

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU

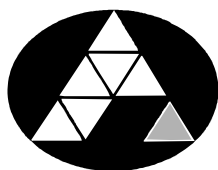
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tapio Taivainen

BIOPUUHAKETTIMEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2011
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800 p. (013) 260 6906

Tekijä

Tapio Taivainen

Nimeke:

Biopuuhakettimen suunnittelu

Toimeksiantaja:

Ariratex Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada aikaiseksi Ariratex Oy:lle biopuuhakettimen työpiirustukset ja hakettimen komponenttien vaatimat laskennat. Tavoitteena oli dokumentoida hakettimen rakenne, jolloin sen rakentaminen onnistuu myöhemminkin samanlaisena. Työssä suunniteltu hakettimen prototyyppi on tarkoitettu referenssiksi tulevaa projektia varten.

Työssä on sovellettu VDI2222-mukaista systemaattista suunnittelumenetelmää, joskin pääosin työ on tehty intuitiivisena suunnitteluna. Työssä on käytetty Alibre Design Expert 3D -suunnitteluohjelmaa, MS Wordia sekä MS Excel -taulukkolaskentaohjelmaa.

Työn tuloksena saadut työkuvat ja polttokuvat ovat yritykselle hyvä lähtökohta lähteä suunnittelemaan prototyyppin pohjalta uutta tai parantamaan entistä suunnitelmaa. Suunniteltua hakettinta ei ole vielä rakennettu, joten työstä puuttuu käytännön tulokset. Yritys rakentaa hakettimen loppuun työn tuloksena saatujen työkuvien avustuksella. Hakettimen rakennetta kannattaa jatkossa kuitenkin keventää ja yksinkertaistaa.

Kieli:

suomi

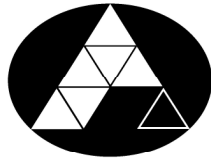
Sivuja 35

Liitteet 2

Liitesivumäärä 5

Asiasanat

haketin, mekaniikkasuunnittelu, biopuu



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
June 2011
**Degree Programme in Mechanical
and Production Engineering**
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author(s)

Tapio Taivainen

Title

Designing of biowood chipper

Commissioned by
Ariratex Ltd

Abstract

Purpose of this thesis was to get drawings and necessary calculations of chipper components for Ariratex Ltd. Head goal was to document the structure of the chipper to make possibly to build another copy. Prototype which was designed in this work was meant to be sort of reference for the company for upcoming project.

This work was done by applying methods from VDI2222. Most of the works was done by intuitive design. Designing was done by using Alibre Design Expert 3D – Designing program, MS Word and MS Excel -programs.

Drawings are good starting point for company to start designing new designs or to improve old design based on the prototype. Designed chipper hasn't been built yet, so practical results are missing from this work. Goal of the company is still to complete the wood chipper.

Language:
Finnish

Pages 35
Appendices 2
Pages of Appendices 5

Keywords:

woodchipper, mechanical design, biowood

SISÄLTÖ

Tiivistelmä

Abstract

1. Johdanto	5
1.2. Työn rajaustus.....	5
1.3. Ariratex OY	5
1.4. Suunnitteluohjelmisto	6
2. Tuotekehitys- ja suunnittelumenetelmät	6
3. Puun haketus.....	8
4. Hakettimien toimintaperiaatteet	8
4.1 Laikkahakkuri	8
4.2 Rumpuhakkuri	9
4.3 Ruuvihakkuri.....	10
5. Tuotekehityksen vaiheet	11
6. Hakettimen komponenttien tarkastelu.....	12
6.1 Hakettimen rummun vaatima vääntömomentti	12
6.2 Hakettimen puhaltimen vaatima vääntömomentti.....	14
6.3 Hakettimen pääakselin halkaisija ja lujuus	15
6.4 Haketinrummun sekä puhaltimen liittäminen pääakselille	17
6.4.1 Akseli-napa holkit.....	17
6.4.2 Kiilaliitos.....	17
7. Tulokset	19
7.1 Runkorakenne	19
7.2 Hakkurirumpu	27
7.3 Puhallin.....	30
7.4 Syöttöpöytä	31
8. Yhteenveto.....	33
Lähteet.....	35

Liitteet

Liite 1 Vaatimusluettelo

Liite 2 Valmistuskuvia

1 Johdanto

Työssä on tarkoituksena suunnitella ja mitoittaa biopuuhakettimen olennaisimmat komponentit ja saada aikaan tilaajaryitykselle eräänlainen referenssihakettin, jolla voidaan tarkistaa teoreettisten laskujen paikkansapitävyys ja tarkastella hakettimen toimintaa jatkoprojektia varten.

Tässä työssä suunniteltu hakkuri on tarkoitettu asennettavaksi esimerkiksi traktorin peräkärryn päälle, jolloin sitä voidaan koekäyttää suoraan traktorin ulosoton akselilla. Jatkossa voimansiirto tulisi suunnitella hydrauliseksi, jolloin hakkurin sijoittaminen peräkärryyn ei olisi niin tarkkaa, tai jotta sitä voitaisiin käyttää esimerkiksi erillisellä kuorma-auton moottorilla.

1.2 Työn rajaus

Hakettimen kokonaisuudessaan opinnäytetyönä on suuri urakka, joten tässä työssä päädyttiin rajaamaan aihe hakettimen haketuspuoleen sekä hakkeen siirtoon tarkoitettuun puhaltimen suunnitteluun. Työstä rajattiin pois hakettimen rakentamisen vaiheet sekä mahdollisen CE-merkinnän vaatimat toimenpiteet. Työstä päädyttiin rajaamaan heti alkuvaiheessa myös voimansiirron vaatimien komponenttien suunnitteleminen sekä hitsauksen vaatimat laskennat.

1.3 Ariratex OY

Ariratex OY on pohjimmiltaan teollisuuden kunnossapitopalveluja toimittava yritys. Yrityksen hallitilat sijaitsevat osoitteessa Paavontie 9 Hammaslahti. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Ari Koistinen ja se työllistää kolme henkilöä. Yritys toimii Itä-Suomen huoltoedustajana Valon Kone Oy:lle. Yrityksen liikevaihto vuonna 2009 oli 707 000 € ja vuonna 2010 238 000 €.

1.4 Suunnitteluohjelmisto

Suunnitteluohjelmistona käytettiin amerikkalaisen Alibre Oy:n Alibre Design Expert -ohjelmistoa. Suomessa ko. ohjelmistoa tuo maahan Laservuori Oy. Alibre osoittautui käytössä päteväksi ohjelmistoksi suunniteltaessa yksittäisiä ja pieniä kokonaisuuksia; joskin hakkurin suunnitteleminen olisi vaatinut hieman enemmän ohjelmalta. Alibre on kuitenkin hinta-laatu-suhteeltaan hyvä ohjelmisto pienille ja miksei myös keskisuurille yrityksille. Hinnan sekä suositusten mukaan päädyttiinkin hankkimaan juuri ko. ohjelmisto Ariratexin käyttöön.

2 Tuotekehitys- ja suunnittelumenetelmät

Koneensuunnittelu- sekä koneenrakennusala ovat nyky-yhteiskunnassa elintärkeitä aloja. Elintasomme vaatii yhä hienompia ja parempia koneita, joitten avulla teemme mahdolliseksi nykyisen elintasomme. Tuotekehitysprojektit ovat usein monien vuosien pituisia mittavia projekteja, joitten aikana useat henkilöt tekevät tuotesuunnittelua sekä testausta. Kyseistä mittavaa projektia ei ole mahdollista toteuttaa pienen yrityksen varoilla, jolloin täytyy keksiä oikoteitä mahdollistaakseen koneensuunnittelun aloittamisen. Usein tämä tarkoittaa sitä, että tuotekehityksessä tehdään suoraan jonkinlainen versio. Yleensä versio toimii oletettua huonommin, jolloin aletaan suunnitella parannuksia siihen. Yrityksen kannalta paras vaihtoehto olisi saada ensimmäinenkin versio myytyä, jolloin tuotekehitykselle vapautuisi lisää rahaa.

Koneensuunnittelussa käytetään useasti joko intuitiivista tai systemaattista metodia. Systemaattinen metodi on monesti suunnittelutyöstä vastaavien mieleen sen herättämän luottamuksen ja sen ulosannin näyttävyyden takia. Intuitiivisen metodin on mielletty sisältävän epäkohtia, ja usein intuitiivisen suunnitteluprosessin tulos sisältyy jollakin tavalla myös systemaattisen suunnittelutavan tuloksissa. Systemaattinen menetelmä, varsinkin monien eri suunnittelijoiden osallistuessa samaan projektiin, on parempi menetelmä isoissa sekä paljon muuttumattomia tekijöitä sisältävissä suunnitteluprojekteissa. [1, s. 108-109.]

Systemaattisen koneensuunnittelu VDI2222 -metodin mukaan työ aloitetaan keräämällä tarkkoja perustietoja suunnittelun kohteesta. Perustiedoissa voidaan esimerkiksi kartoittaa markkinatilannetta. Perustietojen kokoamisessa yksi tärkeimmistä osista on kilpailijoiden tai jo markkinoilla olevien laitteiden rikkianalyysi. Rikkianalyysi tarkoittaa tuotteiden tarkkaa tutkimista löytääkseen niiden heikkoudet ja vahvuudet. Alkutietojen keräyksen jälkeen tulisi aloittaa luonnosteluvaihe. Luonnostelussa kerätään tietoja niin sanottuun vaatimusluetteloon. Vaatimusluettelossa tuotteen ominaisuudet tai rajoitukset kirjataan listaan. Listan jokainen kohta saa oman luokkansa: Kiinteä vaatimus, Vähimmäisvaatimus ja Toivomus. Vaatimusluettelo on systemaattisen suunnittelumetodin lähtökohhta, jonka tarkoituksena on rajata sekä määrittää lopputuote. Näin ollen vaatimusluettelon tulisi olla mahdollisimman kattava mutta samalla kahlitsematon. Vaatimusluettelo on kuitenkin ainoa dokumentti, joka määrittää lopputuotteen ominaisuudet. Vaatimusluettelon laadinnan jälkeen voidaan määrittää itse suunnitteluongelma. Suunnitteluongelman määrittämisessä ei tulisi olla liian tarkka vaan pyrkiä abstrahoimaan ongelman muotoilu. [1, s. 76-82.]

Suunnittelutyötä jatketaan jakamalla kokonaistoiminto osatoimintoihin. Tämä auttaa osatoimintojen ratkaisujen etsimistä sekä kirjaamista. Kirjaamisien jälkeen eri ratkaisut kootaan yhteen taulukkoon. Taulukosta valitaan eri kokonaistoiminnan vaihtoehtoja sekä arvioidaan lopputulokset. Seuraavaksi aletaan suunnitella eniten pisteitä saaneitten vaihtoehtojen toteutusta sekä arvioidaan näitten toteutusten taloudelliset sekä tekniset arvot arvostelukriteereitten ja painokertoimien avulla. Kyseisen arvioinnin voittanut vaihtoehto valitaan suunnittelun lopputuotteeksi ja siitä piirretään jo ensimmäiset luonnokset. [1, s. 83-95.]

Tässä työssä on käytetty sekä intuitiivisen- että systemaattisen menetelmän tapoja, koska hakettimen rakenteessa on osittain muuttumattomia tekijöitä ja näin ollen pelkkiä systemaattisen menetelmän tapoja olisi varsin hankala toteuttaa. Työssä on pyritty myös hiukan epäilemään muitten valmistajien tuotteiden toimivuutta teorian ja käytännön pohjalta. Tietoa on kerätty eri haketusyrittäjiltä

ja pyritty miettimään erilaisia ratkaisuja, joilla kilpailijatuotteiden heikkouksia on pyritty vähentämään.

3 Puun haketus

Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa Suomessakin uusiutuvien energiamuotojen käyttöä, joista hake on yksi voimakkaasti lisääntyvä muoto. Kuutiosta puuta saadaan noin 2,5 irtokuutiometriä haketta, jonka energiamäärä on noin 2 MWh [2, s. 5,52.]

Hakkeen käyttö on automatisoinniltaan sekä energialähteenä erinomaista silloin, kun käytetään hyvää hakkuria, jolloin hakkeen sekaan ei mene tikkuja ja ylimääräistä puupölyä. Nykyajan polttimet sekä siirtolaitteistot mahdollistavat yhtä mukavan lämmitysmuodon kuin öljypolttimien aikaan, joka mahdollistaa yhä useamman kotitalouden siirtymisen hakkeen käyttöön lämmittämisessä. Tämä yhdessä haketustekniikoiden sekä kuljetuslogistiikan kehittyessä mahdollistaa hakkeen lisääntyvän käytön kotitalouksissa.

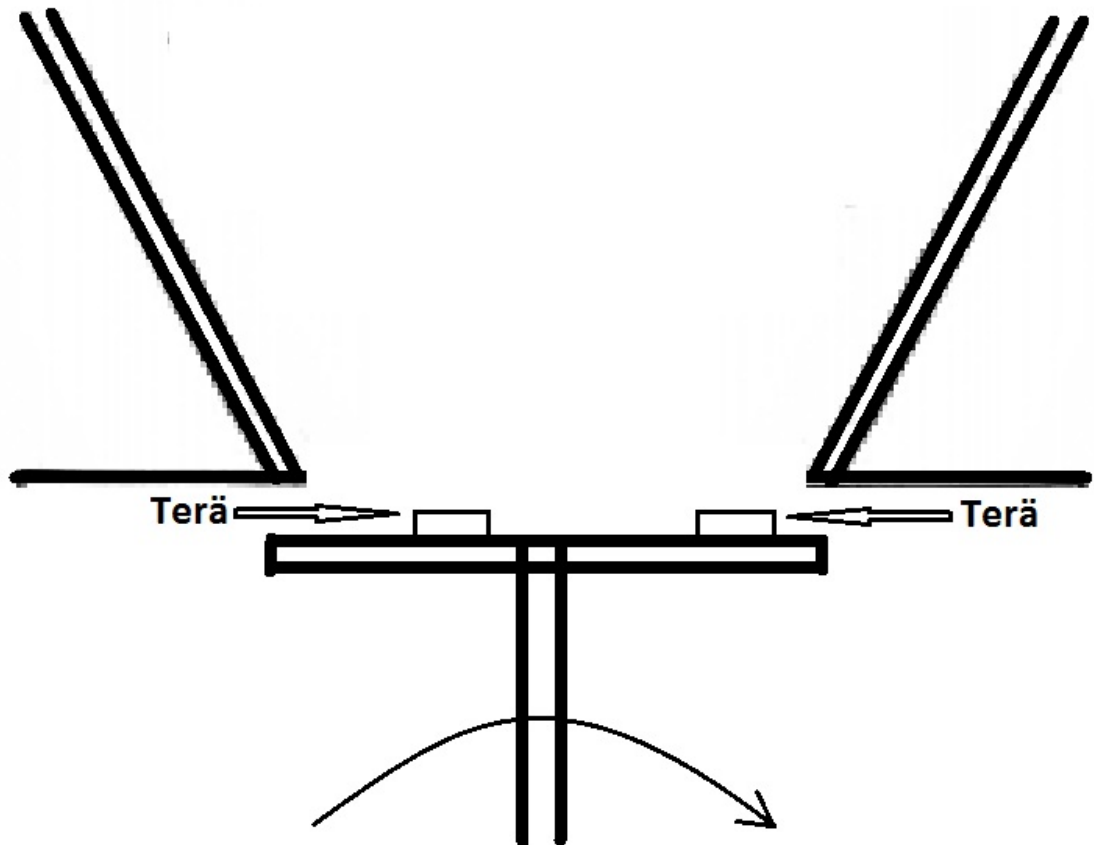
4 Hakettimien toimintaperiaatteet

Hakettimet voidaan jakaa yleisesti kolmeen eri luokkaan: Laikkahakkurit, rumpuhakkurit sekä ruuvihakkurit. Haketta tehdään myös murskaamalla, joka soveltuukin epäpuhtauksille paremmin kuin terällä tehtävä haketus, mutta ei sovellu ollenkaan kotitalouspolttimille. Murskaamista käytetään yleisesti vain niin sanotussa terminaalihakkuussa, jossa isot koneet on kiinteästi asennettu esimerkiksi paperitehtaitten tiloihin. Yleensä kaikki hakkurit ovat herkkiä koville epäpuhtauksille kuten kiville ja metalleille.

4.1 Laikkahakkuri

Laikkahakkureita käytetään yleisesti kotitalouksissa puutarhajätteen hakettamiseen mutta myös puuteollisuudessa laikkahakkuri on suuressa suosiossa. Laikkahakkurin etuna on taloudellisuus sekä hyvä hakkeen puhallusteho ja se so-

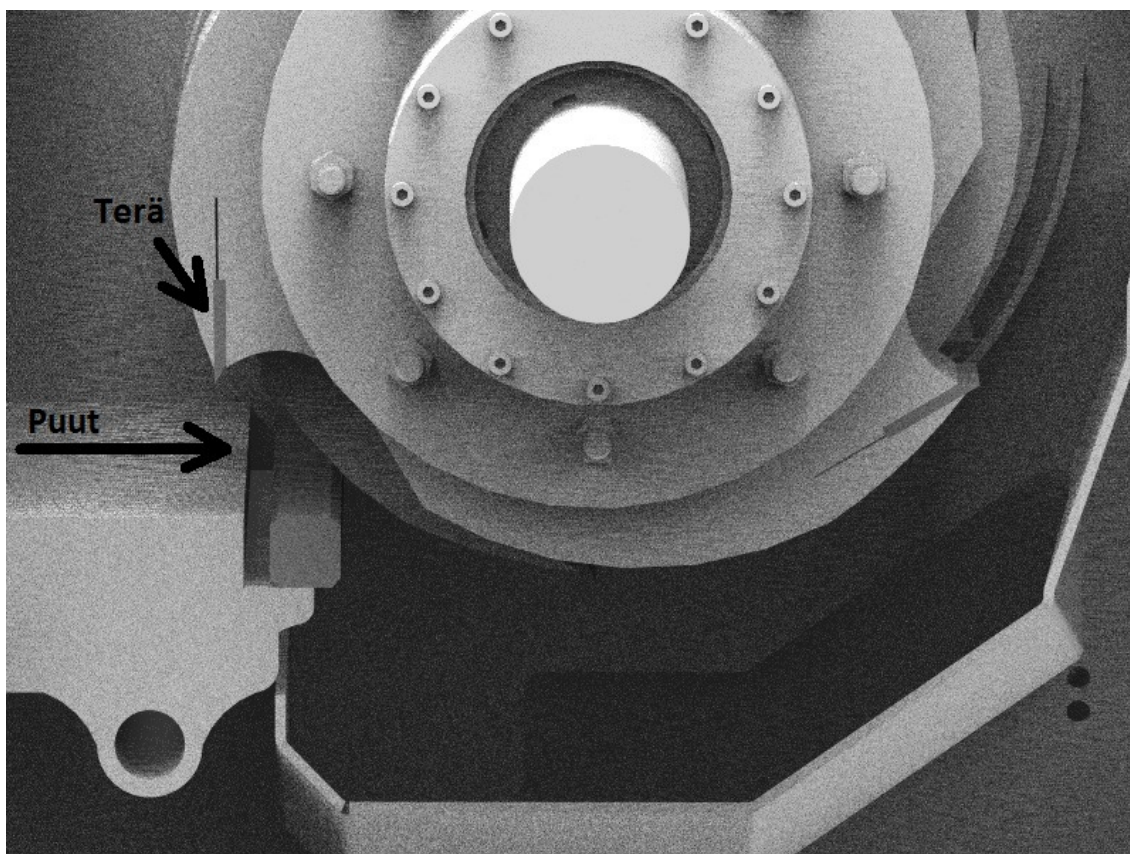
veltuu parhaiten koko- ja rankapuulle. Laikkahakkuri ei sovellu hakkuutähteiden hakettamiseen, koska tähteet sisältävät paljon pitkiä oksia, jotka tukkeuttavat laikkahakkurin. Laikkahakkuri koostuu nimensä mukaisesti pyörivästä laikasta sekä laikkaan kiinnitetyistä teristä (kuva 1).



Kuva 1. Laikkahakkurin toiminta

4.2 Rumpuhakkuri

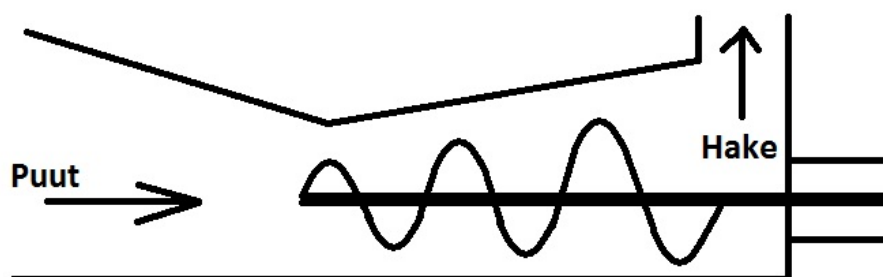
Rumpuhakkurit ovat hieman kalliimpia valmistaa kuin laikka- tai ruuvihakkurit, mutta se soveltuu myös hakkuutähteiden hakettamiseen. Rumpuhakkuria käytetään yleisesti juuri biopuun hakettamisessa, mikä johtuu hakkuutähteistä sekä hieman epäpuhtaammasta haketettavasta. Rumpuhakkuri rakentuu pyörivästä rummista, johon on kiinnitetty hakkuuterät (kuva 2). Rumpuhakkuri on arka metalleille sekä kiville.



Kuva 2. Rumpuhakkurin toiminta

4.3 Ruuvihakkuri

Ruuvihakkurit ovat hieman taloudellisempia kuin rumpuhakkurit, mutta terän vaihto on rakenteensa vuoksi hyvin vaikeaa (kuva 3). Ruuvihakkurilla voidaan hakettaa pelkästään rankapuuta sekä pintalautaa eikä hakkuutähteiden haketus ole mahdollista. Ruuvihakkuri vaatii hakkurityypeistä eniten vääntömomenttia.



Kuva 3. Ruuvihakkurin toiminta

5 Tuotekehityksen vaiheet

Hakkurin tuotekehityksessä on lähdetty miettimään hakkurin eri toimintoja sekä vaatimusluettelo (liite 1), jossa asetettiin rajat hakkurin toiminnalle sekä sen koolle. Suunnittelussa on kuitenkin käytetty enemmän intuitiivista metodologia kuin systemaattista, mikä johtuu hakkurin rakenteesta, joka on yhteneväinen kaikkien kilpailijoiden kanssa. Hakkurin syöttöpöytä, rumpu sekä puhallin ovat vanhan idean mukaisia, mutta hakkuurummun muodon sekä toiminnan toivottiin olevan umpinainen, jolloin pienet oksat ja vastaavat eivät pääsisi tukkeuttamaan rumpua. Puhaltimen vähimmäisvaatimuksena oli n. 30 metrin puhallusteho, jolloin hake saataisiin hakkurilta varmasti kuljetettua säiliöön. Maksimipuunhalkaisija tulisi olemaan 300 mm ja haketinrummun leveyden tulisi olla vähintään 450 mm.

Hakkuri koneena kuuluu konedirektiivin alaiseksi koneeksi, jonka myyminen sekä valmistaminen vaatii CE-merkinnän aiheuttamat toimenpiteet kuten riskianalysin. Kaikki liikkuvat osat on suojattava riittävällä suojauksella mahdollisen vaurioitilanteen varalle. Hakkurin terien mahdollinen irtilähteminen on huomioitava tekemällä hakkurinrungosta umpinainen, jolloin terän sinkoutuminen huippunopeudesta ei aiheuta vaaraa koneenkäyttäjille. Kaikki avattavat luukut on varustettava kytkimillä, joiden avautuminen aiheuttaa hakkurin pysähtymisen tai varustettava turvalaitteella, joka estää luukkujen avaamisen hakkurin pyöriessä. Hakkurin syöttöpöydän avonaisuuden takia on pääsy hihnalle estettävä järkevällä tavalla, joko sijoittamalla hihna riittävän korkealle tai varustettava hihnan ympäristö aidalla. Kuitenkin riskit on arvioitava kohtuudella väärinkäytön varalta. Hakkurin pyörimisen estäminen tulisi toteuttaa myös niin, että koneen käyttäjän tulisi olla käyttävän koneen kopissa ovi kiinni ennen kuin hakkurin käyttö olisi mahdollista. [4.]

Hakettimen toimintaperiaatteeksi ei ole tällaisessa tapauksessa muuta vaihtoehtoa kuin rumpuhakkuri. Rumpuhakkurin kyky hakettaa sekä rankapuuta että oksia tekee siitä ainoan vaihtoehdon siirrettäväksi hakkuriksi. Hakettimen rummun suunnittelussa on lähdetty miettimään, miten hakettamiseen tarvittavaa voimaa voitaisiin pienentää jollakin ratkaisulla. Intuitiivisen tuotekehityksen tuloksena ja erilaisia höylänteriä sekä kilpailijoiden ratkaisuja tarkastelemalla päädyttiin tekemään rumpu viidestä erillisestä osasta, jolloin terät saadaan leik-

kaaviksi eri aikaan, kuitenkin vaarantamatta rummun kestävyyttä tai sitä, että lyhyet puun rungon kappaleet pysäyttäisivät rummun pyörimisen.

6 Hakettimen komponenttien tarkastelu

Hakettimen rakenteessa olennaisinta on hakettimen rummun sekä puhaltimen vaatimat voimat, jotka toimivat myös mitoituksen lähtökohtana akselille, laakereille sekä pyörittävälle moottorille. Mitoituksessa on lähdetty miettimään aina pahimmasta mahdollisesta tilanteesta, jolloin voidaan uskoa, että komponentit kestävät. Hakettimen rungon on kuitenkin kestävä hakurin akseleiden aiheuttamat värinät sekä hakettamisesta aiheutuvat voimat. Työssä ei ole paneuduttu rungon lujuuslaskentaan, mutta sitä suunnitellessa on mietitty myös rungon kestävyyttä. Rungon toimivuuden kannalta olisi hyvä, jos sen saisi tutkittua esimerkiksi PRO/M-ohjelmistolla, jolloin siitä voitaisiin tarkastella esimerkiksi ominaistuuksivärähtelyä.

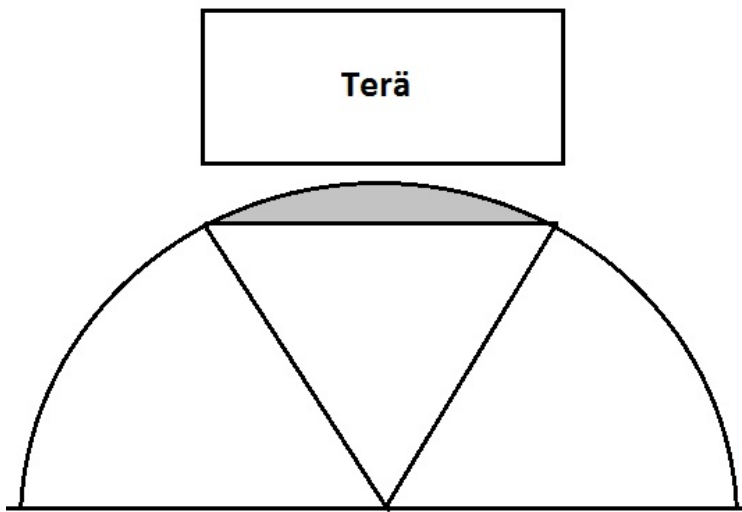
6.1 Hakettimen rummun vaatima vääntömomentti

Hakettimen rumpu koostuu viidestä eri palasta, joissa jokaisessa on kolme teräpalaa. Tähän teräratkaisuun on päädytty tutkimalla kilpailijoiden sekä puuhöyläämön teräratkaisuja. Yhtäaikaisesti haketta muodostaa maksimissaan kolme terää. Puun poikkileikkaus mahdollistaa sen, että terät ovat kohtisuorassa verrattuna hakettimen rummun akseliin, mikä esimerkiksi teräksen leikkauksessa olisi täysin mahdotonta. Mitoituksessa hakettavan puun halkaisija on korkeintaan 300 mm.

Pahin tilanne terälle on, kun 300 mm halkaisijaltaan oleva puu haketetaan niin, että terä leikkaa puuta puun keskeltä. Tällöin terän alle jäävä pinta-ala on suurimmillaan. Muitten terien mahdollista leikkausta ei tässä oteta huomioon. Voiman (F) tarve saadaan kaavasta 1, jossa A on terän leikkaava pinta-ala ja τ_B on materiaalin leikkausmurtolujuus. Leikkausmurtolujuutena käytetään koivun arvoa 12.5 Mpa. [5, s.38.]

$$F = \tau_B * A \quad (1)$$

Pinta-alaksi muodostuu terän alle jäävän puuta kuvaavan ympyrän sektorin pinta-alan ja sektorin sisään jäävän kolmion pinta-alan erotus. Kaavassa kaksi lasketaan sektorin kulma. Kaavassa kolme lasketaan sektorin pinta-ala ($A_{sektori}$), josta vähennetään kolmion pinta-ala (A_{kolmio}), josta saadaan erotuksena terän alle jäävä pinta-ala. Rummun vaatima vääntömometti M_1 saadaan laskeamalla se kaavasta kuusi, jossa R tarkoittaa rummun sädettä.



Kuva 4. Terän sijainti suhteessa puuhun

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{49\text{mm}}{150\text{mm}} > \alpha \sim 38,1^\circ \quad (2)$$

$$b = \frac{\pi d}{360^\circ} * \alpha = 99,75\text{mm} \quad A_{sektori} = \frac{br}{2} = \frac{99,75\text{mm} * 150\text{mm}}{2} = 7480,92\text{mm}^2 \quad (3)$$

$$h = \frac{49\text{mm}}{\tan(19,1)} = 141,5\text{mm} \quad A_{kolmio} = r * h = 49\text{mm} * 141,5\text{mm} = 6933,5\text{mm}^2 \quad (4)$$

$$F = \tau_B * A = 12,5\text{Mpa} * (7480,92 - 6933,5)\text{mm}^2 = 6842,75\text{N} \quad (5)$$

$$M_1 = F * R_{rumpu} = 6842,75\text{N} * 0,25\text{M} = 1710,7\text{Nm} \quad (6)$$

6.2 Hakettimen puhaltimen vaatima vääntömomentti

Hakettimen puhaltimen mitoituslähtökohtana pidetään hakettimen tuottoa tunnissa. Vähimmäisvaatimuksena pidetään $150 \frac{m^3}{h}$. Hakkeen kuutiopainoksi arvioidaan $320 \frac{kg}{m^3}$, joka kuitenkin vaihtelee eri kosteusasteen sekä eri puulajien välillä hieman. Laskennallinen tehontarve saadaan, kun lasketaan tarvittava energia kahden hake kilon heittämiseksi puhaltimen siiven keskimääräiseen ratanopeuteen.

Puhaltimen halkaisija on noin 1000 mm ja siipi on leveydeltään 200 mm, jolloin siipien keskimääräinen ratanopeus on:

$$\frac{1000mm + 800mm}{2} = 900mm = 0,9m \quad (7)$$

$V = 2\pi r * n$, $V = nopeus, r = puhaltimen säde, n = kierrosnopeus$

$$V = 2\pi * 0,45m * \left(\frac{600 \frac{kier}{min}}{60} \right) \sim 28 \frac{m}{s} \quad (8)$$

Pystysuoran heittoliikkeen kaavasta soveltamalla saadaan teoreettinen maksimikorkeus (h) jonne hake lentää lähtönopeudella (v_0):

$$h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{(28 \frac{m}{s})^2}{(2g)} \sim 40m \quad (9)$$

Yrityksen puolelta tullut toive on, että haketta voitaisiin liikuttaa putkessa n. 4 m pystysuoraan ja 15 m vaakasuoraan. Se voisi onnistua metrin kokoisella puhaltimella ottamatta huomioon puhaltimen ilmavirran aiheuttamaa lisävauhtia tai ilman aiheuttamaa vastusta hakkeelle.

Puhaltimen vaatima vääntömomentti (M_2) voidaan arvioida jakamalla työhön vaadittu energia (w) yhden kierroksen viemällä ajalla (t):

$$P = \frac{w}{t} = \frac{\frac{1}{2} * m * v^2}{t * \eta_{mek}} = \frac{\frac{1}{2} * 0,042 m^3 * 320 \frac{kg}{m^3} * (28 \frac{m}{s})^2}{\frac{60s}{600 \frac{kier}{min}} * 0,9} \sim 58500W \sim 60kW \quad (10)$$

$$M_2 = \frac{9550 * P}{n} = \frac{9550 * 60}{600} = 955Nm \quad (11)$$

η_{mek} on tarkoittaa mekaanista hyötysuhdetta ja sen on arvioitu olevan noin 0,9:n luokkaa.

6.3 Hakettimen pääakselin halkaisija ja lujuus

Akselia kuormittavat elimet ovat haketinrumpu ja puhallin, joiden yhteenlaskettu vääntömomentti kuormittaa akselia. Hakettimen perusluonteen vuoksi vääntömomentti on hyvin sysäyksittäinen, jolloin varmuuskertoimen on oltava riittävä kestääkseen kyseisen dynaamisen kuorman. Rumpu sekä puhallin kiinnittyvät akselille SKS:n toimittamalla akseli-napa-holkilla. Kuitenkin perinteisiä kiilaratkaisuja on tarkasteltu laskupohjalta. Akselin materiaalina käytetään C45E-nuorrutusterästä jonka myötöraja on 370 Mpa. Leikkausmyötörajana (τ_s) käytetään kirjallisuudessa käytettyä 60 % myöntörajasta. Varmuuskertoimeksi (η) esivalittiin kaksi.

Akselia rasittavat vääntömomentit (M_1, M_2):

$$M_1 + M_2 = 1710Nm + 955Nm = 2665Nm \quad (12)$$

$$\tau_s = 0,6 * 370Mpa \sim 222Mpa, \quad (13)$$

$$\eta = \frac{\tau_s}{\tau_{max}} > 2 \rightarrow \tau_{max} < 111Mpa \quad (14)$$

$$\tau_{max} = \frac{\tau}{W_u} = \frac{2665 * 10^3 Nmm}{\frac{\pi}{32} * d^3} = 111Mpa \rightarrow d_{min} \sim 50mm \quad (15)$$

Akselin minimihalkaisijaksi kyseisellä vääntömomentilla tulisi noin 50 mm, mutta hakkurin luonteen vuoksi akselin halkaisija haluttiin kaksinkertaistaa. Kuitenkin

oikeiden rasiutusten sekä väsymismurtumisen takia akselin halkaisija saattaa olla riittämätön pitemmässä käytössä. Hakkurin toimintaa on etukäteen mahdotonta arvioida, kun jokainen käyttäjä ja hakkuupaikka ovat erilaisia. Näin ollen akselia rasittaa erisuuruiset voimat.

Akselin laakeriksi valittiin SKF:n 22220 EK, joka on pallomainen rullalaakeri kartioholkki-kiinnityksellä. Laakerirasitukset hakkurissa ovat enemmänkin tärinän muodossa kuin suoria voimia, joten niiden laskeminen sekä ennustaminen on käytännössä mahdotonta hakkurin vaihtelevan kuormituksen vuoksi. Kuvassa 5 on käytetty SKF:n laakeri-ian laskuria arvioimaan laakerin ikää, joskin se on täysin staattisen tilanteen mukaan laskettu. Laakerilaskuihin pitää suhtautua kriittisesti ja vasta prototyypin valmistuessa laakereitten todellinen ikä voidaan arvioida paremmin.

Bearing life

Every care has been taken to ensure the accuracy of this calculation but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the calculation.
See section "SKF rating life"

Bearing	22220 EK	
Select η_c	0	
d [mm]	100	
D [mm]	180	
C [kN]	425	
P_u [kN]	49	
P [kN]	6.88	
n [r/min]	600	
v [mm ² /s]	375	
	<input type="button" value="Calculate"/>	

κ	24.8	L_{10}	931800	L_{10h}	> 1000000
v_1	15.1				
a_{SKF}	0.1	L_{10m}	93200	L_{10mh}	> 1000000
Old a_{23} method for comparison					
a_{23}	2.5	L_{10a}	> 1000000	L_{10ah}	> 1000000

Kuva 5 Laakeri-ian laskuri

Kuvassa viisi näkyvät d, D, C, P_u ovat laakerivalmistajan antamia laakerikohtaisia vakioarvoja. P, n, v ovat käyttäjän antamia arvoja. P muodostuu laakeriin kohdistuvista aksiaali- ja radiaalivoimista. n on akselin pyörimisnopeus. v on laakerin voiteluaineesta riippuva viskositeettiarvo.

6.4 Haketinrummun sekä puhaltimen liittämisen pääakselille

Akselin materiaalia C45E ei suositella hitsattavaksi ollenkaan. [7, s.1.] Tästä johtuen haketinrummun ja puhaltimen liitostavaksi päädyttiin valitsemaan SKS-Mechanican maahantuoman BONFIX-sarjan Akseli-napa-liitosholkit.

6.4.1 Akseli-napa-holkit

Holkkien etuna on erinomainen keskittävyys sekä momentinsiirtokyky. Holkit voidaan myös asentaa ja irrottaa monta kertaa uudestaan. Rummun holkeiksi valikoitui Bonfix 4600 145x100x56, jonka momentinsiirtokyky on 10200 Nm ja se on varustettu ylimääräisellä aksiaali siirtymien varmistusrenkaalla. Puhaltimen holkeiksi valikoitui Bonfix 4000 120x80x70, jonka momentinsiirto kyky on 8500 Nm. Holkkien huonona puolena voidaan pitää holkin vaatimaa toleranssialuetta H8/h8. Toleranssialue määrittää maksimimomentinsiirtokyvyn, mutta koska tässä tapauksessa holkkien siirtokyky ylittää reilusti tarvittavan, niin päädyttiin valmistamaan osat toleranssialueella H11/h11, jolloin akselin sorvaaminen onnistuu myös yrityksen omalla sorvilla. Toleranssialueen isontaminen aiheuttaa momentinsiirtokyvyn heikkenemistä. Tässä tapauksessa yksikin holkki riittäisi siirtämään tarvittavan momentin, jolloin toleranssia voidaan isontaa turvallisesti.

6.4.2 Kiilaliitos

Kiilaliitoksia on muotosulkeisia sekä kitkasulkeisia. Muotosulkeiset kiilaliitokset on huomattavasti yleisempiä kuin kitkasulkeiset, mikä johtuu sen helpommasta valmistuksesta ja asennuksesta. [9, s. 93.]

Hakkurin akselia rasittaa sysäyksittäinen yhdensuuntainen vääntömomentti, jolloin itse napa-akseliliitoksen tulisi olla puristussovite, joka ehkäisisi kitkakulumista, mikä aiheutuu akselin ja navan liikkeistä toisiaan vastaan tasakiilaliitok-

sessä. Tästä syystä liitostyyppiksi valikoitui mieluummin akseli-napa holkkiliitos, jonka eliminoi kyseisen ongelman. [9, s.98.]

$$p_0 = 150MPa$$

$$p_{sall} = 0,45 * p_0 = 67,5MPa \quad (16)$$

Lähteen /8 s.96/ mukaan 100 mm akselille kiilan leveys ja korkeus sekä akselin uran syvyys ovat:

$$\text{Leveys } b = 28mm$$

$$\text{Korkeus } h = 16mm$$

$$\text{Akselin uran syvyys } t_1 = 10mm$$

Kaava 10 ilmoittaa vääntömomentin siirtokyvyn pintapaineen mukaan.

$$T_n = \frac{p_n * l * t_2 * (d + t_2)}{2} \quad (17)$$

T_n = vääntömomentin siirtokyky akselilla,

p_n = navan pintapaine $< p_{sall}$, l = kiilan tehollinen pituus,

d = akselin halkaisija,

t_2 = navan uran syvyys

$$l = \frac{T_n * 2}{p_n * t_2 * (d + t_2)} = \frac{2 * 2665 * 10^3 Nmm}{67,5MPa * 10mm * (100 + 10)mm} = 71,78 \dots mm \sim 72mm$$

Kiilan pituuden $l_{min} = l + b$ (kiilatyypin A) = $72mm + 28mm = 110mm$, kiilan pituuden suositus on $0,7 * d < l < 2,5 * d$, jolloin kiilapituus pysyy suositusten rajoissa.

Hakkurirummun rakenne kuitenkin estää yli 100 mm kiilojen käytön, joka yhdessä aiemmin esitettyyn akselin ja navan välisten liikkumisten kanssa sulkee kiilaliitoksen käytön pois laskuista. Näin ollen kiilaliitoksen laskeminen akselille on turhaa.

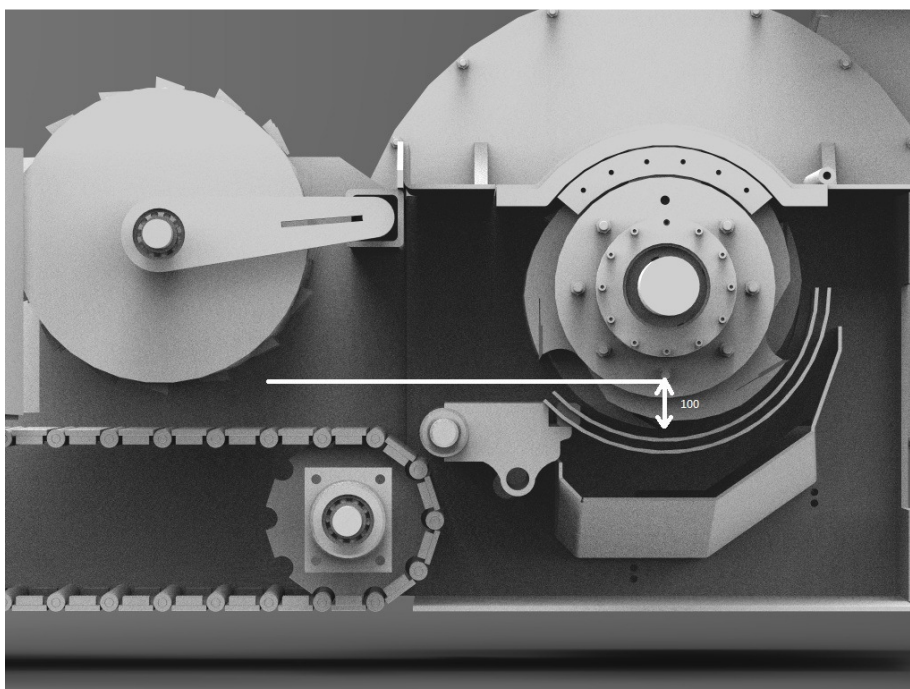
7 Tulokset

7.1 Runkorakenne

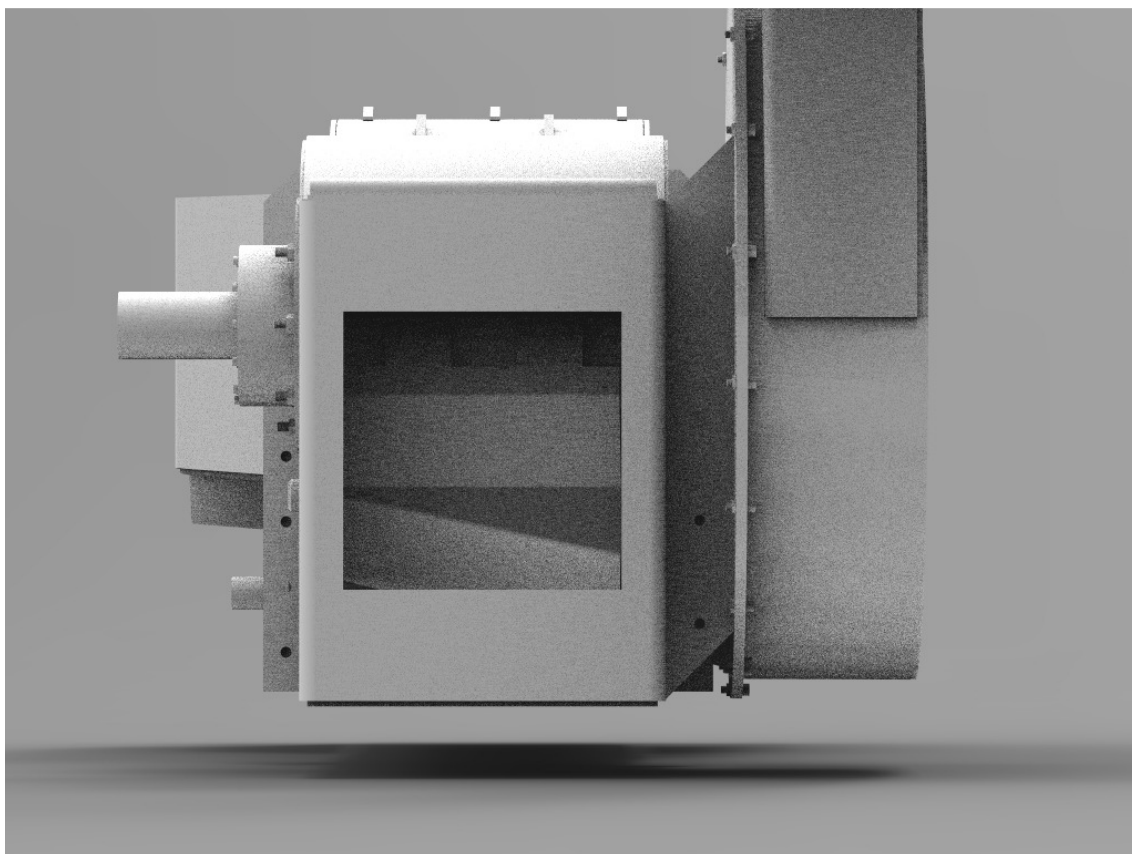
Runkorakenteen suunnittelussa on lähdetty siitä vaatimuksesta, että hakkurin on pystyttävä hakettamaan maksimissaan 300 mm halkaisijaltaan olevaa puuta. Hakkurinrummun halkaisijan ollessa 500 mm puun on sijoitettava keskelle hakkurinrummun akselia. Näin ollen syöttöpöydän telan yläpinnan on oltava 100 mm korkeammalla kuin hakkurinrummun alapinta. Kuvassa 6 on esitetty valkoisella viivalla telan sekä vastaterän yläpinnan oikea sijainti.

Rungon korkeutta määrittää myös rummun alapuolelle tuleva kouru, joka auttaa siirtämään haketta puhaltimelle painovoiman avulla. Puhaltimen kotelon alapinta on samalla tasalla kuin hakettimen runko, jolloin hakettimen kiinnittäminen alapinnastaan tasaiselle alustalle on mahdollista (kuva 7).

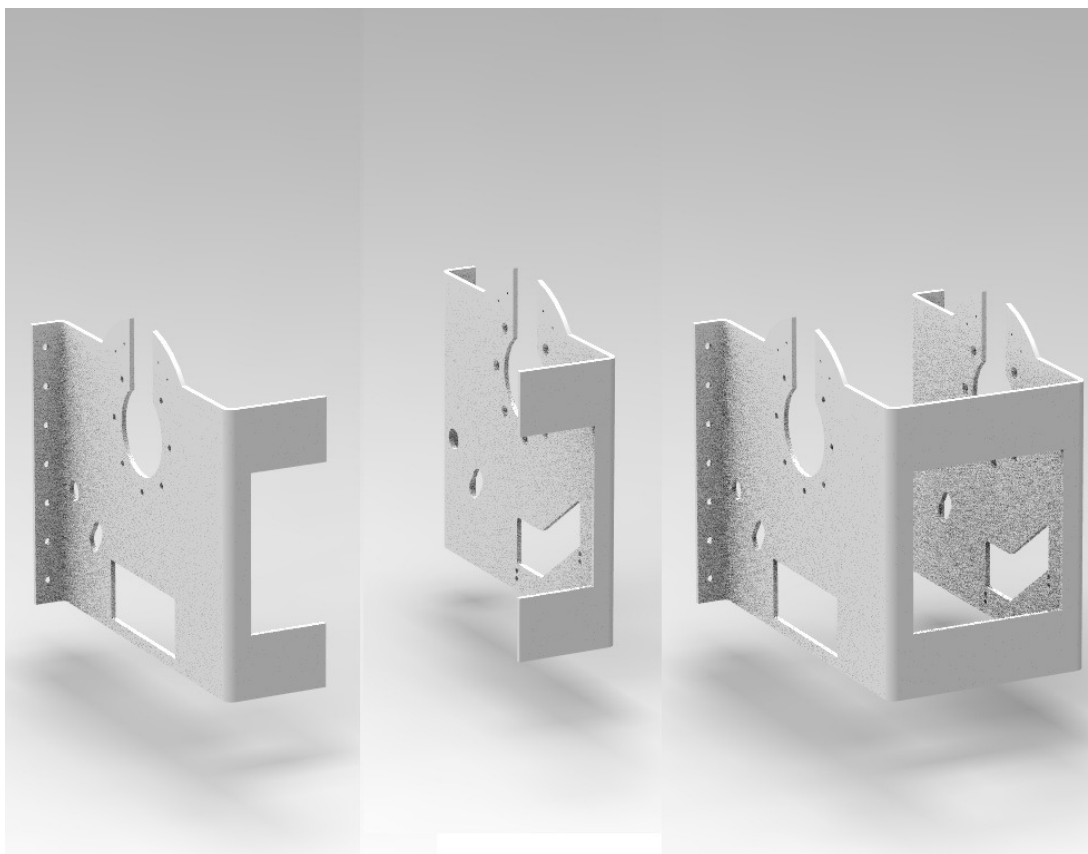
Itse hakkurin runko koostuu kahdesta levystä, jotka ovat puhaltimen puoleisen levyn lävistystä lukuun ottamatta peilikuvia (kuva 8). Runkolevyt ovat tarkoitettu tehtäväksi yhdestä levystä kanttaamalla reunat 90 asteen kulmaan kanttikoneella. Runkoon tulee lisätä vielä tukia esimerkiksi 100 mm neliöpalkista jos käytännössä nähdään tarvittavaksi.



Kuva 6 Telan ja vastaterän oikea sijainti



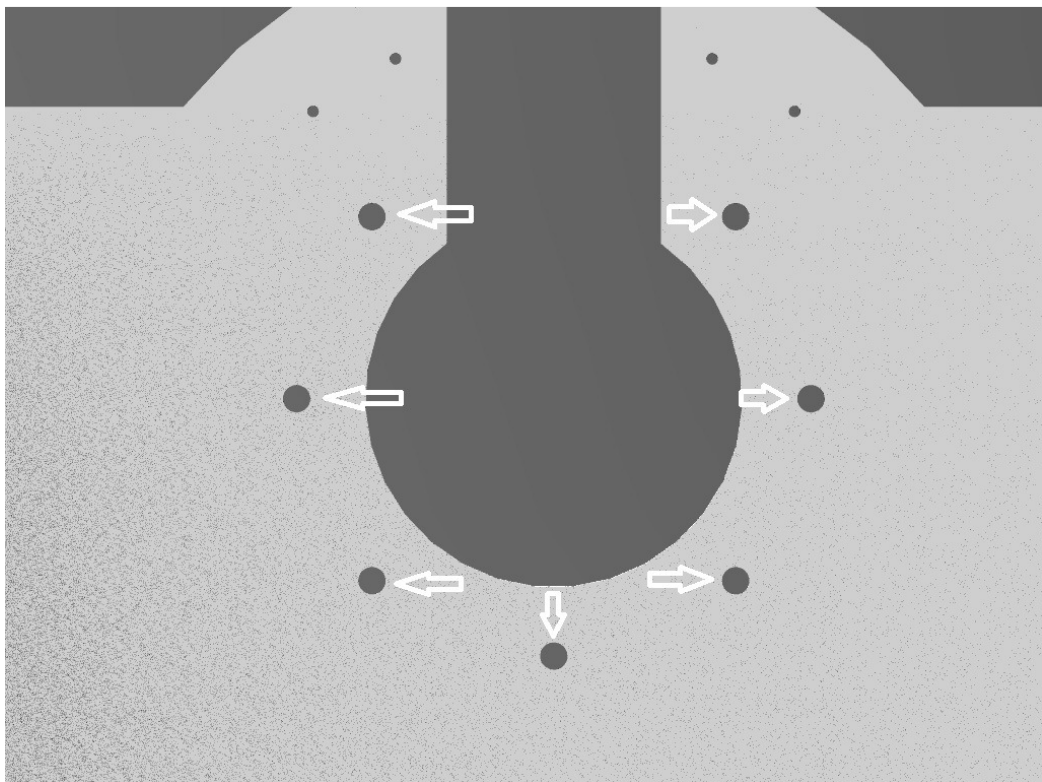
Kuva 7. Hakkurin alapinta



Kuva 8. Runkolevyt

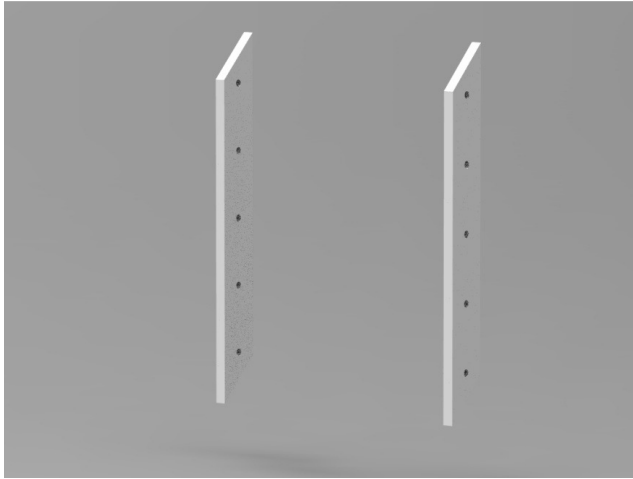
Kuvassa 8 olevat runkolevyt hitsataan päittäin kiinni levyjen etuosasta. Syöttöpöytä tulee kiinni kuvassa 8 taka-alalla olevien ruuvireikien läpi M12-ruuveilla.

Kuvassa 9 näkyvän laakeripesien kiinnityspisteitten välisen aukon on ajateltu helpottavan hakkurin kokoonpanoa. Se helpottaa myös huoltoa mahdollistaen akselin nostamisen rungosta kokonaisena pois. Kyseinen aukko täytetään sopivalla levynpalalla ja kiinnitetään sekä laakeripesään että runkoon erillisten kiinnittimien avulla.

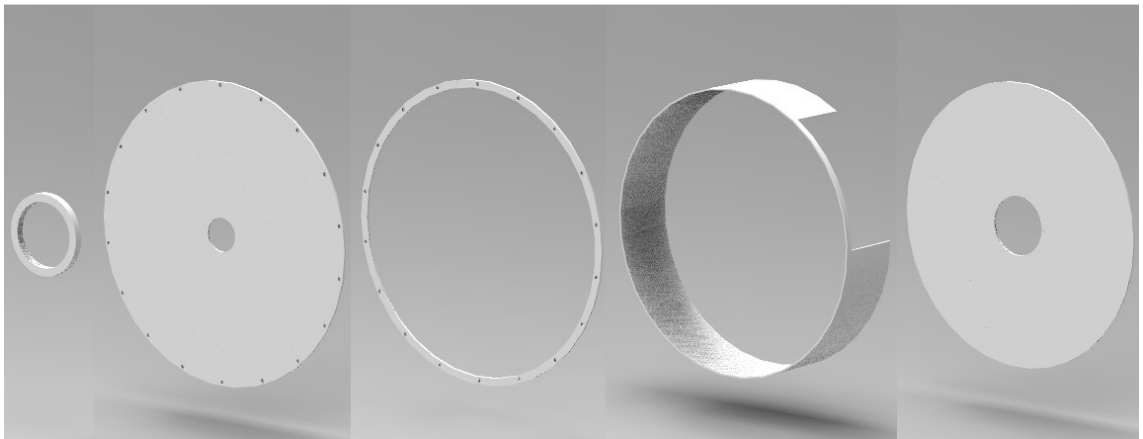


Kuva 9. Laakeripesien kiinnityspisteet

Haketinrummun runkoon tulee kiinni puhaltimenkotelo, joka kiinnitetään hitsaamalla kiinnikkeet (kuva 10) kiinni kumpaankin. Kiinnikkeet ovat samanlaisia ja niitä on yhteensä neljä kappaletta. Puhaltimenkotelo koostuu yhteensä viidestä kappaleesta (kuva 11).

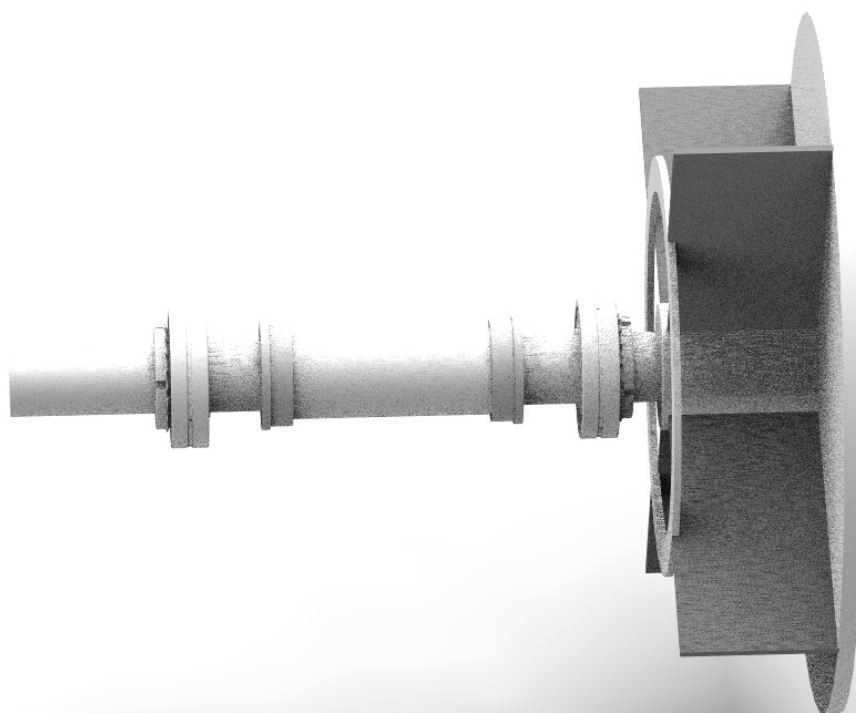


Kuva 10. Runkojen kiinnitys levyt



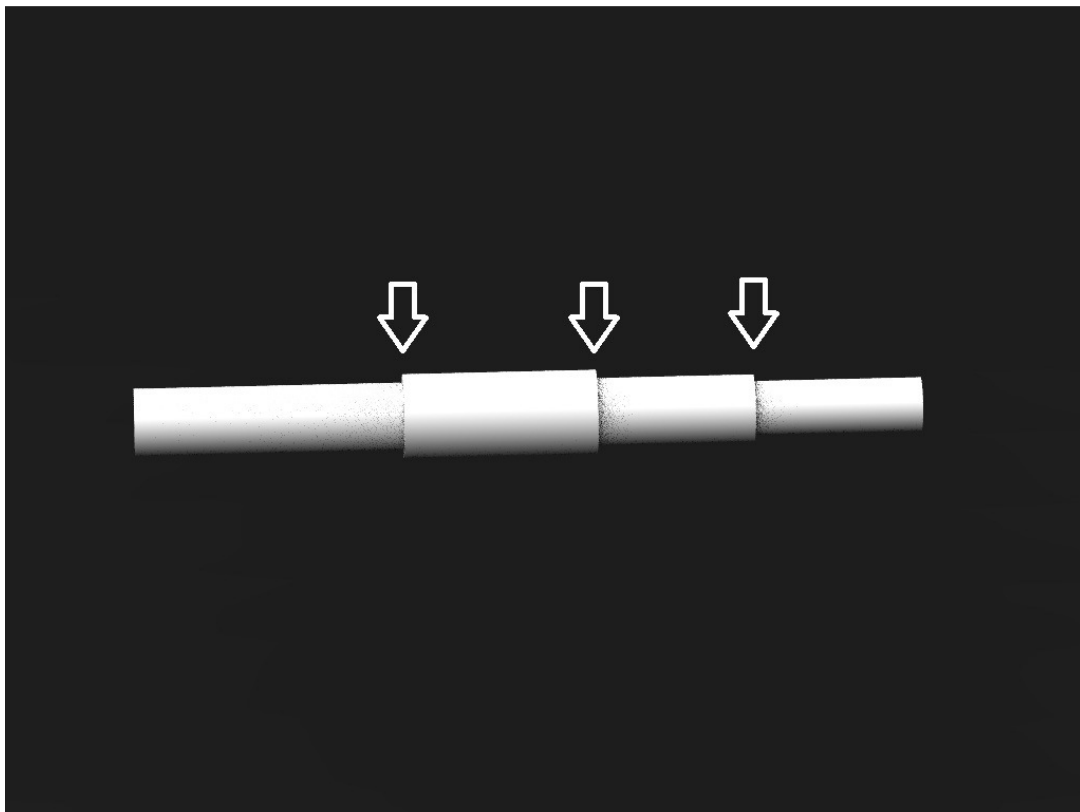
Kuva 11. Puhallinkotelo

Kuvassa 12 näkyy akselin rakenne sekä laakereiden välissä myös Bonfix-holkkien sijainti akselilla. Akselin rakenteeseen pitäisi kuitenkin kiinnittää enemmän huomiota sen väsymismurtumisen estämiseksi. Akseliin ei saisi jäädä teräviä kulmia, vaan ne pitäisi pyöristää riittäväällä pyöristyksellä.



Kuva 12. Pyörivät osat

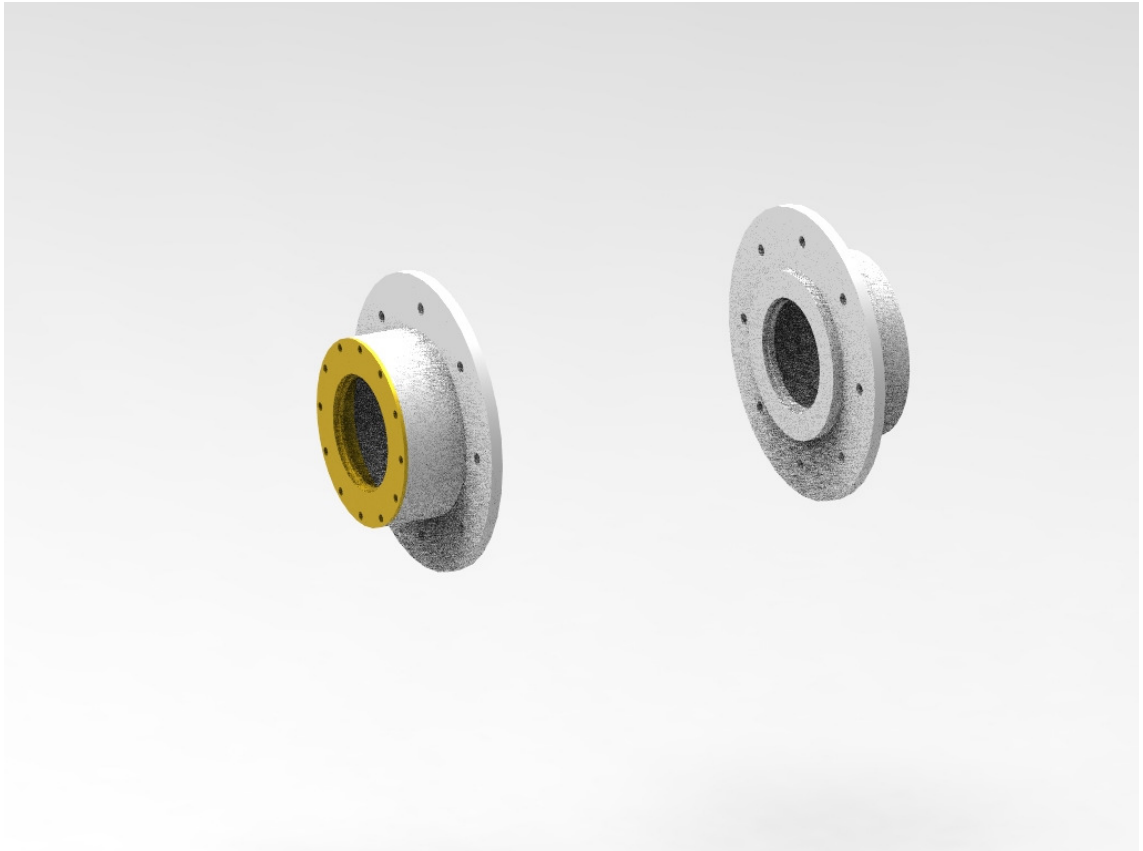
Kuvassa 13 on merkattu akselin heikot kohdat jotka täytyy pyöristää tai muulla tavoin parantaa akselin rakennetta jolloin jännityshuippujen esiintyminen vähenisi. Kestävyyden kannalta akseli kannattaisi suunnitella täysin suoraksi, joka helpottaisi myös valmistusta.



Kuva 13. Pääakseli

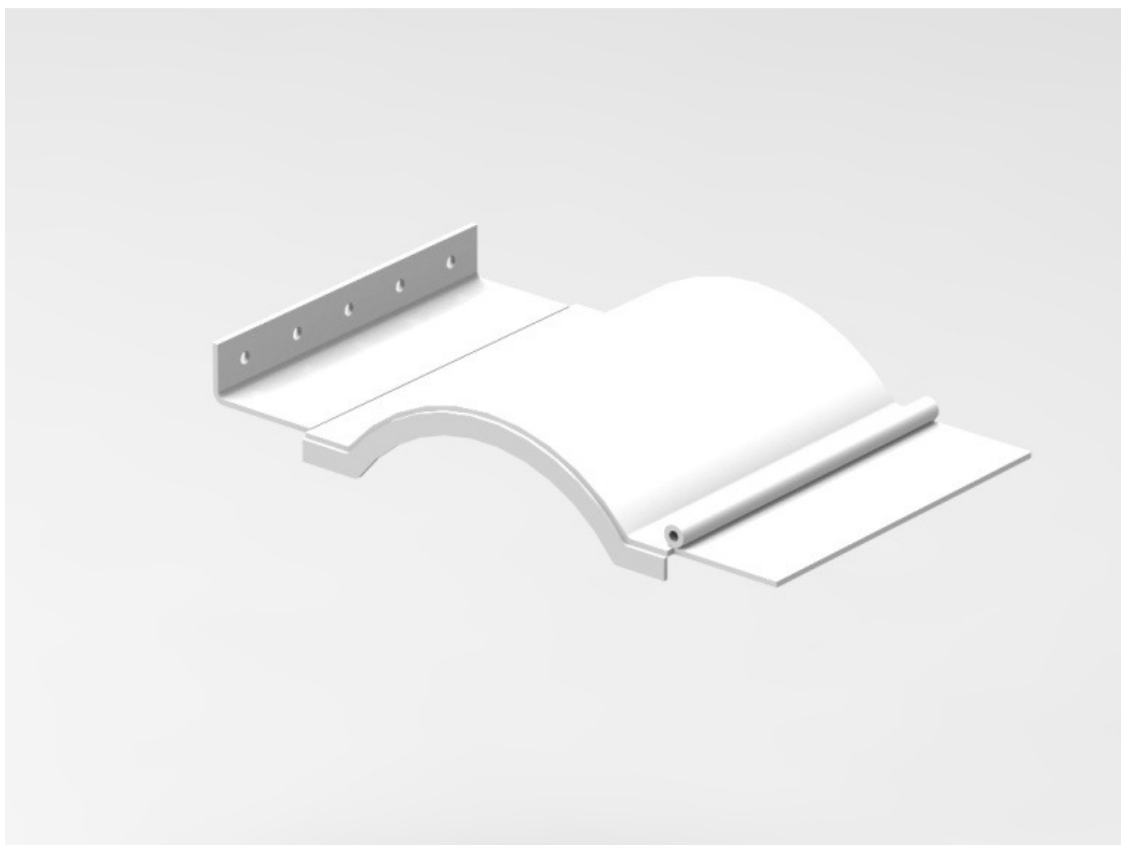
Laakerit kiinnittyvät laakeripesiin niiden kansien avulla, jotka samalla puristavat laakerit kiinni. Puhaltimen puoleisen laakeripesän kansi on kuitenkin sovitettava niin, että laakeri pääsee tarvittaessa liikkumaan pesässä. Yleensä akseli laakeroidaan kuitenkin niin, että vähintään toisen laakerin pitäisi päästää akseli liikkumaan pituussuunnassa. Tässä on haluttu kuitenkin käyttää samanlaisia laakereita kummallakin puolella, jolloin laakeri kiristetään akseliin kartioholkillä ja päästetään se liikkumaan laakeripesässä. Samanlaista konstruktiota on käytetty osassa puuteollisuuden sahalaitteita, joissa käytetään samanlaista laakeria [10].

Kuvassa 14 on merkattu eri värillä laakeripesän kansi, joka puristaa laakerin kiinni.

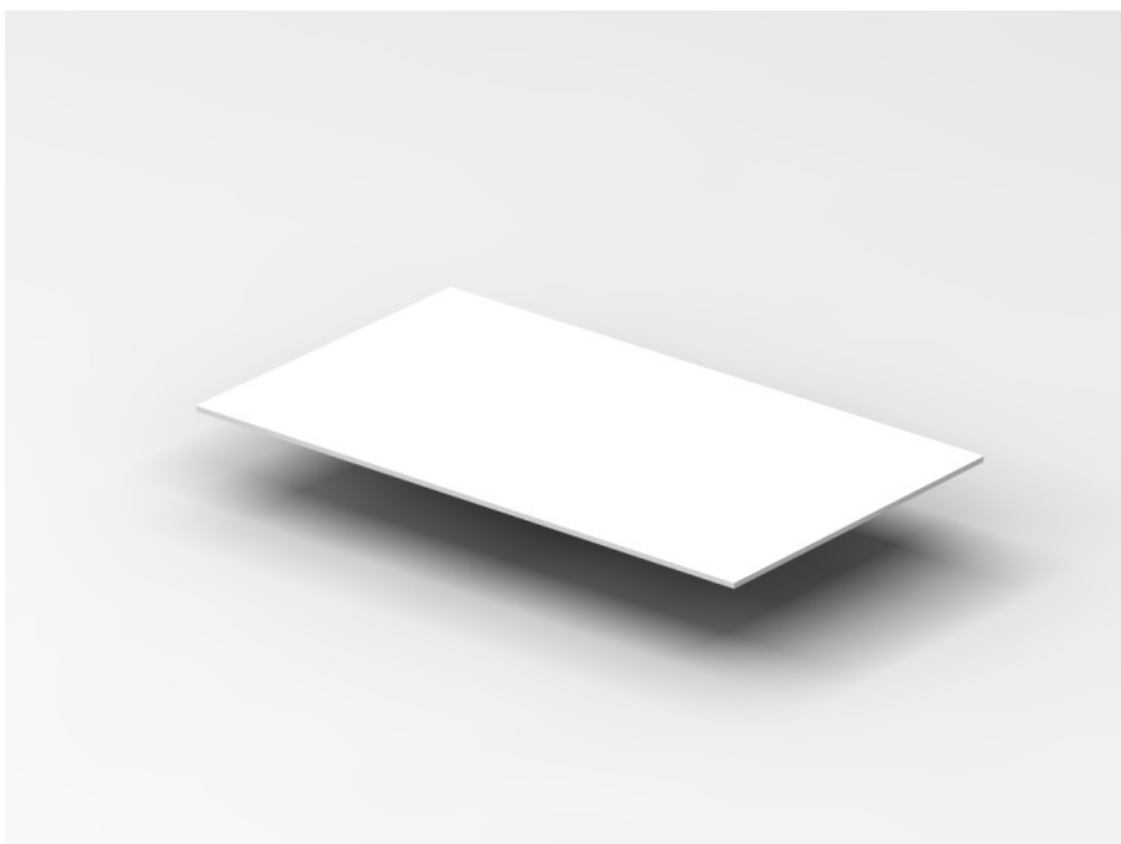


Kuva 14. Laakeripesät

Lisäksi runkoon tulee joitakin pisteosia kuten kansi (kuva 15), pohja (kuva 16) sekä puhaltimenputken lähtö (kuva 17). Puhaltimen putkeksi on suunniteltu laitettavaksi teollisuusputkea. Putken hyvä puoli on siinä, että sen voi suunnata käytännössä minne suuntaan tahansa. Huonona puolena voidaan pitää putken sisäpinnan suurta kitkaa, joka hidastaa hakkeen kulkua huomattavasti. Paras tulos hakkeen lentämiselle saataisiin valmistamalla perinteinen heittotorvi teräksestä tai mieluummin ruostumattomasta teräksestä. Ruostumattoman teräksen kitka on pienempi kuin normaaliteräksen.



Kuva 15. Hakkurirungon kansi



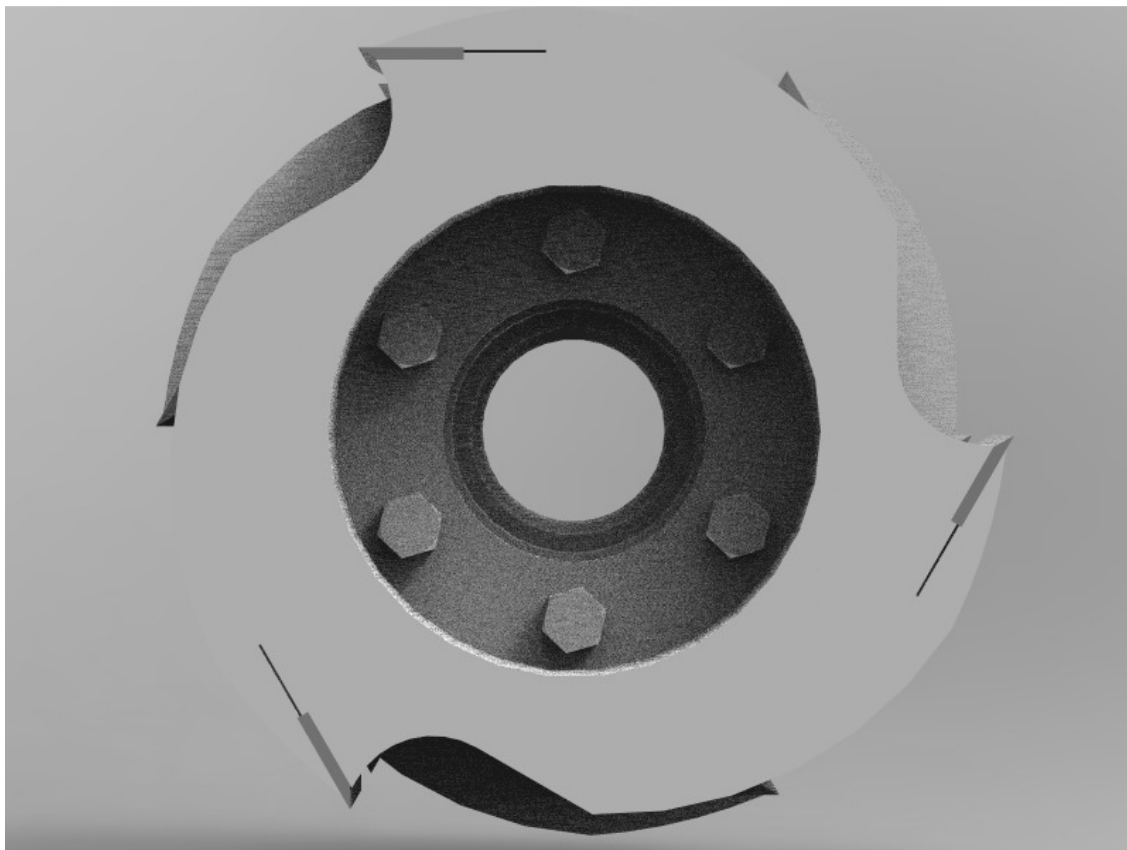
Kuva 16. Hakkurirungon pohja



Kuva 17. Puhallinrungonputken lähtö

7.2 Hakkurirumpu

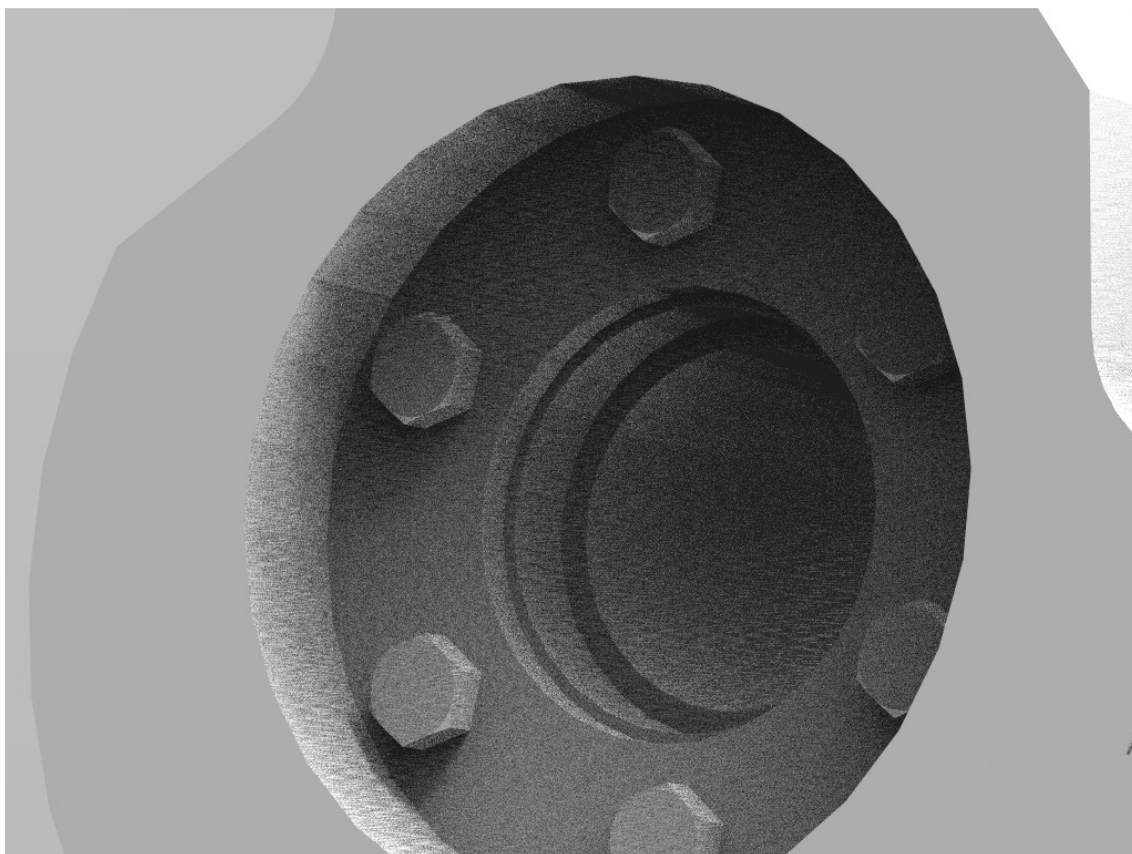
Hakkurirummussa on kolme terää sijoitettuna kehälle (kuva 18). Jokaisen terän leikkaava särmä on 250 mm keskiöstä. Samanlaista konstruktiota käytetään myös puuteollisuudessa höyläämöissä. Terän alla on haketta varten rumpuun tehty tasku, jonne terän hakettama hake kerääntyy, kunnes terä pyörähtää puun ohi. Tasku edesauttaa myös hakkeen siirtymistä puhaltimelle heittämällä ja puhaltamalla sen kourua vasten. Rumpu koostuu yhteensä viidestätoista terästä. Samanlaista hakkurirumpua ei ole koskaan kokeiltu käytännössä.



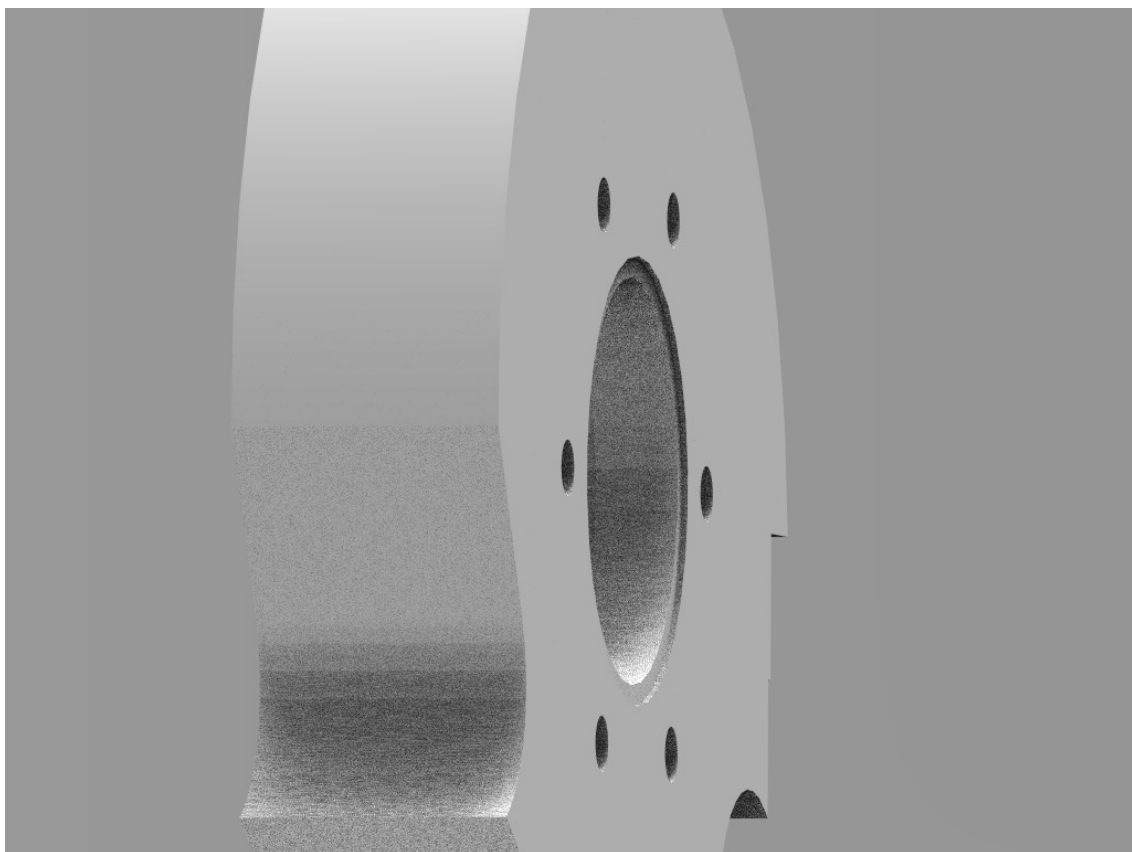
Kuva 18. Hakkurirumpu

Hakettinrummun palat on tarkoitettu leikattavaksi suoraan muotoonsa, jonka jälkeen paloihin työstetään tarvittavat työstöt yrityksen omalla sorvilla sekä jyrsinkoneella. Näin tehden palojen tekeminen olisi mahdollisimman kustannustehokasta. Terät kiinnittyvät paloihin yksinkertaisilla painimilla, jotka kiinnitetään kahdella M12-ruuvilla suoraan palaan kiinni. Terien teroittaminen on mahdollista lisäämällä lyhentyneen terän taakse oikeankokoinen säätöpala. Kiinteän säätömekanismin rakentaminen olisi ollut terän halpuuden sekä mekanismin monimutkaisuuden vuoksi kannattamatonta.

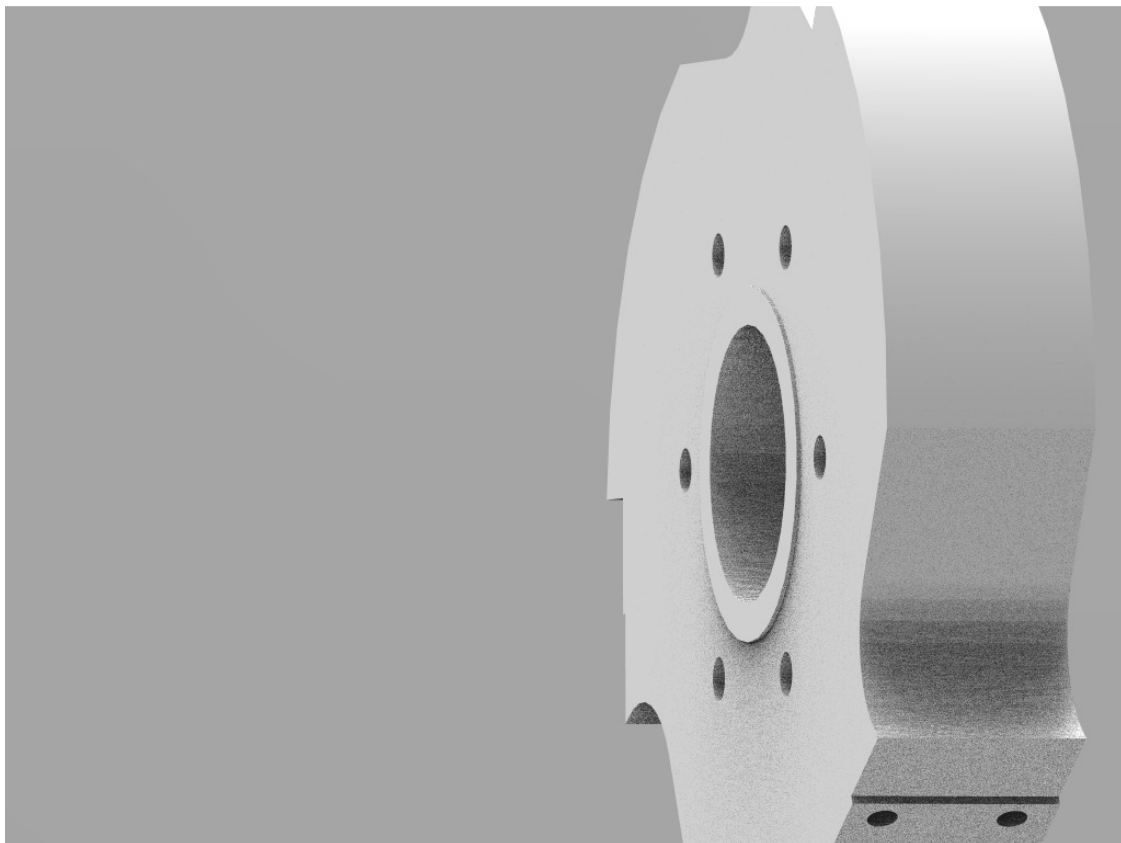
Kuvassa 19 näkyy rummun akselille kiinnittämiseen tarkoitetun holkin tarvitsema upotus sekä rummun yhteen puristamisen tarvitsemat kuusi M16-ruuvia.



Kuva 19. Bonfix-holkin upotus



Kuva 20. Upotus



Kuva 21. Kaulus

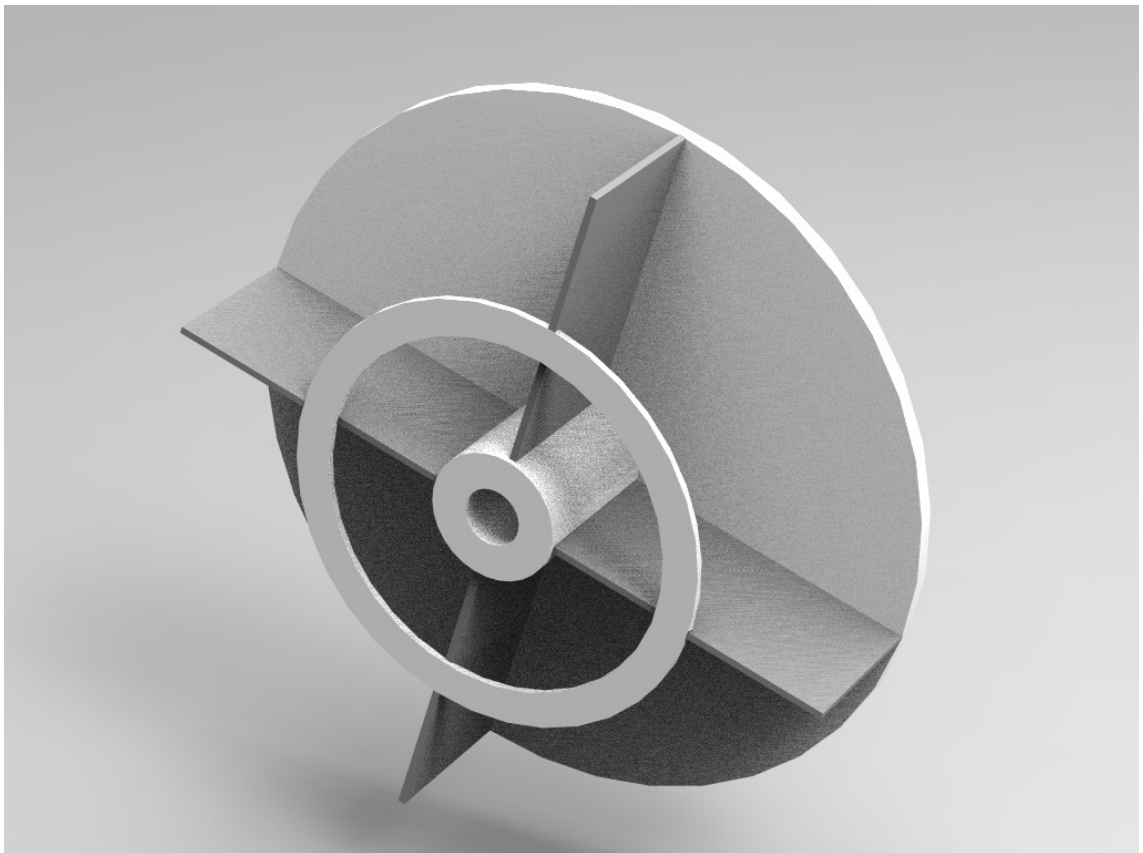
Rumpujen palat keskittyy lisäksi rumpupaloihin sorvatus kaulus-upotus parin avulla (kuvat 20, 21), jolloin voidaan varmistua rummun palojen välisestä keskeisyydestä. Kuitenkin asentaessa on pidettävä huolta, että välit ovat puhtaita, mikä edesauttaa riittävän kitkan rumpupalojen välissä. Näin rumpupalat eivät pääse pyörähtämään paikaltaan ja pahimmassa tapauksessa katkaisemaan ruuveja.

7.3 Puhallin

Kuvassa 22 näkyvä puhallin rakentuu takalevystä, siivistä, holkista sekä tukirenkaasta. Takalevy toimii samalla vauhtipyöränä tasoittaen hakkurin pyörimisnopeutta. Holkki kiinnittyy akseliin kahdella Bonfix-holkilla. Takalevyyn sekä tukirenkaaseen on jyrsitty siipien paksuiset urat helpottamaan siipien aseointia sekä paikalleen hitsaamista. Siipien materiaalina käytetään poikkeuksellisesti esimerkiksi HARDOX 400-terästä kulutuksen takia. Puhaltimen siipien

muoto on tässä mallissa suora, mutta käytännön testeissä voitaisiin harkita myös hieman taaksepäin kaartuvia siipiä rakenteensa tukkiutumattomuuden takia.

Tarvittaessa puhaltimen takalevyn halkaisijaa voidaan muuttaa pienentämällä sen halkaisijaa tarpeen vaatiessa. Prototyyppi-koneen testauksessa voidaan tarkastella sitä kuinka paljon akselin pyörintänopeus vaihtelee, mikä määrittää tarvittavan hitausmomentin akselille.

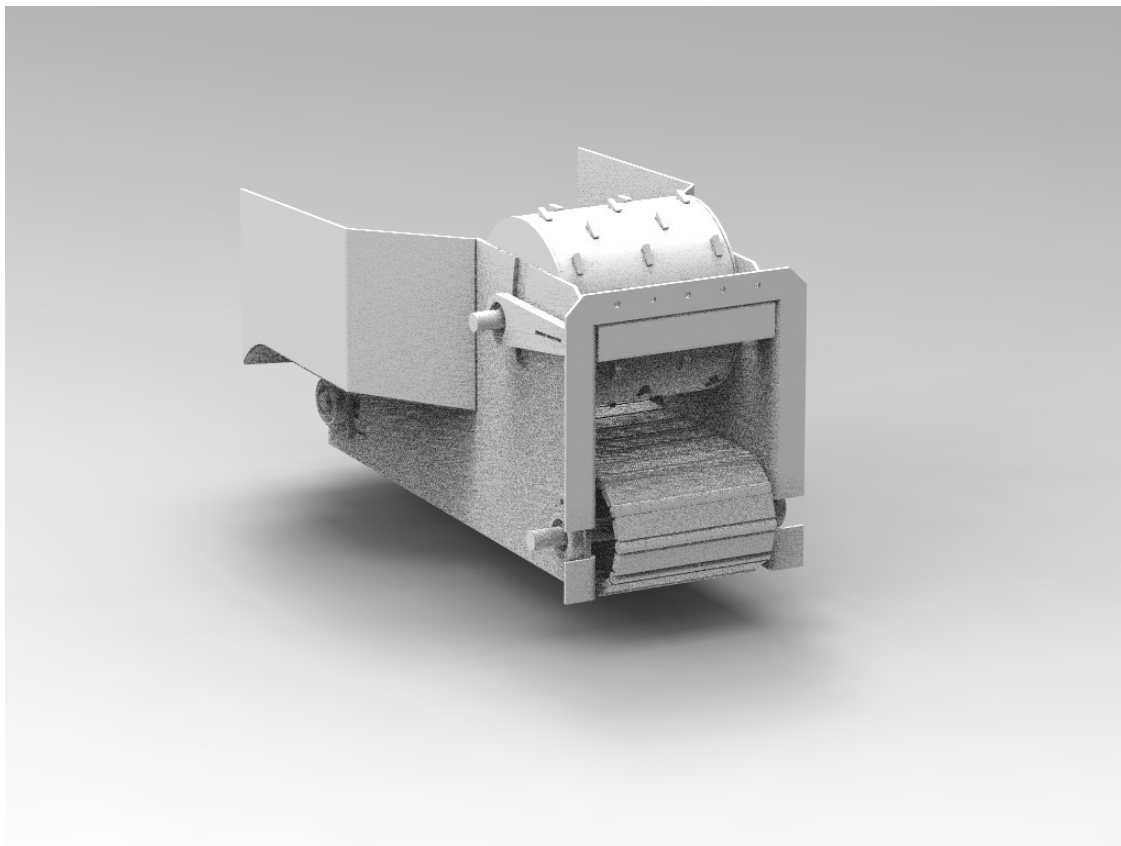


Kuva 22. Puhallin

7.4 Syöttöpöytä

Syöttöpöydän suunnittelu on rajattu pois tästä opinnäytetyöstä, joten se on mallinnettu vain suurin piirtein (kuva 23). Hakkurin suunnitteleminen vaatii joitakin mittoja myös syöttöpöydän osalta kuten puun vetotelaketjun korkeuden. Syöttöpöydän syöttö toimii telan ja syöttöpyörän yhteistoiminnalla. Syöttöpyörä liikkuu keinojen varassa pystysuunnassa mukailien puitten halkaisijaa. Syöttöpyörän

varsia täytyy painattaa hieman esimerkiksi hydraulisynterillä riittävän pidon aikaansaamiseksi.



Kuva 23. Syöttöpöytä

8 Yhteenveto

Työ keskittyi hyvin vahvasti itse runkorakenteen tuotekehitykseen sekä sen mallintamiseen. Rungon rakennetta olisin halunnut miettiä enemmän kuin mitä työn aikataulu antoi tällä kertaa periksi. Työn aikana itselleni tuli parempi idea rungon rakenteeksi, jolla olisi saatu sen painoa ja sen vaatimaa hitsaustyötä vähemmäksi. Työ opetti erittäin paljon eri osien mallintamisesta sekä mallin muuttamisesta käytäntöön, esimerkiksi osista tehtyjä polttokuvia oppi tekemään paremmin. Eri suunnitteluohjelmistoon siirtyminen oli yllättävän helppoa. Kuitenkin uuden ohjelmiston käyttöön otto sekä sen käytön opetteleminen vaati itse opinäytetyöltä hiukan aikaa. Yritykselle on työstä toimitettu yksityiskohtaiset työ- ja polttokuvat osista. Yritys ei kuitenkaan halunnut niitä liitettävän tähän työhön.

Olisin toivonut myös, että tähän työhön olisin saanut kirjata itse hakkurin toimintaa, mutta valitettavasti hakkuri itsessään ei ole tätä kirjoittaessa vielä valmis. Aikataulullisesti työssä meni kaksi täyttä kuukautta normaaleina työpäivinä tehtynä, minkä lisäksi tulisi laskea myös ns. vapaa-ajalla tehdyt tutkimukset hakkureitten toiminnasta. Yhteensä työtunteja voitaneen laskea yli 400 tuntia, johon ei kerinnyt tehdä edes käytännön testejä hakkurille eikä itse konetta ole oikeasti vielä olemassa (liite 2). Myös syöttöpöydän oikea suunnittelu veisi aikaa ainakin saman verran hakkurin kanssa.

Hakkuria suunnitellessa tuli myös tutustuttua hieman CE-merkinnän vaatimiin toimenpiteisiin ja tuotetta onkin suunniteltu pitämällä mielessä esimerkiksi turvallisuuden liittyvissä asioissa. Suunnitteluvaiheessa on myös kysytty mielipiteitä hitsareilta sekä osien valmistajalta, kuinka osat kannattaisi suunnitella heidän työnsä helpottamiseksi. Osista tulikin mielestäni suhteellisen helppoja valmistaa sekä kokoonpanna.

Alibre-ohjelmiston puutteista johtuen rungon tai akselin kestävyyksistä ei ole tehty tietokone-pohjaisia analyysejä, jotka olisi helpottanut rungon suunnittelua

ja tarkastelun avulla olisi voitu muuttaa suunniteltuja osia valmiiksi parempaan suuntaan. Ohjelmistosta ei saanut myöskään selville esimerkiksi akselin hitausmomenteja, joita tarvittaisiin lähinnä voimansiirron suunnittelussa.

Työ oli mielestäni hyvin perinteinen mekaniikkasuunnittelun aihe. Siinä sai paneutua moneen aihealueeseen, joita uskoisin tarvitsevan myös mahdollisessa työelämässä. Hakkuria suunniteltaessa huomasin, että kyseisestä aiheesta ei löydy minkäänlaista lähdemateriaalia, joten työ oli tehtävä käytännössä täysin tyhjästä. Ideoijana ja asiantuntijana toiminut Ossi Davidson helpotti suunnittelua antamalla suullisesti pohjatietoja hakkureista.

Lähteet

1. Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere: Tammertekniikka KY
2. Puhakka, A. Alakangas, E. Alanen, V. Airaksinen, L. Soini, R. Siponen, T. Kainulainen, S. 2001. Hakelämmitysopas. Helsinki, Joensuu: Motiva, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
3. Hakkila, P. 2011. Bioenergia-käsitteitä.
http://www.puuenergia.fi/files/kk_hakkilatermit.pdf 8.4.2011
4. Suomen Standardoimisliitto ry. Koneturvallisuuden standardit 2010.
<http://www.sfs.fi/files/kone-esite.pdf> 8.4.2011
5. Ikonen, K. Kantola, K. 1991. Murtumistekniikka. Espoo (Otatieto)
6. Niemelä, H. Fredriksson, T. 2011. Puuenergian esittämistoimilla kiire.
http://www.puuenergia.fi/files/2010_14_4_puuenergian_edistamistoimilla_kiire.pdf 8.4.2011
7. Stén & Co Oy AB. <http://www.sten.fi/data/attachments/C45E.pdf> 6.2006
8. FINLEX® - Valtion säädöstietopankki
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400> 20.4.2011
9. Blom, S. Lahtinen, P. Nuutio, E. Pekkola, K. Pyy, S. Rautiainen, H. Sampo, A. Seppänen, P. Suosara E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki. Edita Prima Oy.
10. Davidson, O. Asiantuntija. 2011. Suullinen tiedonanto

Vaatusluettelo

PVM	KV VV T	VAATIMUS	Tärkeys
		1. GEOMETRIA	
	KV	Hakettimen sovittava leveys suunnassa traktorin peräkärryn	
	VV	Rummun halkaisija 500mm	
	VV	Haketettava 300mm puuta	X
		2. KINEMATIikka	
3.3.2011	KV	Rumpuhakkurin toimintaperiaate	
		3. VOIMAT	
20.3.2011	KV	Hakurin pystyttävä tuottamaan 150m ³ haketta tunnissa	X
		4. ENERGIA	
20.3.2011	KV	Hakkuria voitava käyttää traktorin voiman ulosotosta	X
		5. AINE	
3.3.2011	KV	Raaka-aineena teräs	
		6. TURVALLISUUS	
	VV	Suojat terän lentämisen estämiseksi	X
	VV	Suoja telalle putoamisen estämiseksi	
	VV	Huoltoluukkujen valvonta tai mekaaninen aukaisun esto	X
	VV	Pyörivien osien suojaaminen	
		7. VALMISTUS	
	VV	Yksinkertainen hitsattava rakenne	X
	KV	Ei erikoisteräksiä	
		8. TARKASTUS	
	VV	Hakettimen terien kestettävä paikallaan	X
	VV	Kestettävä kuormaimella hakkaaminen	
		9. KULJETUS	
	VV	Kuljetettava traktorin peräkärryssä tai kuorma-auton lavalla	
		10. KÄYTTÖ	
	VV	Toimintakunnossa kymmenessä minuutissa	
		11. KUNNOSSAPITO	
	VV	Huoltokohteet helposti huollettavissa	
	T	Laakerit irrotettavissa helposti	
	T	Kotelot irrotettavissa toisistaan	

Valmistuskuvia







