

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät  
Markus Hietaranta

Opinnäytetyö

## **Pyöreän puun lastuamiskoneen suunnittelu**

Työn ohjaaja

DI, lehtori Yrjö Viitanen

Työn tilaaja

Puupalvelu O. Rukko, Oskari Rukko

Tampere 12/2010

Tampereen ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka

Modernit tuotantojärjestelmät

Tekijä

Markus Hietaranta

Työn nimi

Pyöreän puun lastuamiskoneen suunnittelu

Sivumäärä

20 sivua

Valmistumisaika

12 / 2010

Työn ohjaaja

DI, lehtori Yrjö Viitanen

Työn tilaaja

Puupalvelu O. Rukko, Oskari Rukko

---

## Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella puuntyöstökone kuivikelastun valmistukseen. Lastun leikkuun tuli tapahtua höyläyksen periaatteella ja koneessa tuli olla säädöt leikkuusyvyydelle ja puun syöttönopeudelle. Tällaisia koneita valmisti opinnäytetyön aloituksen aikaan jo kourallinen ulkomaalaisia valmistajia, mutta mikään näistä koneista ei onnistunut täysin täyttämään tilaajan vaatimuksia.

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle muiden valmistajien tapaan toimintaperiaatteesta, jossa puuta liikutellaan edestakaisin kiinteän nelikutterisen teräpöydän päällä. Toiminnan yksityiskohtien hahmottelun ja määrittämisen jälkeen siirryttiin itse koneenosien ja kokoonpanon mallintamiseen. Suunnittelutyö ja lujoustarkastelut rakenteiden optimointeeseen tehtiin Autodesk Inventor Professional 2010 –ohjelmistolla. Suunnittelussa kiinnitettiin huomiota erityisesti koneen yksinkertaisuuteen, luotettavuuteen ja huollon helppouteen.

Koneen valmistuskustannukset selvitettiin pyytämällä tarvittavista materiaaleista ja komponenteista tarjoukset usealta toimittajalta. Lopulta koneen piirustukset luovutettiin tilaajalle prototyypin valmistamista varten.

Opinnäytetyössä laaditut ratkaisut ovat luottamuksellisia vuoteen 2020 asti.

Author	Markus Hietaranta
Final thesis	Designing of Wood Shaving Machine
Pages	20 pages
Graduating time	12/ 2010
Thesis Supervisor	M.Sc, lecturer Yrjö Viitanen
Co-operating Company	Puupalvelu O. Rukko, Mr. Oskari Rukko

---

## **Abstract**

The subject of this thesis was to design a woodworking machine to shave woodchips for drying purposes. Shaving the wood was to happen in the same principle as in wood planing and adjustment for cutting depth and feed were also required. This kind of wood shaving machines were already being built by a number of foreign companies, but none of these machines were able to meet all the requirements set by the client.

The design process was started from the operating principle the other manufacturers were using – the piece of wood is moved back and forth on top of a fixed table with four cutters. After sketching and defining the details of operation, the actual designing of parts and assemblies began. Designing and stress analysis with structure optimization were done using Autodesk Inventor Professional 2010 CAD software. Special attention was paid to make the machine as simple, reliable and easy to maintain as possible.

Manufacturing expenses were determined by sending requests for quotation of the materials and components to numerous suppliers. Finally the complete drawings were handed over to the client for prototype manufacturing.

The solutions attained in this thesis are declared confidential until year 2020.

# Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	5
1.1	Tutkintotyön aihe ja tilaajan esittely .....	5
1.2	Tutkintotyön tavoite .....	6
2	Puuntyöstön teoria .....	7
2.1	Puun rakenne ja ominaisuudet.....	7
2.2	Puun lastuaminen .....	9
3	Suunnitteluprosessi.....	15
3.1	Lähtökohdat ja ongelmat .....	15
3.2	Lujuustarkastelut .....	16
3.3	Ratkaisut.....	18
4	Yhteenveto.....	19
	Lähdeluettelo.....	20

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkintotyön aihe ja tilaajan esittely

Maaliskuussa 2010 tutkintotyön tilaaja otti minuun yllättäen yhteyttä koulun rekryointipalvelun kautta nähtyään siellä kesätyöhakemukseni. Puupalvelu O. Rukon palveluita olivat pääasiassa puutavaran myynti, sahaus ja höyläys, mutta nyt yritys suunnitteli uutta aluevaltausta kutterinlastun valmistuksesta. Tätä yritys alkaisi tuottaa eläinten kuivikkeeksi ja pellettien raaka-aineeksi. Ulkomailta yritys oli löytänyt useita kutterinlastun höyläykseen suunniteltuja puuntyöstökoneita, mutta kotimaista konetuotantoa ei ollut, joten koneen valmistukseen päätettiin ryhtyä itse. Periaatteeltaan tällainen kone on kuin joukko toistensa perään asetettuja oikohöyliä.

Aluksi puhetta oli jopa kokonaisen kutterinlastun tuotantolinjan suunnittelusta kaikkine kuivaus ja paketointilaitteineen, mutta lopulta tutkintotyöhön rajattiin vain itse pääkone, puuta höyläävä lastuamiskone. Toimintaperiaatteen suhteen lähdettiin liikkeelle jo olemassa olevien koneiden pohjalta. Näissä on päällimmäisenä puukola, jonne tukit ja sahausjäte pudotetaan ja tämän alla höylän kaltainen pöytä, jossa lastuavat terät pyörivät. Joko pöytä tai puukola on liikkuva. Alimmaisena koneissa on hihnakuljetin valmiin lastun kuljetukseen. Esimerkki tällaisesta koneesta on kuviossa 1:



Kuvio 1: Omatekoinen pohjoisamerikkalainen lastuamiskone (Kuva: Youtube)

Kutterinlastulla tarkoitetaan erityisesti höyläyksessä syntyvää ohutta höyhenmäistä lastua, jota on aikoinaan käytetty tavallisen sahanpurun kanssa sekoitettuna talojen eristeenä. Nykyään kutterinlastua käytetään pelleteiksi puristettuna lämmöntuotantoon ja esimerkiksi hevostalleilla karsinoissa kuivikkeena. Myös eläinkaupat myyvät kutterinlastua lemmikkien tarpeisiin. Kutterinlastun hinta vaihtelee suuresti, kalleimmillaan sitä voi ostaa juuri eläinkaupasta pieneen pussiin paketoituna jopa yli sadan euron kuutiohintaan, kun halvimmillaan sitä voi saada sahoilta irtotavarana jopa ilmaiseksi. Kysyntää lastulle kuitenkin on enemmän kuin tarjontaa varsinkin kun sen energiakäyttö on yleistynyt.

## 1.2 Tutkintotyön tavoite

Työn tavoitteena oli luoda CAD-piirustukset lastuamiskoneesta, joka olisi rakenteeltaan yksinkertainen, luotettava, helposti valmistettava ja huollettava, sekä tietysti edullinen. Koneessa pitäisi olla helppo ja nopea säätö lastun vahvuudelle ja puun syötön nopeudelle. Kapasiteetti tulisi myös olla kilpailukykyistä tasoa. Tilaajalla oli jo valmiiksi omat hahmotelmansa koneesta, mutta suunnitteluun annettiin kuitenkin varsin vapaat kädet.

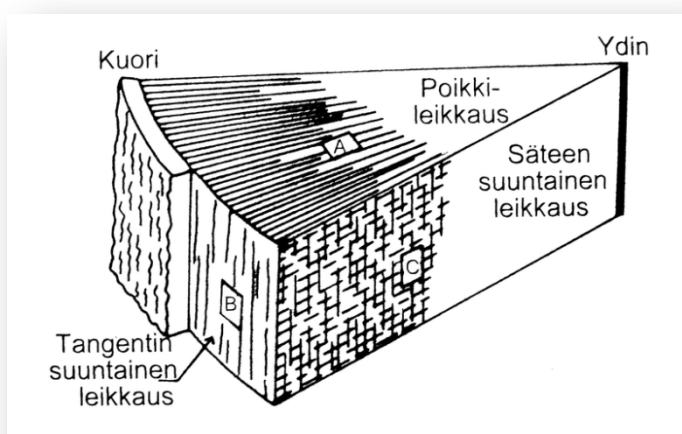
Henkilökohtaisesti tavoitteena oli oppia myös koneensuunnittelu tutulla Autodesk Inventor sovelluksella aiempaa perusteellisemmin. Erityisesti lujuuslaskujen suorittaminen ohjelmalla oli yksi suurimmista oppimistavoitteista. Mallinnuksen puolella halusin myös luoda mallista parametreja hyödyntämällä ”älykkään”, jolloin muutokset yhdessä osassa heijastuvat muihin siihen liittyviin osiin. Esimerkiksi yhden osan kiinnitysreikien siirto tekisi vastaavat muutokset myös tämän vastakappaleessa.

Eri valmistajien koneenosien tarjonta ja niiden tekniset ominaisuudet oli myös yksi merkittävä osa-alue, jota halusin tämän työn kautta selvittää. Uusinta huipputekniikkaa näin yksinkertaisessa koneessa ei tarvittaisi, eikä siihen pienen budjetin vuoksi olisi varakaan, mutta jokaisen komponentin kohdalla halusin silti löytää parhaan mahdollisen ratkaisun.

## 2 Puuntyöstön teoria

### 2.1 Puun rakenne ja ominaisuudet

Puu kattaa käsitteenä laajan kirjon eri alalajeja ja olotiloja, jotka saattavat erota toisistaan hyvinkin radikaalisti. Pääasiassa sillä tarkoitetaan monivuotista puuvartista kasvia, mutta laajassa mielessä puuna voidaan pitää myös puuaineen ainesosia uudelleen yhdistämällä luotuja materiaaleja, jopa luonnollisen kaltaisia biohajoavia polymeerejä. Tämän työn kannalta olennaista on kuitenkin keskittyä vain perinteiseen mäntytykkiin (*pinus sylvestris*). Puuta tutkittaessa on yleensä luontevinta käyttää sylinterikoordinaatistoa. Tällöin leikkaussuuntia ovat poikkileikkaus, säteensuuntaiseen leikkaus ja tangentin suuntainen leikkaus (Kuvio 2). Puusepänteollisuudessa käytettävät termit ovat vastavasti otsa-, lusto- ja juovapuu (Kärkkäinen 2003, 15).



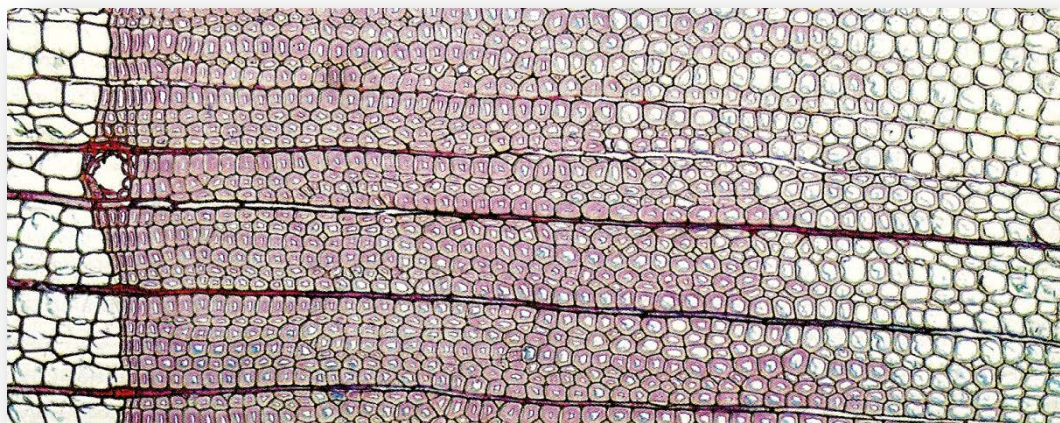
Kuvio 2: Puun leikkaukset runkokuussa (Kärkkäinen 2003, 15)

Puun ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi riippuen siitä, missä suunnassa sitä kuormitetaan. Puun voidaan katsoa olevan aineen sijasta *rakenne*, joten lujuusominaisuuksien tarkka määrittäminen on hyvin monimutkaista verrattuna vaikkapa metalleihin. Materiaalina puu on elastinen lyhytaikaisissa kuormituksissa, mutta toisaalta pitkäaikainen kuormitus aiheuttaa plastisia, pysyviä muodonmuutoksia. Vetolujuus on suurimmillaan syiden suunnassa, mutta näitä vastaan kohtisuorassa vain 2 – 20 % tästä. Vastaavasti taivutuslujuus määritetään yleensä ainoastaan syitä vastaan kohtisuorassa, koska syiden suunnassa tämä on hyvin pieni. Kaikkein tärkein lujuusominaisuuksiin vaikuttava tekijä

on puun tiheys, jonka avulla tuntemattomankin puulajin ominaisuudet voidaan etukäteen arvioida varsin tarkasti (Kärkkäinen 2003, 209-218).

Lähellä puun ydintä oleva kuollut sydän- eli nuorpuu eroaa rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan lähempänä kuorta olevasta elävästä pinta- eli aikuispuusta. Kimmomoduli, lujuus ja tiheys kasvavat ytimestä pintaan päin. Esimerkiksi kimmomoduli nuorpuussa voi olla jopa puolet pienempi kuin aikuispuussa. Nuorpuuta pidetäänkin heikkojen ominaisuuksiensa vuoksi puutuoteteollisuudessa suorastaan vikana, jonka osuus puusta tulisi minimoida metsänhoidollisin keinoin (Kärkkäinen 2003, 286-288).

Vaihtelua puun rakenteessa ja ominaisuuksissa tapahtuu lisäksi vuosilustojen eli vuosirenkaiden vuoksi. Uusi lusto muodostuu ympäröimään edellisiä joka kasvukausi ja ne voidaan nähdä puun poikkileikkauksessa vaaleina ja tummina kehinä. Vaaleita kehiiä kutsutaan kevätpuuksi ja tummia kesäpuuksi. Kasvukauden lopun kesäpuun kasvunopeus on hitaampi ja sen solujen seinämät ovat paksumpia kuin kevätpuulla, minkä vuoksi se on huomattavasti tiheämpää ja lujempaa (Kärkkäinen 2003, 16-21). Kesäpuun suhteellinen osuus onkin yksi huomioitava seikka puun leikkuussa. Kuvio 3 havainnollistaa erinomaisesti eron kevätpuun (isot vaaleat solut) ja kesäpuun (pienet paksuseinäiset solut) välillä:



Kuvio 3: Poikkileikkaus vuosilustojen rajalta. Ydin oikealla, pinta vasemmalla. (Kärkkäinen 2003, 38)

Puun tiheyteen ja sitä kautta massaan vaikuttaa merkittävästi sen sisältämä kosteus. Keskeisiä käsitteitä tässä ovat kosteus ja kosteussuhde, joista ensimmäisellä tarkoitetaan veden massan ja puun kokonaismassan suhdetta ja jälkimmäisellä veden massan ja kui-



van puumassan suhdetta. Molemmat ilmoitetaan prosentteina (Kärkkäinen 2003, 125). Tiheyden tarkastelussa on myös käytössä useita termejä: Kuivatiheys tarkoittaa nimensä mukaisesti puun massan ja tilavuuden suhdetta täysin kuivattuna, tuoretiheys on mitattu tuoreena ja ilma-kuivatiheydessä puun kosteussuhde on 12%. Lisäksi käytetään laskennallisia tiheyksiä kuten kuiva-tuoretiheys, jossa puun massa on mitattu kuivana ja tilavuus puunsiyden kyllästymispistettä suuremmassa kosteudessa ja kuiva-ilma-kuivatiheys, jossa massa on mitattu kuivana ja tilavuus ilma-kuivassa tilassa. Näistä käytännössä eniten käytetty tiheyden mitta on tuoretiheys (Kärkkäinen 2003, 133-135).

Kuten edellä on todettu, kasvaa tiheys ytimeistä pintaa kohti. Ero voi olla puun tyviosassa jopa  $100 \text{ kg/m}^3$ , mutta pienenee rungossa ylemmäs mentäessä. Vastaavasti myös puun keskimääräinen tiheys rungon pituuden suunnassa pienenee latvaa kohden. Voi daankin katsoa, että tämä johtuu pääasiassa tiheyden muutoksesta ytimeistä pintaan päin – tyvessä säteen suuntaisen kasvun myötä keskimääräinen tiheys on ehtinyt muodostua suuremmaksi. Ero tyven ja latvan välillä voi tutkimusten mukaan olla jopa yli  $100 \text{ kg/m}^3$  (Kärkkäinen 2003, 141-145).

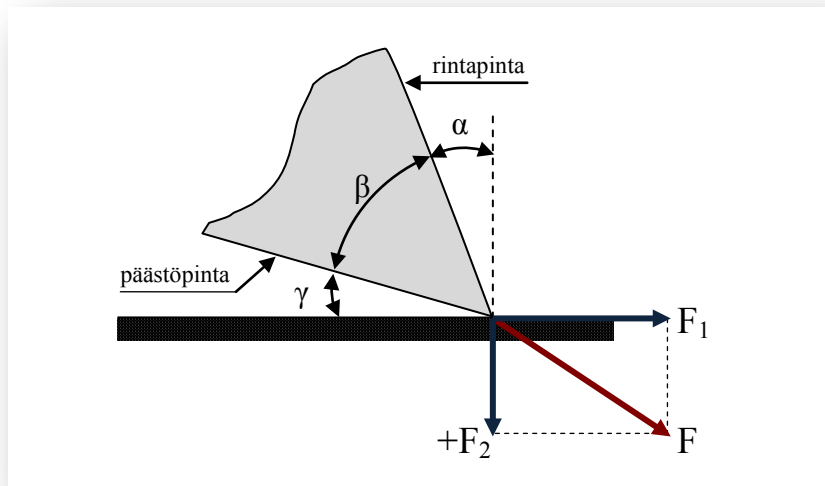
Puun voidaan siis sanoa olevan materiaalina hyvin heterogeenistä ja ominaisuuksien vaihtelun suurta lukuisten muuttujien ansiosta. Tarkempi mikroskooppinen tarkastelu paljastaisi puusta vielä joukon muita muuttujia ja ilmiöitä, mutta niihin paneutuminen ei ole tämän työn kannalta oleellista.

## 2.2 Puun lastuaminen

Lastuavan terän muoto koostuu periaatteessa kahdesta pinnasta ja niiden välisestä terävistä kulmasta. *Terän suuksi* sanotaan äärimmäistä leikkaavaa särmää, jossa terän pinnat yhdistyvät. Tämä särmä piirtää leikattavaan aineeseen *leikkuupinnan*. Etummaista terän pintaa, johon syntyvä lastu nojaa kutsutaan *rintapinnaksi* ja terän selkäpuolella olevaa pintaa *päästöpinna*ksi. Näiden kulmat leikkuupintaan ja sen normaaliin nähden ovat vastaavasti *päästökulma*  $\gamma$  ja *rintakulma*  $\alpha$ . Terän pintojen välinen kulma on nimeltään *teroituskulma*  $\beta$ . (Kivimaa 1952, 2).

Kuviossa 4 on esitelty terän kulmat ja pinnat, sekä *leikkuuvoima*  $F$ , jolla terä kuvassa oikealle liikkeessään irrottaa lastua. Tämä jaetaan liikkeen suuntaiseen ja sitä vastaan kohtisuoraan komponenttiin: *Pääleikkuuvoima*  $F_1$  vaaditaan terän liikuttamiseen puussa

ja leikkuupaine  $F_2$  aiheuttaa painetta työstettävään pintaan. Pyörivän terään tapauksessa näitä voidaan nimittää myös tangentiali- ja radiaalivoimiksi. (Kivimaa 1952, 1).



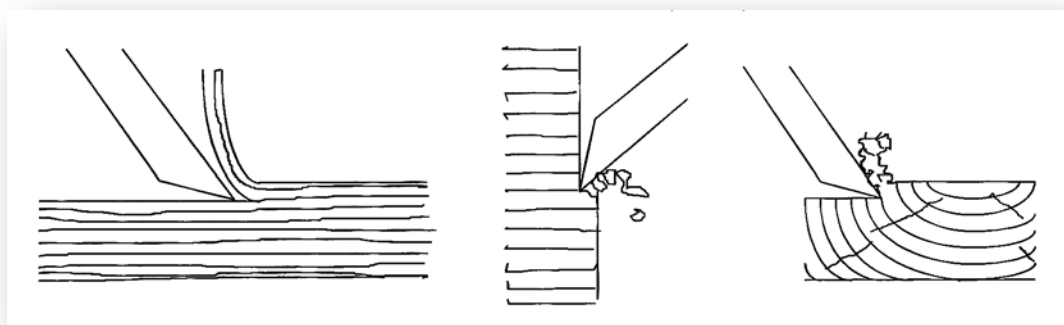
Kuvio 4: Terän kulmat, pinnat ja voimat

Joustavana materiaalina puu painuu kasaan terän leikkaavan särmän edessä, kunnes leikkuupaine joko katkaisee tai repii irti kimpun puun kuituja. Tämä korostuu erityisesti pienillä syöttönopeuksilla. Puun rakenteen vuoksi lastun muodostuminen riippuu merkittävästi leikkuun suunnasta suhteessa puun syiden suuntaan. Nämä pääleikkusuunnat on esitetty kuviossa 5 ja ne ovat vasemmalta oikealle:

- Syiden suuntainen leikkaus.
- Syitä vastaan kohtisuora leikkaus.
- Leikkaus teränsuu syiden suuntaisesti.

(Voutilainen 2007, 66).

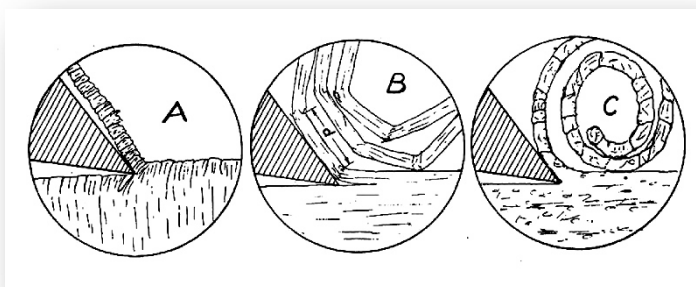
Näitä vastaavat Kivimaan (1952) määrittämät pääleikkusuunnat B, A ja C.



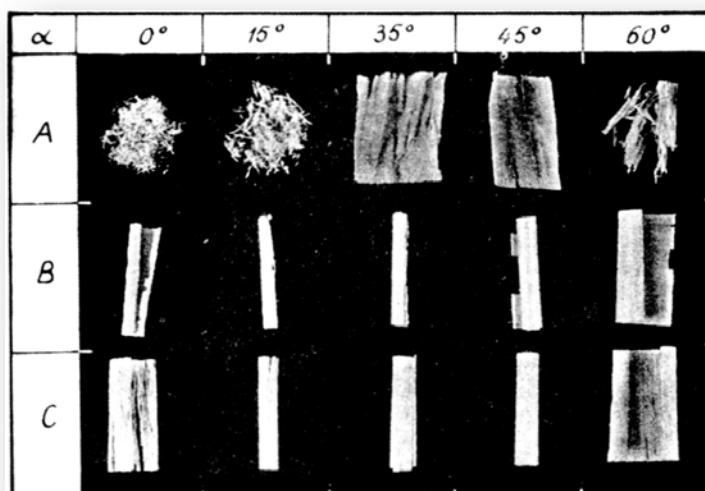
Kuvio 5: Puun pääleikkusuunnat (Voutilainen 2007, 66)

Käytännössä leikkuu on usein yhdistelmä eri pääleikkuusuuntia. Esimerkiksi halkaistes- sa puuta pyörösahalla, leikkaavat terän eri osat eri suunnissa syihin nähden. Myös ai- emmin mainitut rakenteelliset erot sydän- ja pintapuun, sekä kevät- ja kesäpuun välillä saattavat aiheuttaa sen, että terän eri osat kohtaavat erilaisia ljuuksia. Tämä on omiaan aiheuttamaan värähtelyä ja työstön epätarkkuutta (Voutilainen 2007, 67).

Syitä vastaan kohtisuora leikkaus (A) muistuttaa lastunmuodostukseltaan enemmän loh- keilua kuin jatkuvaa tasaista lastua. Lastu irtoaa pienissä, korkeintaan heikosti toisissaan kiinni olevissa osalastuissa kun terän aiheuttama paine kasvaa tarpeeksi suureksi. Kuitu- jen annettua periksi terä etenee jälleen seuraaviin kuituihin. Myös leikkuussa teränsuu- syiden suuntaisesti (C) voidaan havaita samantapaista jaksottaista lohkeamista. Tässä suunnassa terä ei joudu varsinaisesti leikkaamaan kuituja, vaan ainoastaan erottelemaan niitä toisistaan. Lastunmuodostus eri suunnissa on esitetty kuviossa 6 ja esimerkkejä terän rintakulman vaikutuksesta on kuviossa 7 (Kivimaa 1952, 28).



Kuvio 6: Lastun muodostuminen eri leikkuusuunnissa (Kivimaa 1952, 28)



Kuvio 7: Terän rintakulman vaikutus eri leikkuusuunnissa (Kivimaa 1952, 29)

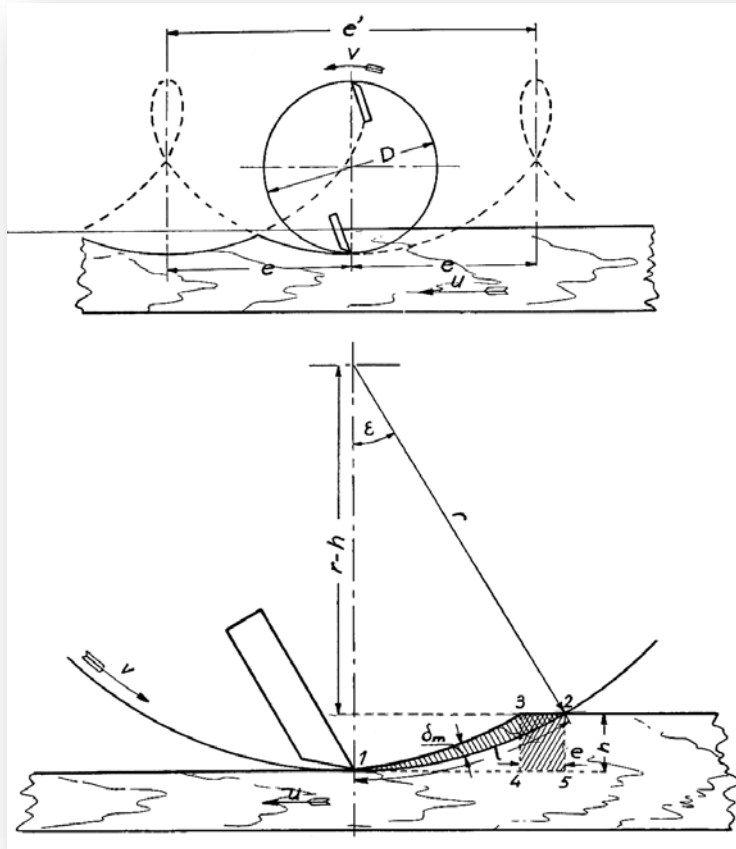
Tämän työn puun pituussuuntainen höyläys on pääosin leikkuuta puun syiden suunnassa (B). Ainoastaan tässä suunnassa saadaan irtoamaan kaikissa tapauksissa yhtenäinen ja koossa pysyvä lastu. Lastun muodostuminen tapahtuu vaiheittain siten, että terän kärki painautuu puuta vasten, kunnes se halkeaa syiden suunnassa. Halkeama jatkuu puun taivutuslujuuden perusteella kunnes rintapinnalle nouseva lastu ei enää kestä taivutusta vaan taittuu ja alkaa liukua rintapinnalla. Terä jatkaa taitekohdan ohi, uusi osa lastua alkaa nousta rintapinnalle ja taittuu taivutuslujuuden ylityttyä. Etäisyys taitteesta taitteeseen lähestyy nolaa terän rintakulman pienentyessä. Tällöin lastu puristuu kokoajan pienemmäksi ja leikkuutyön vaatima pääleikkuuvoima kasvaa. Rintakulman kasvattaminen vastaavasti vähentää lastun taittumista ja saa leikkuun muistuttamaan enemmän halkaisua (Kivimaa 1952, 28).

Terän tylsistyessä sen on luonnollisesti vaikeampi katkaista puun syitä, jolloin ne alkavat repeytyä irti. Tästä seuraa pääleikkuuvoiman nopea kasvu, huono leikkuujälki ja rikkonaisia lastuja. Yleistykseenä leikkuujäljen voidaan sanoa olevan sitä parempi, mitä pienemmällä pääleikkuuvoimalla se syntyy tai mitä eheämpiä lastut ovat. (Kivimaa 1952, 29).

Leikkuunopeudella ei ole havaittavaa vaikutusta leikkuuvoimiin, joten se voidaan valita varsin vapaasti muiden muuttujien mukaan. Sen sijaan terien tylsymisnopeuteen leikkuunopeudella on todennäköisesti huomattavakin vaikutus. Leikkuunopeudet puuntyöstössä voidaan jaotella kolmeen luokkaan: Alhaiset 5 – 20 m/s, keskinkertaiset 50 – 60 m/s ja korkeat 60 – 100 m/s leikkuunopeudet. Edullisin näistä on keskinkertainen nopeusalue, kun taas korkean alueen nopeuksia olisi vältettävä (Kivimaa 1952, 9-10).

Pyörivällä työkalulla työstettäessä ei voida suoranaisesti puhua lastun paksuudesta kuten esimerkiksi puskuhöyläyksessä tai vannesahauksessa, koska lastun paksuus vaihtelee jatkuvasti leikkuun aikana. Muodostuva leikkuupinta on aallokon muotoinen, eikä täysin sileä (kuvio 8). Lastunpaksuuden sijaan tällöin käytetään keskimääräistä lastunpaksuutta  $\delta_m$ . Lastun paksuuden vaikutuksesta leikkuun tehon tarpeeseen voidaan havaita, että teho kuluu pääasiassa kahteen tarkoitukseen: Varsinaisen leikkuun osuus pysyy lastun paksuudesta riippumatta vakiona ja riippuu lähinnä vain terän terävyydestä. Rintapintaa vasten nojaavan lastun deformaatioon kuluva teho sen sijaan riippuu voimakkaasti lastun paksuudesta ja rintakulman suuruudesta (Kivimaa 1952, 12).

Lastuamiseen tarvittava työmäärä eli varsinainen energiankulutus puun tilavuusyksikköä kohden kasvaa pienemmillä lastun paksuuksilla ja tylsillä terillä. Rajana voidaan pitää 0,05 mm:n lastua, jonka alle mentäessä energiankulutus kasvaa erittäin jyrkästi. Toisaalta yli 0,2 mm:n lastunpaksuuksilla ei enää saavuteta merkittävää säästöä (Kivimaa 1952, 13-14).



Kuvio 8: Lastun leikkuu pyörivällä teräpäällä (Kivimaa 1952, 3)

Keskimääräisen lastun paksuuden  $\delta_m$  (mm) laskentakaava on

$$\delta_m = e \sqrt{\frac{h}{D}} = \frac{u}{n z} \sqrt{\frac{h}{D}} \quad (1)$$

missä

$e$  = syöttö teräiskua kohti (mm/min)

$h$  = työstösyvyys (mm)

$D$  = teräympyrän läpimitta (mm)

$u$  = syöttönopeus (mm/min)

$n$  = kierrosluku (1/min)

$z$  = terien lukumäärä

Leikkuunopeus  $v$  (mm/min) puolestaan lasketaan kaavalla

$$v = n \pi D \quad (2)$$

Yhteenvedona puun leikkuuvoimiin suoraan tai esimerkiksi terän kulumisen kautta välillisesti vaikuttavat ainakin alla listatut muuttujat. Puuntyöstökoneen suunnittelussa nämä muuttujat ja niiden keskinäiset vaikutukset on aina syytä ottaa huomioon.

- Leikkuusuunta suhteessa puun syiden suuntaan
- Lastun paksuus
- Leikkuunopeus
- Terän rintakulma
- Terän terävyys
- Terämateriaali
- Puun tiheys
- Puun lämpötila (jäätynyt - sula)

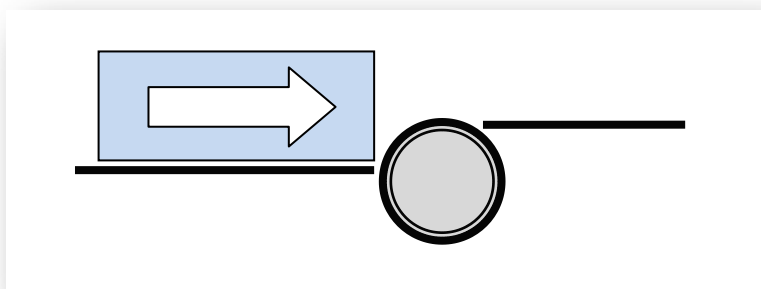
### 3 Suunnitteluprosessi

#### 3.1 Lähtökohdat ja ongelmat

Suunnittelun lähtökohtia olivat ensinnäkin koneen kapasiteetti, jonka tuli olla keskimäärin 2 500 kg/h. Lastuttavien puiden tuli voida olla kooltaan pienistä rimoista ja puun rangoista aina halkaisijaltaan 60 cm:n kokoiseen kolmen metrin tukkiin asti. Näin kookkaan puun lastuaminen tulisi toki olemaan äärimmäisen harvinaista ja kannattavuudeltaan vähintäänkin kyseenalaista, mutta tämä kuitenkin sovittiin ylärajaksi. Lastunvahvuus tuli olla säädettävissä välillä 1 – 8 mm ja syöttönopeus välillä 0,1 – 0,25 m/s.

Puuta täytyisi leikata aina siten, että terän leikkuu olisi syöttöliikettä vastaan. Tällöin lastun muoto olisi aina samanlainen ja tuote tasalaatuista. Liikeradan tuli myös olla lyhyt, eli puuta ei ajettaisi koko kolmen metrin pituudeltaan kaikkien terien yli ja takaisin. Tällöin koneen kokonaispituus kasvaisi liian suureksi, jopa 8 – 9 metriin. Lyhyt liikeraata yhdessä homogeenisen lastunmuodon kanssa tarkoittaisi sitä, että terien täytyisi vuorotella toisten syödessä mennessä ja toisten paluuliikkeessä. Alusta asti koneeseen kaavailtiin yhteensä neljää teräakselia, mikä tuntui olevan normi myös kaikkien ulkomaa-laisten valmistajien koneissa.

Yksi suurimmista ongelmista heti alussa oli höylissä terän yläosan tasalla olevan takapöydän toiminnan hahmottelu. Tämä pöytä on siis höylättävän määrän verran etupöytää ylempänä ja toimii näin tukena kappaleen ylitettyä terän. Tämä on havainnollistettu kuviossa 9:



Kuvio 9: Höylän terän jälkeinen, tukena toimiva takapöytä

Takapöydän toiminta kahteen suuntaan ajettaessa on kuitenkin usealla tapaa monimutkaista: Ensinnäkin liikkeen suunnasta riippuen pöytien pitäisi vuoron perään nousta ja

laskea, minkä toteuttaminen yhdessä leikkuusyvyuden säädön kanssa vaatisi paljon mekaniikkaa. Toiseksi puukolan puuta työntävän seinän on aina oltava tiiviisti pöytää vasten, jotta ohuet puun liuskat eivät livahda seinän ja pöydän välistä tai kiilaudu näiden väliin pysäyttäen koko koneen.

Hahmotelmia laadittaessa myös puun pituuden kanssa tuli usein vastaan ongelmia. Täyspituinen kolmen metrin puu kun käyttäytyy hyvin eri tavalla kuin vain metrin pituinen kappale. Lyhyemmänkin puun ajoon olisi tarvittu monissa tapauksissa niin suuri syöttöliike, että täyspitkien puiden tapauksessa olisi tullut tavattomasti tyhjää työstämätöntä liikettä.

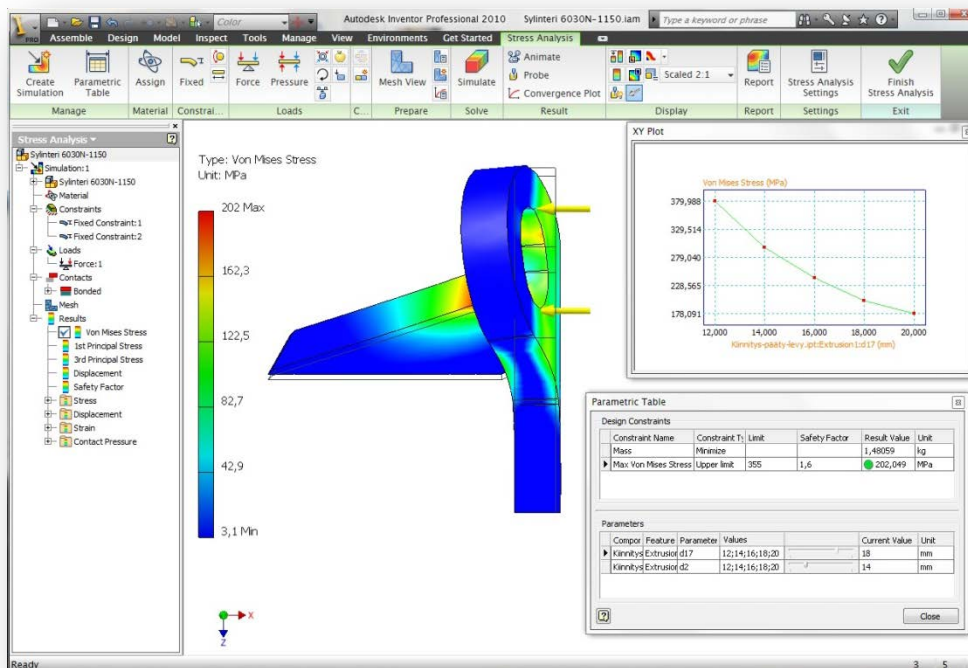
Vaikka teräkselien keskinäisiä etäisyyksiä ja pyörimissuuntia kuinka järjesteli, tuntui järjestely aina kaatuvan johonkin edellä mainituista ongelmista. Tarkempia mekaanisia ratkaisuja hahmotellessa myös huollon, kuten terien vaihdon helppous tuotti usein päänvaivaa. Lopulta kuitenkin löytyi kompromissi, jossa tärkeimmät vaatimukset tulivat täytetyiksi.

## 3.2 Lujuustarkastelut

Osien ja kokoonpanojen lujuustarkastelut suoritettiin Autodesk Inventorin Stress Analysis –ympäristössä, jossa komponenttien optimaaliset mitat on mahdollista hakea parametristen simulaatioiden avulla. Mitoille voidaan antaa joukko vaihtoehtoja ja tuloksille asettaa ehtoja, joiden sisällä on pysyttävä. Tämän jälkeen kappaleelle tai kokoonpanolle asetetaan kiinnitykset ja kuormittavat voimat. Simulaatioiden ajon jälkeen tuloksista voidaan poimia optimaalinen yhdistelmä ja ohjelma näyttää siinä toteutuneet jännitykset ja muodonmuutokset valitun hypoteesin mukaisesti, esimerkiksi Von Misesin vakionmuodonvääristymisenergiyahypoteesin (VVEH) mukaan.

Kuviossa 10 on esitetty erään koneen osan optimointia Inventorissa. Minimoitavaksi suureeksi on asetettu *Parametric Table* –ikkunassa massa, ylärajaksi myötöraja varmuusluvulla 1,6 ja muuttujiksi kahden levyosan paksuudet arvoilla 12, 14, 16, 18 tai 20 mm:ä. Näistä on tarkasteltavana tilanne, jossa levyt ovat 14 mm ja 18 mm. Tuloksena on 202 MPa:n enimmäisjännitys, minkä jäämistä asetetun rajan alapuolelle ilmaisee vihreä indikaattori tuloksen edessä. Käyrästä voidaan nähdä levynpaksuuden vaikutus enimmäisjännitykseen.



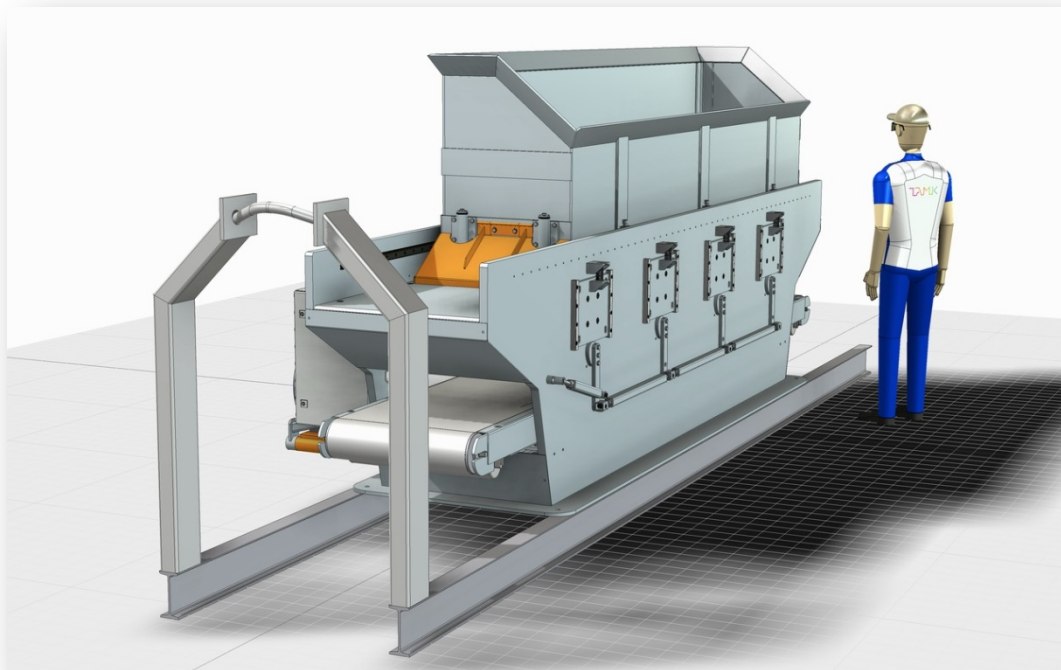


Kuvio 10: Sylinterikorvakkeen optimointi Stress Analysis –ympäristössä

Ohjelman vasemman reunan listalta voidaan oletuksena olevan Von Misesin VVEH-hypoteesin tulosten lisäksi valita muita tuloksia, esimerkiksi maksimipääjännityshypoteesi (MPJH), siirtymien tarkastelu tai jännitykset tietyssä tasossa. Yläpalkista löytyvät työkalut kiinnitysten, voimien, paineiden ja momenttien asettamiseen. Myös monimutkaisempien mekanismien simulointi onnistuu kun kappaleiden välille asetetaan tarkemmin erilaisia yhteyksiä (*Contacts*), kuten jousi, kutistusliitos tai liukuminen. Saaduista tuloksista voidaan myös tallentaa kattava raportti.

### 3.3 Ratkaisut

Opinnäytetyössä laaditut ratkaisut ovat luottamuksellisia vuoteen 2020 asti ja ne on siksi poistettu julkisesta versiosta. Lastuamiskoneen valmis pääkoonpano on esitetty kuviossa 11.



Kuvio 11: Lastuamiskone koukkulava-alustallaan

## 4 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin siten kuin oli tarkoituskin. Koneesta saatiin suunniteltua käyttötarkoitukseensa hyvin soveltuva ja sille asetetut suorituskykyvaatimukset saatiin täytettyä. Kilpailijoihin verrattuna suorituskyky suhteessa koneen kokoon on varsin vertailukelpoinen. Rakenteesta saatiin kompakti ja helposti huollettava ja käytettyjen korkeiden varmuuskertoimien ansiosta koneen tulisi olla myös luotettava. Erityistä kiitosta tilaajan puolelta sai koneen yksinkertaisuus ja huollon huomioonottaminen. Koneen valmistuskustannuksetkin saatiin pidettyä kurissa.

Työn laajuus ylitti jossain määrin alussa oletetun, mutta työ saatiin silti valmiiksi lähes aikataulussa. Yllätyksenä tuli erityisesti pienten, mutta tarkkaa harkintaa vaativien yksityiskohtien määrä. Työstökoneen tapauksessa myös turvallisuusnäkökohtiin täytyi kiinnittää erityistä huomiota.

Projektin seuraava vaihe on prototyypin valmistus, jossa päästään käytännössä toteamaan suunnitelmien toimivuus ja mahdollisesti korjaamaan huomaamatta jääneitä epäkohtia. Tämänkaltaisten koneiden kysynnän vuoksi myös valmistusta myyntiin täytyy alkaa selvittää. Tällöin eteen tulee CE-merkinnän hakeminen, jonka vaatimuksia suunniteltiin alun perin selvitettäväksi jo tässä työssä. Asian laajuuden vuoksi tämä jätettiin kuitenkin pois.

Lastuamiskoneen suunnittelu oli ehdottomasti mittavin suunnittelutyö, jonka olen tehnyt. Työstä sain erittäin paljon kokemusta koneensuunnittelusta ja se antoi näkemystä suurehkojen projektien aikataulutuksesta ja läpiviennistä. Vaikka mallinnustyö Autodesk Inventorilla oli jo ennestään varsin tuttua, tuli työn kautta tähänkin huomattavasti parempi rutiini. Uutta opin erityisesti sovelluksen lujuuslaskentaympäristöstä ja rakenteiden parametrisestä optimoinnista, joihin en ollut juuri aiemmin tutustunut.

Kokonaisuudessaan projekti oli hyvin mielenkiintoinen ja tarjosi sopivassa määrin haasteita. Tämänkaltaisten tehtävien parissa toivon työlistyväni myös valmistuttuani.

## Lähdeluettelo

*Kainulainen, Jouni & Lindblad, Jari. 2005. Puutavaralajien tuoretiheyden alueellinen vaihtelu mittausasemien vastaanottomittauksessa. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 19. 29 s. [pdf]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp019.pdf>*

*Karjalainen, Matti. 2007. Ääniteknologian perusteet, luentomateriaali. Teknillinen korkeakoulu. Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio. [pdf]. Saatavissa: <http://www.acoustics.hut.fi/teaching/S-89.2300/lectures/ch06.pdf>*

*Kivimaa, Eero 1952. Leikkuuvoima puun työstössä. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Helsinki: Frenckellin kirjapaino Oy.*

*Kärkkäinen, Matti 2003: Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.*

*Valtanan, Esko 2009. Tekniikan taulukkikirja, 17. painos. Genesis-Kirjat Oy.*

*Voutilainen, Matti 2007. Puutuoteteollisuus 1: Tekniset ja taloudelliset perusteet. Opetushallitus. Helsinki: Edita Prima Oy.*

### **Tuoteluettelot:**

*Bucher Hydraulics W-16.20 Solenoid Operated Spool Valve. Tuoteluettelo. [pdf] Saatavissa: <http://www.bucherhydraulics.com/bausteine.net/file/showfile.aspx?downdaid=8451&domid=1017&fd=3>*

*FAG Vierintälaakerit, vakio-ohjelma. Julkaisu WL41510/2 Flb. Tuoteluettelo.*

*Van der Graaf Product information, Drummotors. Tuoteluettelo. [pdf] Saatavissa: [http://vandergraafpte.nl/media/documents/trommelmotor/catalogue\\_complete.pdf](http://vandergraafpte.nl/media/documents/trommelmotor/catalogue_complete.pdf)*

*VEM 3-vaiheoikosulkumoottorit. Tuoteluettelo. [pdf] Saatavissa: [http://www.vem.fi/get\\_file.php?file=drehasync\\_e.pdf](http://www.vem.fi/get_file.php?file=drehasync_e.pdf)*