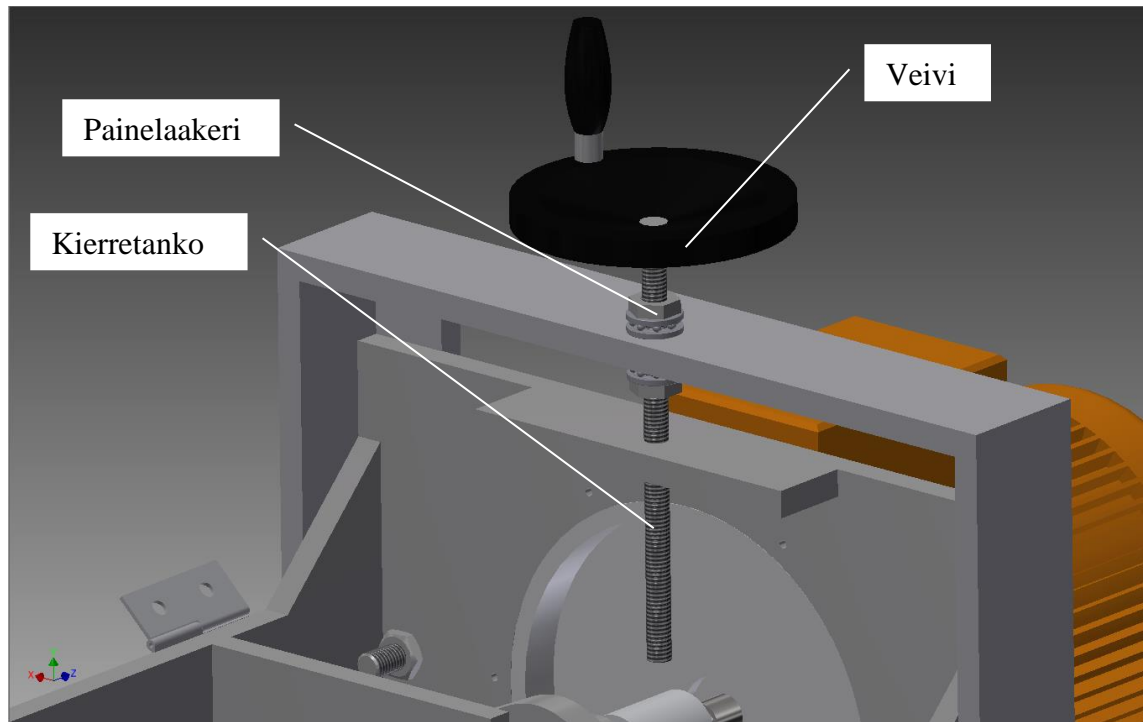


KUVA 12. ABB taajuusmuuttaja (ABB)

5.5.5 Korkeuden säätö

Harjan korkeutta täytyy pystyä säätämään. Koneen kehikon ylälattaraudassa on veivi, josta kääntämällä harja ja moottori kehikkoineen liikkuvat (kuva 13). Veivissä on M10-kokoinen kierretanko, joka on kiinni ylälevyn ja harjan kehikon välissä. Ylälattaraudassa on kierteetön reikä, jossa tanko voi pyöriä vapaasti. Tanko kiristetään muttereilla kummaltakin puolelta niin, että mutterien ja levyn väliin laitetaan painelaakerit kum-

mallekin puolelle, jolloin pyörimiskitka vähenee ja tanko pyörii kevyemmin. Tanko kiinnittyy harjan kehikossa olevaan M10-kokoiseen kierteitettyyn reikään, mikä mahdollistaa korkeuden säädön tankoa ruuvaamalla. Harjan kehikon ja koneen rakenteen jalkojen kosketuskohdassa on pultti-mutteri kiristys, jotta korkeus voidaan lukita haluttuun kohtaan. Harjan kehikko lepää koneen rakenteen jalkoja vasten.



KUVA 13. Hiomaharjan korkeussäätö

5.5.6 Tuotteen liike

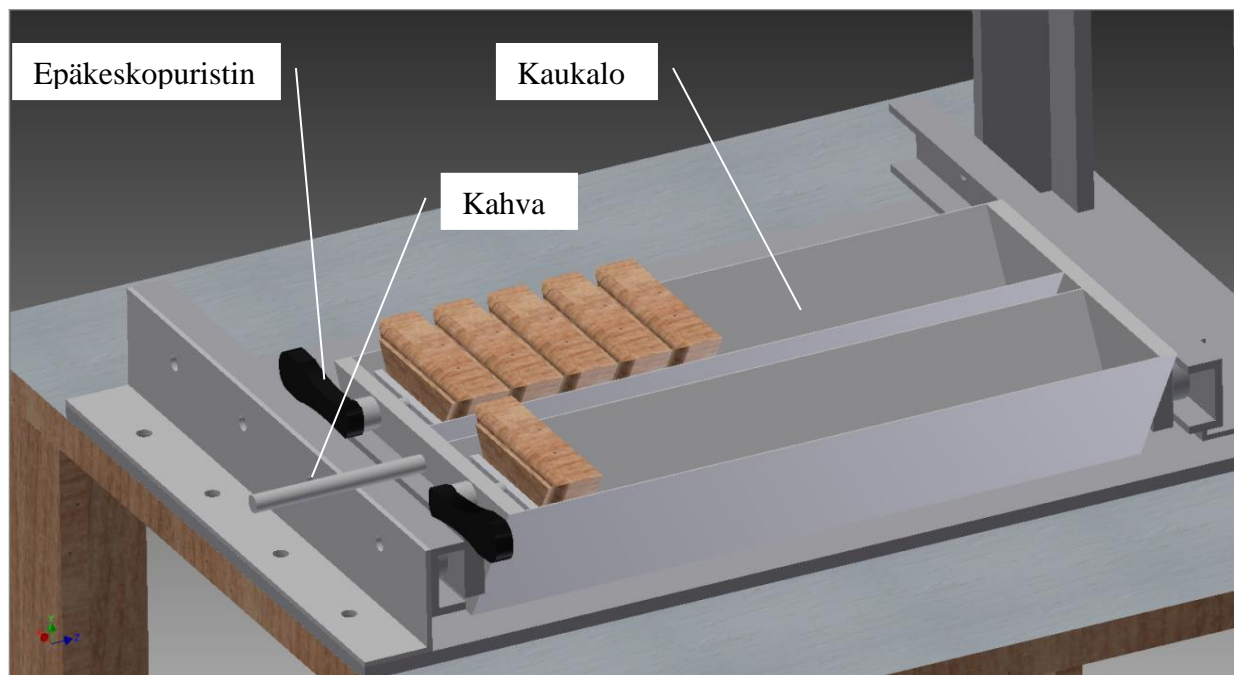
Kynttilänjalat asetetaan niille tehtyyn kaukaloon (kuva 14), jossa on kaksi riviä. Siihen mahtuu 24 kynttilänjalkaa ja jokaisen välissä on 5 mm paksu vanerikolmiolevy, joka mahdollistaa hiomaharjojen pääsyn kynttilänjalkojen väliin profiilia hiomaan.

Kynttilänjalat kiristetään paikoilleen epäkeskopuristimien avulla, jotka ovat kaukalon päädysssä.

Kaukalon päässä on yksinkertainen kahva M8 kierteellä kiinni, josta kelkkaa voi liikuttaa edestakaisin. Kaukalon rakenne on sellainen, että siinä on teräspäätylevyt, joiden välissä on 60 asteen kulmassa ohuet vanerilevyt. Materiaaliksi valittiin puuvaneri, koska se on helpompi ja halvempi valmistaa sekä teräs voi kovuutensa takia jättää jälkiä tuotteisiin. Vanerilevyt kiinnitetään ruuveilla päätypaloihin porattujen reikien kautta.

Kaukalo liikkuu lineaarijohteiden ohjaamina. Kaukalon kummallekin puolelle kiinnitetään kelkka, jossa on kolme laakeria ja liikkuu raiteella. Raide on kiinni 60 x 40 x 3 mm kulmaraudassa. Koko järjestelmä kiinnitetään kulmarauodoista M8 pulteilla koneen pohjalevyyn, jotta se voidaan irrottaa helposti. Kuljetusjärjestelmän tulee olla sellainen, että siihen voidaan tarvittaessa vaihtaa esimerkiksi moottorilla pyörivä hihnakuuljetin muita hiontakohteita varten.

Hionta tapahtuu niin, että kynttilänjalat ja kolmiolevyt niiden välissä asetetaan kaukaloon ja kiristetään epäkeskopuristimella kiinni. Kaukaloa vedetään pyörivän hiomaharjan alla kahvasta, kunnes saadaan haluttu pinnanlaatu. Jokaisen sivun hionnan jälkeen kiinnitys avataan ja kynttilänjalat käännetään ympäri toiselle sivulle. Hiotut tuotteet siirretään ritilälle maalausta tai lakkausta varten. Niitä ei tarvitse puhaltaa paineilmalla enää, koska imuri imee puupölyn pois. Valmistusprosessi lyhenee entisestään, kun yksi työvaihe poistuu kokonaan.



KUVA 14. Kaukalo kynttilänjaloille sekä lineaarijohteet, joita pitkin kaukalo liikkuu

5.5.7 Pölyn poisto

Hiomaharjan päällä on 1 mm paksuisesta pellistä tehty huuva, jonka päällä on halkaisijaltaan 100 mm standardiliitos imurinletkulle. Verstaalla on iso ja tehokas pölyn-

poistoimuri, josta saa letkun suoraan huuvaan kiinni. Pelti taitetaan muotoonsa ja siihen hitsataan päätypalat kiinni. Imurinletkun reikä sahataan päälle ja siihen hitsataan samasta pellistä taiteltu kartio.

5.6 Laskennat

Rakenteen kriittisten kohtien lujuuslaskennat suoritettiin Ansys-ohjelmalla. Koko rakennelman kestävyyttä on turha laskea vaan sen sijaan tulisi miettiä, mitkä koneen osat ovat kriittisimpiä koko rakenteen kestävyuden kannalta ja keskittyä näiden lujuuksien laskemiseen.

Tarkasteluun otettiin koneen teräsrakenne, eli jalat ja harjan kehikko (liite 2). Tärkeimmät asiat jotka tuli selvittää, olivat harjan kehikon ja muun rakenteen taipuma. Moottorin massa oli tiedossa ennestään ja akselin sekä muiden rakenteeseen vaikuttavien osien massan sai suoraan Inventorin laskemana. Hiomaharjalle jouduttiin laskemaan arvio massalle, mutta sen paino on pieni osa koko rakenteen massasta, joten arvion epätarkkuus ei vaikuta lopputulokseen ratkaisevasti. Ansys-ohjelmassa syötettiin kehikkoon vaikuttavat voimat ja tukireaktiot.

Tuloksista nähdään että rakenteessa tapahtuva muodonmuutos on olemattoman pieni. Harjankehikon kärki on ainoastaan 0,1 mm päässä kuormittamattoman tilanteen asemasta (liite 2).

Akselia kuormittaa sähkömoottori, joiden välissä on sakarakytkin. Akseliin kohdistuva momentti on laskettava, että saadaan valittua oikean kokoinen sakarakytkin ja selvitettyä minimi moottorin nimellismomentille.

Kaikki massat saadaan suoraan Inventor-ohjelmasta hiomaharjaa lukuun ottamatta, jolle piti arvioida massa. Pieni heitto harjan massassa ei haittaa, koska se on verrattain pieni.

Lasketaan kulmanopeus taajuusmuuttajan määräämällä kierrosnopeudella 1000 rpm ja muutetaan yksiköksi kierroksia sekunnissa, $1000 / 60 \text{ s} = 16,67 \text{ 1/s}$ (Tekniikan kaavasto, 93-94).

$$\omega = 2 * \pi * n$$

Kaava 1

$$\omega = 2 * \pi * 16,67 \frac{1}{s} = 104,74 \frac{rad}{s}$$

Kuormituksen aiheuttama momentti M lasketaan sen aiheuttamasta hitausmomentista J , kun tiedetään kuorman massa m ja moottorin kulmakiihtyvyys α . Kulmakiihtyvyys saadaan jakamalla loppukulmanopeus kiihdytykseen kuluvalle ajalle t . Kiihdytykseen kuluva aikaa ei tiedetä, joten sen arvioidaan kestävän sekunnin.

Akselille lasketaan umpinaisen lieriön hitausmomentti J_{aks} ja harjalle onton lieriön hitausmomentti J_{har} . Tulokset summataan, jolloin saadaan kokonaishitausmomentti J_{kok} (Tekniikan kaavasto, 94).

$$J_{aks} = \frac{1}{2} * m_{aks} * r_{aks}^2 \quad \text{Kaava 2}$$

$$J_{aks} = \frac{1}{2} * 2,8 \text{ kg} * (0,016 \text{ m})^2 = 0,00036 \text{ kgm}^2$$

$$J_{har} = \frac{1}{2} * m_{harja} * (r_{aks}^2 + r_{har}^2) \quad \text{Kaava 3}$$

$$J_{har} = \frac{1}{2} * 0,7 \text{ kg} * ((0,016 \text{ m})^2 + (0,3\text{m})^2) = 0,0316 \text{ kgm}^2$$

$$J_{kok} = J_{aks} + J_{har} \quad \text{Kaava 4}$$

$$J_{kok} = 0,00036 \text{ kgm}^2 + 0,0316 \text{ kgm}^2 = 0,0320 \text{ kgm}^2$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad \text{Kaava 5}$$

$$\alpha = \frac{104,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 104,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$M = J_{kok} * \alpha \quad \text{Kaava 6}$$

$$M = 0,0320 \text{ kgm}^2 * 104,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 3,35 \text{ Nm}$$

Moottorin nimellismomentti T_{nim} saadaan laskettua, kun tiedetään moottorin nimellisteho P ja – kierrosnopeus n , joka muutetaan kulmanopeudeksi ω .

$$T_{nim} = \frac{P_{nim}}{\omega}$$

Kaava 7

$$T_{nim} = \frac{550W}{104,74 \frac{rad}{s}} = 5,25 Nm$$

Huomataan, että moottorin antama nimellisvääntömomentti on tarpeeksi suuri harjan pyörittämiseen. Akselille kohdistuva momentti on 3,35 Nm ja moottorin nimellismomentti on 5,25 Nm.

6 POHDINTA JA LOPPUTULOKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella hiomakone, jolla saataisiin tehostettua kynttilänjalan valmistuksessa olevaa hiontavaihetta. Suunnittelun lopputuloksena saatiin toimiva konstruktio, joka voidaan rakentaa piirustusten ja hankittavien osien luettelon avulla, jotka luovutetaan työn tilaajalle. Koneen rakennus on yrittäjän päätettävissä.

Täytyy muistaa kuitenkin, että vaikka kehitetty konstruktio vaikuttaa valmiilta paperilla, siinä saattaa tulla suunnitteluvirheitä esille rakennusvaiheessa. Siitä syystä tuotekehitysprojektissa tuotteesta tehdään yleensä prototyyppi, jolla nähdään konkreettisesti koneen toimivuus.

Työn tärkein päämäärä oli nopeuttaa ja helpottaa hiontavaihetta. Koska konetta ei vielä rakennettu, voidaan vain arvioida hiomiseen kuuluva aika. Jos oletetaan, että kaikki säädöt ovat kohdillaan ja kynttilänjalat ovat lähellä ja helposti saatavilla, voidaan koko hiontaprosessi käydä läpi arvioiden teoriassa. Tällä menetelmällä 24 kynttilänjalan hiomiseen arvioidaan menevän 75 sekuntia, kun käsihionnassa neljän hiomiseen menee 40 sekuntia. Näin yhden tuotteen hiomiseen menee koneella 3,125 sekuntia ja käsin 10 sekuntia, joten suunniteltu kone vähentäisi vaiheen kestoa 3,2 kertaisesti.

Toinen vaatimus hiomakoneelle oli työn helpottaminen ja se toteutuisi hyvin, sillä hionta tapahtuu koneellisesti.

Jos kone tullaan rakentamaan, siihen suunnitellut osat ja materiaalit on listattu ja ne voidaan tilata heti niitä myyviltä yrityksiltä. Kaikki teräsmateriaali ja pöydän renkaat löytyvät suoraan rautakauppa Rautasoinin hyllyiltä, laakerit ja laakeripesät Kentso Oy:stä, lineaarijohteet ja sakarakytkin saadaan yrityksestä Oy Mekanex Ab, epäkeskopuristimet ja veivi tilataan SKS Oy:stä sekä taajuusmuuttaja ABB:ltä, mdf-levy levypalvelusta ja lopuksi hiomaharja Posicraft Oy:ltä.

Yksi projektin vaatimuksista oli hinnan edullisuus. Koneelle oli vaikea laskea tarkkaa lopullista hintaa, joten sille annettiin vain arvio loppuhinnasta sen hetkisillä hinnoilla, kun opinnäytetyötä tehtiin. Hinnoittelua vaikeuttaa myös se, että monesta tuotteesta täytyy tehdä tarjouspyyntö myyjälle.

Hiomaharja tulisi maksamaan 650 € + verot ja rahti, eli yhteensä noin 850 €.

Teräsmateriaalia ostetaan hieman suurempi määrä mitä on tarve, jotta jää työstövaraa. Ne maksaisivat yhteensä noin 50 € Rautasoini Oy:n hinnaston mukaan. Pöydän renkaat ovat noin 10 euroa kappaleelta.

Laakeripesän hinta kappaleelta on noin 11 € ja painelaakerin noin 16 € eli yhteensä 54 €. Taajuusmuuttaja on noin 150 € ja mdf-levyt maksaisivat yhteensä noin 40 €. Sakarakytkimen hinta on arviolta 50 € ja lineaarijohteet 50 €. SKS:ltä tilattavat veivi ja puristimet olisivat yhteensä noin 40 €. Työtä ei ole otettu huomioon laskuissa, koska kone rakennettaisiin itse.

Arvio loppusummasta on 1324 € ja se on melko korkea hinta pelkästään materiaaleista tämän kokoluokan koneelle. Hiomaharja muodostaa suurimman osan hinnasta, joten jos työntilaaaja haluaa vähentää kustannuksia, täytyy etsiä edullisempi vaihtoehto esimerkiksi ulkomailta.

Aloitin koneen suunnittelun alunperin jo syksyllä 2013, mutta aikataulu venyi huomattavasti. Syynä tähän oli työn epämääräisyys. Alussa työn tilaajallakaan ei ollut selvää käsitystä siitä, millainen koneen tulisi olla. Opinnäytetyö paisui isommaksi projektin edetessä, kun työn tilaaja lisäsi vaatimuksia koneelle. Ideoin ja mallinsin useita ratkaisuita koneelle, jotka työn tilaaja joko hylkäsi tai halusi muuttaa merkittävästi aina kun esittelin ne. Huomasin, että uuden koneen suunnittelu yksin on vaikeaa ja hidasta, koska on niin monta osakokonaisuutta, jotka vaikuttavat toisiinsa.

Suunnittelun lopputulos on mielestäni onnistunut ja työn tilaajakin on tyytyväinen siihen. Opinnoissani olen suuntautunut tuotekehitykseen, joten opinnäytetyön aihe tuki hyvin koulussa oppimiani asioita. Työssä piti miettiä erilaisia valmistusmenetelmiä, materiaaleja ja komponentteja, joista opin paljon uutta.

LÄHTEET

Jokinen, T, 2001. Tuotekehitys. Otatieto

Ulrich, K. Eppinger, S. 2008. Product Development. McGraw-Hill International Edition

Auvinen, S., Isomäki, O., Koponen, H., Saimovaara, J., Tiainen, J., Tiainen, J. & Tolvanen, P. 2006. Puutuoteteollisuus 3: puusepänteollisuus. Opetushallitus

Bob Flexner, 2008. Rules for sanding wood. Luettu 3.5.2014.

http://www.popularwoodworking.com/techniques/rules_for_sanding_wood

Akinlabi Babatunde, 2013. How to select the right sandpaper. Luettu 3.5.2014.

<http://www.woodworkingbank.com/2013/12/how-to-select-right-sandpaper-grit.html>

Euroopan Parlamentti, 2006. Konedirektiivi. Luettu 26.4.2014.

[http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:fi:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:fi:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:fi:PDF)

Mäkelä, M. Soininen, L. Tuomola, S. Öistämö, J. 2008. Tekniikan kaavasto. Tammer-tekniikka

LIITTEET

Liite 1. Mekanex sakarakytkintaulukko

http://www.mekanex.se/pdf/fi/kk_d1/kap_2/sakarakytkin-klopping.pdf

AKSELIKYTKIMET

Sakarakytkin, tyyppi WKEG – pidätinruuvi

Materiaali

Elastomeeriristi: 98° Shore A (punainen), sallittu jatkuva lämpötila -28...+90 °C (suurin tilapäinen lämpötila -38...+120 °C)
Navat: Alumiini koot 5–38 ja teräs koot 42–65
Kiilaura: Standardin SMS 2305 mukainen (vakiona)

Ominaisuudet

- Välyksetön
- Tärinää vaimentava
- Kompensoi aksiaaliset, säteittäiset ja kulmapoikkeamat
- Saatavana ruostumattomana

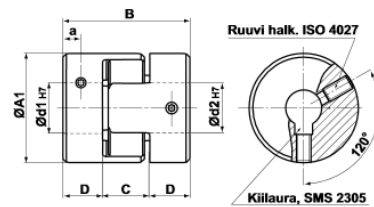


Koko	A1	A2	B	C	D	F	Ø	98°		RPM**	Ruuvin		Suurin akselipoikkeama*				
								d1-d2	ShoreA		Maks.	Ruuvi	momentti	Aksia.	Säteit.	Kulma	Paino
								Nm		min ⁻¹	koko	Nm	a	ΔK _a mm	ΔK _r mm	ΔK _w °	g
05	10	-	15	5	5	-	2-5	0,9	47500	M3	2,5	2,5	0,4	0,04	0,9	5	
07	14	-	22	8	7	-	3-7	2,0	35000	M3	2,5	3,5	0,6	0,06	0,9	9	
09	20	-	30	10	10	-	4-10	5,0	24000	M4	5,0	5,0	0,8	0,08	0,9	20	
14	30	-	35	12	11	-	5-16	12,5	16000	M4	5,0	5,0	1,0	0,09	0,9	50	
19	40	-	66	16	25	-	6-24	17,0	12000	M5	10,0	10,0	1,2	0,06	0,9	180	
24	55	-	78	18	30	-	8-28	60,0	8700	M5	10,0	10,0	1,4	0,10	0,9	410	
28	65	-	90	20	35	-	10-38	160,0	7400	M8	15,0	15,0	1,5	0,11	0,9	650	
38	80	-	114	24	45	-	12-45	325,0	6000	M8	15,0	15,0	1,8	0,12	0,9	1270	
42	95	85	126	26	50	28	14-55	450,0	5000	M8	20,0	20,0	2,0	0,14	0,9	4920	
48	105	95	140	28	56	32	15-62	525,0	4600	M8	20,0	20,0	2,1	0,16	0,9	6720	
55	120	110	160	30	65	37	20-74	685,0	4000	M10	20,0	20,0	2,2	0,17	0,9	10180	
65	135	115	185	35	75	47	22-80	1040,0	3500	M10	25,0	20,0	2,6	0,18	0,9	13700	

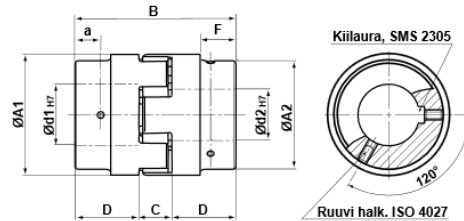
*Arvot koskevat kovuutta 98° shore A (punainen). Elastomeeriristin kovuus 92° shore A (keltainen) arvot saa Mekanexilta.

**Maksimi kierrosluku. Jos nopeus on yli 30 m/s, suosittelemme dynaamista kytkimen tasapainotusta.

ALUMIINI KOOT 5–38



TERÄS KOOT 42–65



Liite 2. Hiomakoneen rakenteen FEM-mallinnus.

