

# VESAKONLEIKKURIPÄÄ

Jarno Louhela

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

|   |           |                    |    |
|---|-----------|--------------------|----|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala  |           |                    |    |
| Koulutusohjelma<br>Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma   |           |                    |    |
| Työn tekijä(t)<br>Jarno Louhela   |           |                    |    |
| Työn nimi<br>Vesakonleikkuripää   |           |                    |    |
| Päiväys   | 13.5.2011 | Sivumäärä/Liitteet | 43 |
| Ohjaaja(t)<br>Lehtori Pertti Kupiainen  |           |                    |    |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)   |           |                    |    |
| Tiivistelmä   |           |                    |    |
| <p>Tämän opinnäytetyönaihe oli suunnitella prototyyppi vesakonleikkuripää. Työn ensisijaisena lähtökohtana ja rajapintana oli yhteensopivuus ja käytettävyys puutavarakuormaimen Patu 304T kanssa. Optiona oli yleiskonekiinnitys, joka mahdollistaisi leikkurin monipuolisen käytön erilaisissa työkoneissa.</p> <p>Työssä perehdyttiin mekaaniseen vesakonraivaukseen ja käytiin läpi mekaanisen vesakonraivauksen raivaustyyliä. Työssä tutustuttiin myös tuoreen puun lujuus- ja kovuustietoihin. Raportissa esitetään leikkurin osien, komponenttien ja kokoonpanojen mitoitusta, vertailua ja valintaa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin 3D-malli leikkurista. Leikkurista valmistetaan prototyyppi, mutta raportin kirjoitusvaiheessa sitä ei ole vielä tehty. Mallintamiseen käytettiin Autodesk Inventor -ohjelmaa. Laskut laskettiin Mathcad-ohjelmalla.</p> |           |                    |    |
| Avainsanat<br>Mekaaninen vesakon raivaus, Koneensuunnittelu   |           |                    |    |
| Julkinen  |           |                    |    |

|  |              |                  |    |
|--|--------------|------------------|----|
| Field of Study<br>Technology, Communication and Transport  |              |                  |    |
| Degree Programme<br>Degree Programme in Mechanical Engineering   |              |                  |    |
| Author(s)<br>Jarno Louhela   |              |                  |    |
| Title of Thesis<br>Copse Cutting Head  |              |                  |    |
| Date   | May 13, 2011 | Pages/Appendices | 43 |
| Supervisor(s)<br>Mr Pertti Kupiainen, M. Sc  |              |                  |    |
| Project/Partners   |              |                  |    |
| <p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to design a prototype of copse cutting head. This thesis was made for a private person. In this work the primary basis and interface was compatibility and usability of timber loader Patu 304T. There was an option for this work that the cutting head could be used in different machines. There for thereat was designed a general machine mortgage.</p> <p>In this thesis read up on mechanical copse cutting and go through cutting styles of mechanical copse cutting. In this thesis familiarize on features of fresh woods strength and hardness as basis to the features required to cut.</p> <p>This report goes through comparison and selection of parts, components as well as assemblies of the cutter. When this report was written the prototype was not yet made. The final conclusion can be made after the prototype is made. At result of this thesis was ready to make prototype of copse cutting head.</p> |              |                  |    |
| Keywords<br>Mechanical Copse Cutting, Machine Designing  |              |                  |    |
| Public   |              |                  |    |

Alkusanat

Haluan kiittää työn aiheesta, hyvistä neuvoista ja asiantuntijamielipiteistä lehtori Pertti Kupiaista. Savonia-amk:ta haluan kiittää mahdollisuudesta käyttää työn tekemiseen vaadittuja laitteita.

Kuopiossa 9.5.2011

Jarno Louhela

## Sisältö

|  |    |
|--|----|
| 1 JOHDANTO .....   | 6  |
| 2 VESAKON RAIVAUSMEKANISMIT .....                              | 7  |
| 3 PUUN TEORIAA .....   | 10 |
| 3.1 Puun lujuusominaisuudet .....                              | 10 |
| 3.2 Puun lujuus lyhytaikaisessa kuormituksessa .....           | 11 |
| 4 SUUNNITELUN LÄHTÖTIEDOT .....                                | 14 |
| 5 RUNKO .....  | 16 |
| 5.1 Putkirunko .....   | 16 |
| 5.2 Levyrunko .....  | 18 |
| 5.3 Kumi .....   | 22 |
| 6 LEIKKAAMISTO .....   | 23 |
| 6.1 Moottori .....   | 24 |
| 6.2 Kytkin .....   | 27 |
| 6.3 Akseli .....   | 28 |
| 6.4 Laakeri .....  | 29 |
| 6.5 Laippa, kettinki, sakkeli ja mekaaninen kartioliitin ..... | 30 |
| 6.6 Letkut .....   | 32 |
| 7 KALLISTUS .....  | 34 |
| 7.1 Kokoonpano .....   | 34 |
| 7.2 Sylinterin letkut .....                                    | 35 |
| 7.3 Kiinnitys puutavarakuormaimeen .....                       | 35 |
| 8 KANNATUS .....   | 36 |
| 9 YLEISKONEKIINNITYS .....                                     | 38 |
| 10 PAINOARVIO .....  | 39 |
| 11 YHTEENVETO .....  | 41 |
| LÄHTEET .....  | 42 |

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön aiheena on vesakon leikkuripään prototyypin suunnittelu. Laite suunnitellaan yksityishenkilölle, mutta laitteelle on myös yleistä kiinnostusta.

Suunnittelun lähtökohtana on yhteensopivuus puutavarakuormain Patu 304T kanssa. Patu 304T toimii siis rajapintana työlle. Optiona työssä on suunnitella myös yleiskonekiinnitys muita työkoneita varten. Leikkuri suunnitellaan sen vuoksi, että vastaavaa puutavarakuormaimella käytettävissä olevaa leikkuria, ei ole. Leikkurin työkoneista vaatimat ominaisuudet minimoitiin, jotta leikkurin käyttö olisi mahdollista mahdollisimman monilla työkoneilla. Leikkurin katkaisuteho määritetään käyttäen tuoreen puun kovuus- ja lujuusominaisuuksia. Vaadittavaa katkaisutehoa varten vertailtaan ja valitaan komponentit ja kokoonpanot, joilla asetetut arvot saavutetaan.

Laite suunnitellaan siten, että sen käyttö olisi turvallista mahdollisimman erilaisissa ympäristöissä. Tähän päästiin suunnittelemalla leikkuriin hyvät suojarakenteet ja lisälaitteet.

## 2 VESAKON RAIVAUSMEKANISMIT

Vesakolla tarkoitetaan yleisesti nuorta metsää. Vesakko kasvaa tienvarsille, pellonreunoille, hakkuuaukiolle ja voimalinjojen alle. Vesakon raivausta on vielä 60-luvulla harjoitettu myrkyttämällä, mutta ympäristösyistä on siirrytty käyttämään mekaanista raivausta [1, s.7].

Mekaaninen raivaus tapahtuu yleensä joko maataloustraktorin nostolaitteeseen kiinnitettävällä leikkurilla tai peruskoneeseen puomin välityksellä liitettävällä leikkurilla. Peruskoneena voidaan käyttää myös kaivinkonetta, kuorma-autoa, pyöräkuormaajaa, tiehöylää tai metsäkonetta. Olemassa on myös täysin kesannon ja/tai vesakon raivausta varten tehtyjä laitteita.

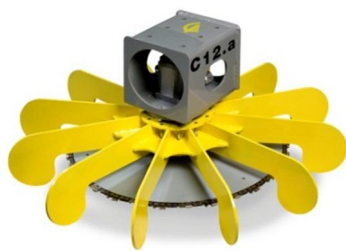
Vesakon leikkurityyppejä on viisi: kela-, pyörivä terä-, saksi-, lautas- ja kettinkileikkuri. Leikkurityyppien hyviä ja huonoja puolia vertailtiin ja vertailun perusteella valittiin parhaiten soveltuva leikkurityyppi. Seuraavassa on kaikista leikkurityypeistä lyhyt yhteenveto.



**Kuva 1. Kelaleikkuri [2]**

Kelaleikkurissa pyörii rumpu, jonka kehälle on kiinnitetty saranoilla vasaramaisia teriä. Kuvan 1 kelaleikkuri on liitetty maataloustraktorin nostolaitteeseen leikkurin omilla kiinnikkeillä. Kelaleikkuri on yleensä maataloustraktorin nostolaitteisiin kiinnitettävä, omalla puomilla oleva leikkuri, mutta on olemassa malleja jotka kiinnitetään peruskoneen omaan puomiin. Kelaleikkuri on yleensä kooltaan suuri, joten sillä on suuri leikkausleveys. Kuitenkin suuren kokonsa vuoksi se on painava, myös ne mallit jotka tulevat peruskoneen puomiin.

Kelaleikkurin hyvä puoli on se, että se murskaa vesakot erittäin tehokkaasti. Vasaramaisten terien ansiosta vesakko kasvaa hitaasti murskatulle alueelle. Kelaleikkurin murskauskela painetaan miltei maahan asti ja tällä saadaan lyhyt leikkauspituus. Kelalta vaaditaan suuri pyörimisnopeus, koska vasaroita on rajallinen määrä. Leikkuri on kuitenkin turvallinen, koska murskaussuunta on alaspäin. Kelaleikkuri soveltuu hyvin kaikenlaiseen vesakonhoitoon.



**Kuva 2. Pyöriväteräinen leikkuri [3]**

Pyöriväteräisiä leikkureita on pääsääntöisesti kahta erimallia: sirkkeliteräisiä ja teräketjullisia. Kuvassa 2 olevassa leikkurissa on sirkkeliterä. Vaakatasossa pyörivä terä on erittäin herkkä kiville. Ne tylsyttävät leikkuuterän ja jopa rikkovat sen. Terän tylsyminen onkin laitteen suurin ongelma, vaikka terä on helposti teroitettavissa. Yleensä terä on pyritty suojaamaan esimerkiksi sitä ympäröivällä kehikolla tai vastaavalla suojalla. Leikkuri on kevyt ja konstruktioltaan yksinkertainen, joten sen yhteensopivuus erilaisten puomien kanssa on hyvä. Konstruktionsa vuoksi leikkurissa on kuitenkin vaara-alue, koska teräsuoja ei voi olla yhtenäinen. Leikkurin työleveys on kapea, mikä mahdollistaa tarkan raivauksen. Leikkuri onkin hyvä taimikonhoitoon, ajourien avaukseen, uudistusalojen raivauksiin sekä teiden ja voimalinjoiden raivaukseen. Leikkaavan terän ansiosta leikkurilla voidaan leikata paksua puuta.



**Kuva 3. Saksileikkuri [4]**

Saksileikkuri toimii nimensä mukaisesti kuten sakset (kuva 3) eli leikkurin toiminta perustuu edestakaisin liikkuviin leikkuuteriin. Puu jää terien väliin ja leikkaantuu poikki terien puristuksessa. Leikkurilla voidaan tehdä kahta erilaista raivausta. Sillä voi joko leikata suurelta alueelta paljon pieniä puita, jolloin raivaus on nopeaa. Leikkurilla voi myös leikata kerralla muutamaa paksua puuta, jolloin raivaus on hitaampaa. Saksileikkurilla saadaan siis joko hyvä raivausnopeus tai leikkuupaksuus. Sen huono puoli on kapea työskentelyleveys. Saksileikkuri soveltuu hyvin tarkkuutta vaativaan raivaukseen ja taimikonhoitoon, muttei täysraivaukseen. Leikkaavan raivaustyylin vuoksi saksileikkuri on ainoa leikkurityyppi, joka ei lennätkiä kiviä eikä muuta leikkuujätettä ympäristöön. Leikkuri on myös erittäin hiljainen.

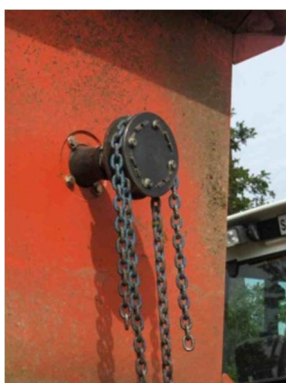
Lautasleikkurin on rakenteeltaan suurehko lautanen, johon kiinnittyvät leikkuulaipat. Monesti leikkuupalat teroitetaan, jotta saavutetaan parempi katkaisuteho. Palat kiinnitetään lautaseen esim. pulttiliitoksella. Tämä mahdollistaa nopean teränvaihdon. Pulttiliitoksen ansiosta leikkuupala kääntyy sisään osuessaan kiveen tai muuhun kovaan aineeseen.





Lautasleikkurilla saavutetaan yleensä kapeahko työleveys. Laite on konstruktioltaan yksinkertainen, minkä vuoksi se on kevyt ja soveltuu monille peruskoneille. Leikkurilla on suuri vaara-alue kuitenkin, jos se on kuvan 4 mukainen eli siinä ei ole suojarakennetta joka puolella. Lautasleikkuri soveltuu hyvin vesakonhoitoon, ja sen kapeahkon työleveyden vuoksi sillä voi tehdä tarkkuuttakin vaativia raivauksia.

**Kuva 4. Leikkuri pyörivällä lautasella [5]**



**Kuva 5. Kettinkileikkuri [6]**

Kettinkileikkurissa on vaakatasossa pyörivät kettingit, jotka hakkaavat vesakon poikki (kuva 5). Kettinkileikkurin hyvät puolet ovat leikkuuterän eli kettingin halpuus ja sen moottorilta vaaditaan pienempi pyörimisnopeus kuin lautasleikkurissa. Kettinkien pituuden mukaan kettingin kärjen nopeus voi olla hyvinkin suuri. Kettingin katkeaminen on otettava huomioon, ettei katkennut kettingin osa lennä ympäristöön. Leikkuria on olemassa omalla puomilla varustettuna tai maataloustraktorin perälaitteeseen kiinnitettävänä. Leikkurille ominaista on suuri leikkuuleveys

ja moottorin pyörimisnopeuden mukaan suurikin leikkuupaksuus.

Leikkaustyylillä valittaessa tuli ottaa huomioon leikkurille annetut lähtötiedot.

Lähtötiedot on esitelty luvussa 4. Tärkeimmät lähtötiedot ovat leikkurin massa ja sen työleveys. Kelaleikkuri jätetään pois vertailusta tässä työssä sen suuren painon vuoksi. Terä- sekä saksileikkuri jätetään pois pienen työleveyden ja siksi, että ne soveltuvat raivaustyyliltään paremmin taimikonhoitoon kuin täysraivaukseen. Lautasleikkurissa on myös liian kapea leikkuuleveys, joten se ei sovellu leikkuumekanismiksi. Tosin lautasta isontamalla työleveyttäkin voidaan kasvattaa, mutta suuren lautasen hallinta voi olla ongelmallista. Lautasleikkurissa on myös se ongelma, että leikkuupaloja on oltava varalta raivauksessa mukana mahdollisen terärikon vuoksi.

Leikkurityypiksi valittiin siis kettinkileikkuri. Pääsyinä valintaa on kettingin halpuus ja sen vaihtamisen helppous. Kettinkileikkurin leikkuupaksuutta voidaan myös helposti lisätä liittämällä kettinginpäähän leikkuupala. Leikkurilla saadaan myös hyvä leikkuuleveys ilman, että leikkurin paino kohoaa liikaa.

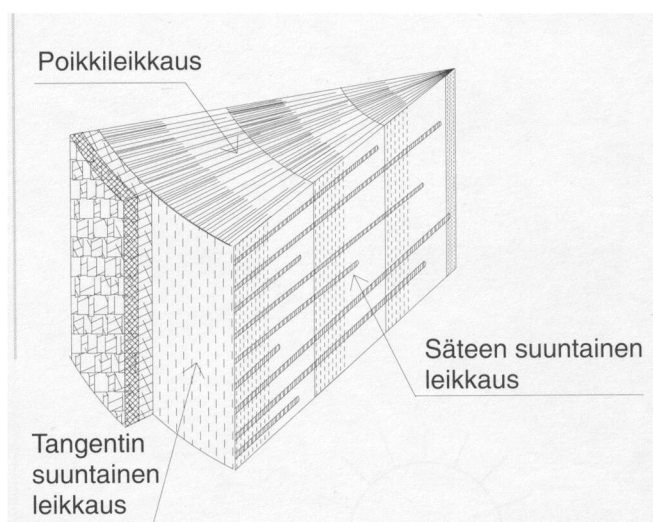
### 3 PUUN TEORIAA

Luvuissa 3.1–3.4 käsitellään puun lujuusominaisuuksia ja puun lujuutta lyhytaikaisessa kuormituksessa, koska puu katkaistaan nopealla iskumaisella kuormituksella.

Sanalla puu on monta merkitystä. Ensinnäkin puu on monivuotinen, puuvarsinen kasvi. Toiseksi puu on kappale puuta, kokonaisesta puusta irrotettu kappale. Kolmanneksi puu on puuainetta. Se käsitetään ehyeksi solukoksi tai soluseinämien rakennusaineeksi. Tässä työssä puulla tarkoitetaan monivuotista, puuvartista kasvia. Tyypillistä puulle on kuitenkin se, että sen soluseinät sisältävät ligniiniä. Ligniini erottaa kasvitieteessä puuvartistet kasvit ruohovartistista. [7, s. 18.]

#### 3.1 Puun lujuusominaisuudet

Lujuudella tarkoitetaan kappaleen tai aineen kykyä vastustaa siihen vaikuttavaa kokoa tai muotoa muuttavia voimia. Mikäli ulkoiset voimat kappaleeseen tai aineeseen lakkaavat, kappaleen tai aineen sisäiset voimat palauttavat kappaleen tai aineen aikaisemman koon tai muodon. Tällainen kappale tai aine on kimmoisa eli elastinen. Kimmokerroin on yleisimmin käytetty elastinen kerroin. Kimmokerroin tunnetaan myös termeillä kimmomoduuli, elastisuusmoduuli ja Youngin moduuli. Se kuvaa kappaleen venymistä, kun siihen kohdistuu venyttävä voima. Puun kimmomoduuli on erilainen syiden, säteen ja tangentin suunnassa, kun taas esimerkiksi teräs on yhtä kimmoisaa kaikkiin suuntiin. Kuvassa 6 on esitetty puun leikkauspinnat. Kuvassa oleva poikkileikkaus tarkoittaa syiden suuntaista leikkausta.



**Kuva 6. Puun leikkauspinnat [8, s.10]**

Syiden suuntainen kimmomoduuli on havupuilla 41–122-kertainen ja lehtipuilla 12–62-kertainen säteen suuntaiseen kimmomoduuliin verrattuna, säteen suuntainen kimmomoduuli on puolestaan 1,5-6-kertaa tangentin suuntaista kimmomoduulia suurempi. [7, s. 215–218]

**Taulukko 1. Syiden suuntainen kimmomoduuli ilmakeivana. Puulajien kimmomoduuli on mitattu kaikissa tapauksissa taivutuksesta, jolloin se on noin 10 % todellista pienempi. Alimpana vertailukohteena teräs. [7, s. 218]**

| Puulaji        | Kimmomoduuli MPa  |
|----------------|-------------------|
| Kontortamänty  | 9 200             |
| Palsamipihta   | 10 000            |
| Lännenhemlocki | 11 300            |
| Mänty          | 12 700            |
| Haapa          | 13 500            |
| Kuusi          | 13 700            |
| Koivu          | 15 100            |
| Teräs          | 210 000 (210 GPa) |

Taulukossa 1 on listattu eri puulajien kimmomoduuleja yleiskuvan antamiseksi. Alimpana on vertailukohteena teräs. Taulukosta selviää, että puulajit ovat terästä huomattavasti heikompia.

### 3.2 Puun lujuus lyhytaikaisessa kuormituksessa

Jo 1900-luvun alusta asti on tiedetty, että lujuuskokeista saatavat tiedot riippuvat kuormitusnopeudesta. Lujuusomaisuuksia, jotka saadaan kuormittamalla puukappaletta nopeasti, on alettu kutsua dynaamisiksi lujuusominaisuuksiksi. Termi ei ole onnistunut, sillä lujuusopissa dynaamisella kuormituksella tarkoitetaan vaihtelevaa kuormitusta, jolloin myös aineen väsyminen otetaan huomioon. Tämän vuoksi onkin aiheellista käyttää esimerkiksi termiä puun lujuus lyhytaikaisessa kuormituksessa. [7, s. 232.]

Määritettäessä puun lujuutta lyhytaikaisessa kuormituksessa eniten käytetty määrittäminen menetelmä on iskutaivutuskoe. Kokeessa puuhun vaikuttava voima on heilurivasara tai putoava massa. Iskutaivutuslujuutta kuvataan tavallisesti sillä energialla, jonka kappale absorboi, toisin sanoen kuinka suuri työmäärä tarvitaan puukappaleen murtamiseen. [7, s. 233.]

Toinen tapa kuvata iskutaivutuslujuutta on mitata matka, jonka heilurivasara kulkee murrettuaan puukappaleen. Mitä pitempi matka sitä vähemmän energiaa on kulunut kappaleen murtamiseen. [7, s. 233.]

Iskutaivutuskoetta tehtäessä näytteen suorasyisyys on tärkeä seikka, sillä syiden suunta vaikuttaa tuloksiin erittäin paljon. Tulosten vaihtelut samalla puulajilla ovatkin suuret, sillä pienet näytteet ovat vain harvoin täysin suorasyisiä. Iskutaivutuslujuus vaihtelee muita lujuusominaisuuksia enemmän mitattaessa tietyn puulajin ominaisuuksia. Tulosten hajontaa lisää vielä iskutaivutuskokeen herkkyys puun rakenteen vaihteluille kuten laholle, sinistymiselle, kemialliselle käsittelylle ja luonnossa syntyneille soluseinämän vaurioille. [7, s. 233.]

Iskutaivutuslujuutta on tutkittu paljon sahatulle ja muuten käsitellyllä puulle, koska tietoja käytetään rakennustekniikassa. Tuoreelle puulle tehdyt tutkimuksia on kuitenkin vähän, vaikkakin ne ovat tärkeitä koneellistetussa iskumaisessa puunkorjuu- ja käsittelytekniikassa.

## **Taulukko 2. Suomalaisten puulajien iskutaivutuslujuus tuoreena sulassa (+18 C) ja jäätyneessä (-18 C) tilassa [9]**

| Puulaji     | kuiva-tuoretiheys kg/m <sup>3</sup> | Iskutaivutuslujuus kJ/m <sup>2</sup> |          |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------|
|             |                                     | Sula                                 | Jäätynyt |
| Mänty       | 455                                 | 120,0                                | 52,2     |
| Kuusi       | 497                                 | 171,6                                | 95,5     |
| Koivu       | 440                                 | 145,4                                | 110,3    |
| Harmaaleppä | 364                                 | 107,8                                | 61,9     |
| Haapa       | 357                                 | 82,1                                 | 74,1     |
| Kataja      | 585                                 | 156,9                                | 69,4     |

Taulukossa 2 on tutkimustulokset iskutaivutuslujuuksista suomalaisten puulajien ollessa tuoreena. Tutkimus tehtiin tuoreisiin, kuorimattomiin pieniläpimittaisiin puukeppeihin. Aineistoja tutkimuksessa oli kaksi, sula ja jäätynyt puutavara. Testattavien puukeppien pituus oli 300 mm ja paksuus pituuden puolivälissä oli 15...35 mm. Iskutaivutuslujuus määritettiin kyseissä tutkimuksissa sen mukaan kuinka paljon murrettava kappale absorboi heilurivasaran liike-energiasta. Tutkimuksessa käytetty heilurivasara oli massaltaan 8 kg, heilahduskorkeus oli 1 200 mm ja käytettävissä ollut energia 100 J. Määritys tehtiin ISO-standardin 3348 mukaisesti. Taulukossa 2 olevista tuloksista havaitaan, että kovin puulaji sulana on

kuusi ja jäätyneenä koivu. Heikoin puolestaan sulana oli haapa ja jäätyneenä mänty. Puulajien jäädyttäminen alensi kaikkien puulajien iskutaivutuslujuutta. [9]

**Taulukko 3. Suomalaisten puulajien iskutaivutuslujuus tuoreena sulassa (+20 C) ja jäätyneessä (-20 C) tilassa [7, 234]**

| Puulaji | kuiva-tuoretiheys kg/m <sup>3</sup> | Iskutaivutuslujuus kJ/m <sup>2</sup> |          |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------|
|         |                                     | Sula                                 | Jäätynyt |
| Mänty   | 342                                 | 30,1                                 | 27,7     |
| Kuusi   | 355                                 | 38,9                                 | 34,1     |
| Leppä   | 352                                 | 43,9                                 | 34,1     |
| Haapa   | 355                                 | 53,1                                 | 46,2     |
| Koivu   | 441                                 | 63,8                                 | 61,1     |

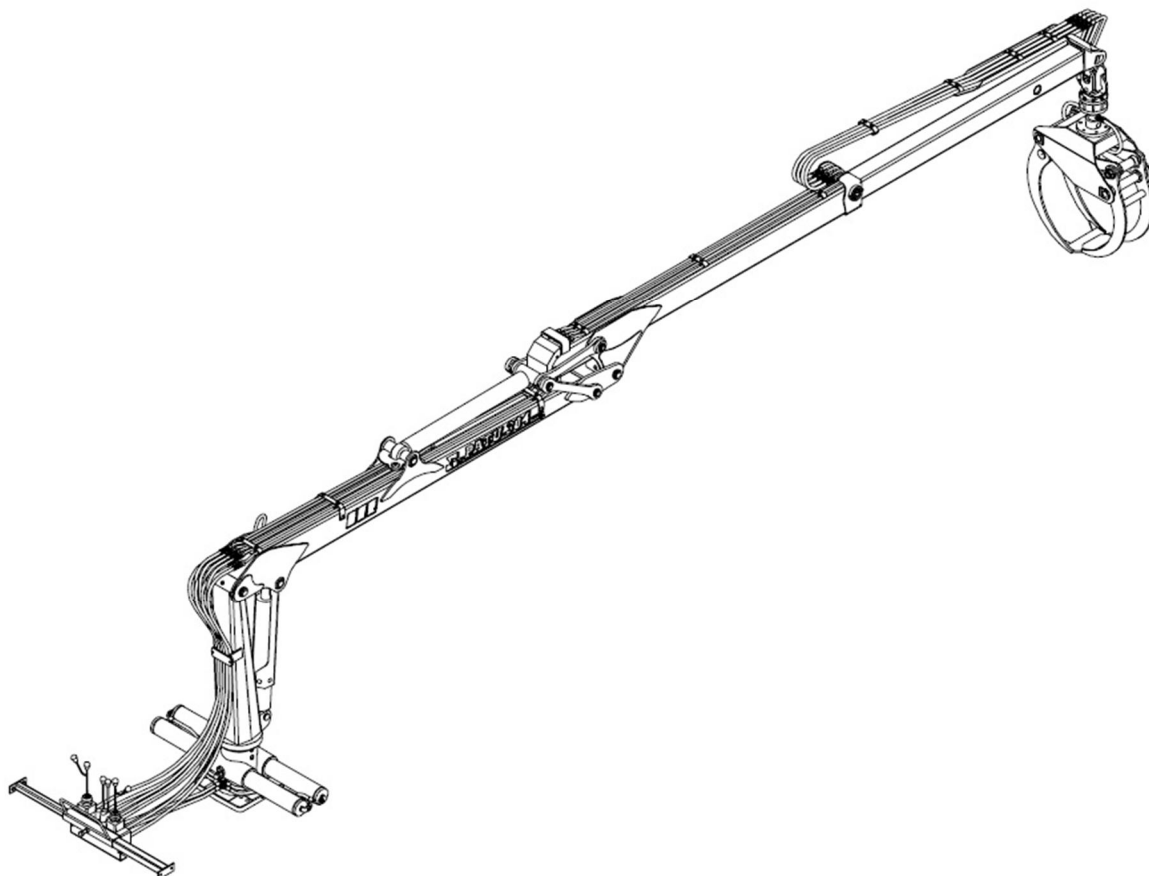
Taulukossa 3 on toisen suomalaisten puulajien iskutaivutuslujuus (tuoreena) tutkimuksen tulokset, testimateriaali sulana ja jäätyneenä. Vertailemalla taulukkoja 2 ja 3 huomataan kuinka, suuri vaikutus puun kuiva-tuoretiheydellä on puun iskutaivutuslujuuteen. Kuiva-tuoretiheys lasketaan kaavan 1 mukaisesti,

$$r_{0,g} = R = \frac{m_0}{V_g} \quad (1)$$

jossa  $r_{0,g}$  on yhtä kuin  $R$  eli kuiva-tuoretiheys,  $m_0$  on puun massa kuivana ja  $V_g$  on tilavuus puun syiden kyllästymispistettä korkeammassa kosteudessa [7, s.139]. Puun syiden kyllästymispisteellä tarkoitetaan sitä maksimaalista kosteussuhdetta, jonka puu voi saavuttaa vesihöyrystä jossakin lämpötilassa suhteellisen höyrynpaineen ollessa 1 [7, s.177].

## 4 SUUNNITELUN LÄHTÖTIEDOT

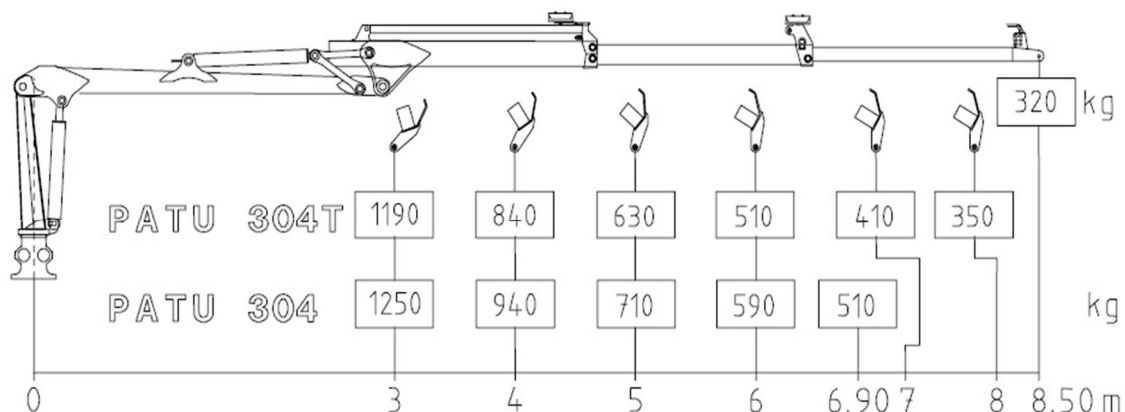
Vesakon leikkuupään suunnittelun ensisijaisena käyttölaitteena on puutavarakuormain Kesla Patu 304T (kuva 7). Puutavarakuormaimesta otetaan vesakon leikkuripään käyttöä varten koura pois, kuitenkin rotaattori jätetään paikoilleen. Rotaattori onkin välikappale leikkurin ja puutavarakuormaimen välillä. Rotaattorista toinen tehtävä leikkurikäytössä on leikkurin kääntäminen. Ilman rotaattoria leikkuriin tulisi suunnitella erillinen kääntömekanismi.



**Kuva 7. Kesla Patu 304T [10]**

Vaatumuksena leikkurille on kallistus, joka on erittäin käytännöllinen ajettaessa tienvarsia ja muita kaltevia pintoja. Puutavarakuormaimen hydraulikka yhdistetään leikkurin kallistukseen.

Lisäksi huomioitava on Patu 304T:n nostovoima. Kuormaimen maksimiulottuvuus on 8,5 m, jossa nostovoima on 320 kg. Juuri Patu 304T:n nostovoima on suunnittelun ensisijainen raja-arvo. Kuvassa 8 esitettyyn nostovoimaan on ilmoitettu siten, että koura olisi paikoillaan. Koura, rotaattori ja kouran liitin painavat 143 kg [10,s. 76]. Leikkuripään tavoite maksimipainoksi asetettiin 300 kg. Leikkuripään kevyt paino mahdollistaisi sen käytön myös pienemmissä puutavarakuormaimissa ja muissa nostopuomeissa.



**Kuva 8. Kesla Patu 304T:n ulottuvuus ja lastauspainot [10, s. 67]**

Vesakon leikkuripäälle määriteltiin minimileikkausleveys, joka on 1,4 m. Leikkurilla olisi hyvä saada leikattua ojanpiennar yhdellä yliajo kerralla, tämän pohjalta alustavaksi työleveydeksi määritettiin 1,5 m. Leikattavan puun paksuun määritettiin, ja minimissään 50 mm paksu puu tulee mennä leikkurilla poikki. Leikkurilta ei kuitenkaan vaadita, että puu menee yhdellä iskulla poikki, vaan puu voidaan hakata poikki. Hakkaamalla vesakot murskaantuvat ja kuolevat kuivumalla, mikä hidastaa niiden uudelleen kasvua.

Vesakon leikkuripää tulisi olla käytettävissä mahdollisimman monilla peruskoneilla. Sen vuoksi siihen suunnitellaan myös yleiskiinnitysmahdollisuus muita työkoneita varten. Yleiskiinnitys suunnitellaan kuitenkin ideatasolla, koska kiinnike tulee olemaan työkoneessa olevan kiinnikkeen vastapala ja työkoneessa oleva kiinnike on konekohtainen. Yleiskonekiinnikkeen suunnittelu on siis turhaa suunnitella ennen kuin työkoneen kiinnikkeen mittatiedot tiedetään.

## 5 RUNKO

Leikkurin rungon tehtävä on mahdollistaa leikkurin osien ja kokonaisuuksien kiinnittäminen sekä estää leikkuujätteen ja muun maasta irtoavan materiaalin leviäminen. Runko koostuu kahdesta eri kokonaisuudesta: putki- ja peltirungosta.

### 5.1 Putkirunko

Putkirungon valinta alkoi profiilin valinnasta. Profiiliksi valittiin neliö rakenneputki. Valinnan syynä oli putkiprofiilin yksinkertainen muoto, joka mahdollistaa siihen hitsauksen helposti. Rakenneputkella on myös hyvät lujuusominaisuudet, mikä takaa rakenteen kestävyuden ja keveyden. Putkirungoksi valittiin Ruukin EN 10219 -rakenneputki. Rakenneputken teräsmateriaali on S355J2.

**Taulukko 4. EN 10219 -rakenneputkien ominaisuuksia [11, s.5].**

| Korkeus<br><i>mm</i> | Leveys<br><i>mm</i> | Seinämän<br>paksuus<br><i>mm</i> | Paino<br><i>kg/m</i> | Neliömomentti<br><i>mm<sup>4</sup></i><br><i>x10<sup>4</sup></i> | Taivutusvastus<br><i>mm<sup>3</sup></i><br><i>x10<sup>3</sup></i> |
|----------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------|--|---|
| 40                   | 40                  | 3                                | 3,30                 | 9,32   | 4,66  |
| 50                   | 50                  | 3                                | 4,25                 | 19,47  | 7,79  |
| 60                   | 60                  | 3                                | 5,19                 | 31,13  | 11,71   |
| 70                   | 70                  | 3                                | 6,13                 | 57,53  | 16,44   |
| 80                   | 80                  | 3                                | 7,07                 | 87,84  | 21,96   |

Taulukossa 4 on 3 mm paksuisten rakenneputkien ominaisuuksia. Vertailemalla arvoja huomataan painon ja neliömomentin kasvut, jotka ovat runkoa suunniteltaessa tärkeimmät arvot. Rakenneputkien massa ei saa kohota liikaa, jotta laitteesta ei tule liian raskas, mutta rakenneputken tulee pitää leikkurin rakenne koossa. Sopiva profiilikoko saadaan laskemalla rakenneputkelle aiheutuva taipuma. Palkille tuleva kuorma voidaan ajatella tasaisena kuormana. Laitteen kokonaispaino tavoitteena on 300 kg. Alustavaksi työleveydeksi määritettiin 1,5 m. Putkirunko on kuitenkin leveämpi kuin työleveys, ja rakenneputkea laitetaan leikkuriin 1,62 m:n verran. Kokeillaan profiilia 60 x 60 x 3. Taipuma voidaan laskea kaavan 2 alulla,

$$v_{max} = v\left(\frac{1}{2}L\right) = \frac{5q_0L^4}{384EI} \quad (2)$$

jossa  $q_0$  on tasainen kuorma,  $L$  on rakenneputken kokonaispituus,  $E$  on materiaalin kimmomoduuli ja  $I$  on profiilin neliömomentti. Sijoittamalla saadaan

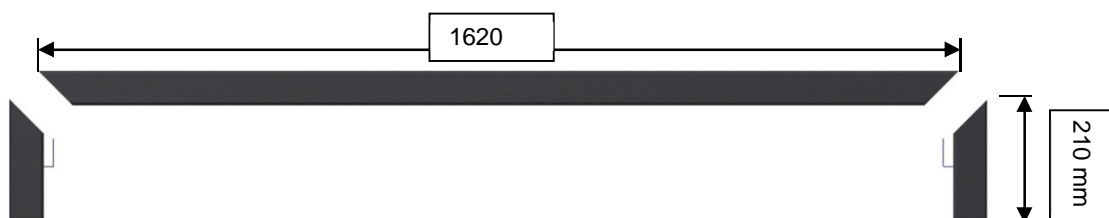


$$v_{max} = \frac{5 * 1,875 \frac{N}{mm} * (1620mm)^4}{384 * 210000 \frac{N}{mm^2} * 31,13 * 10^4 mm^4} = 2,57mm \approx 2,6mm$$

Suurin sallittu taipuma saa olla kaavan 3 mukainen

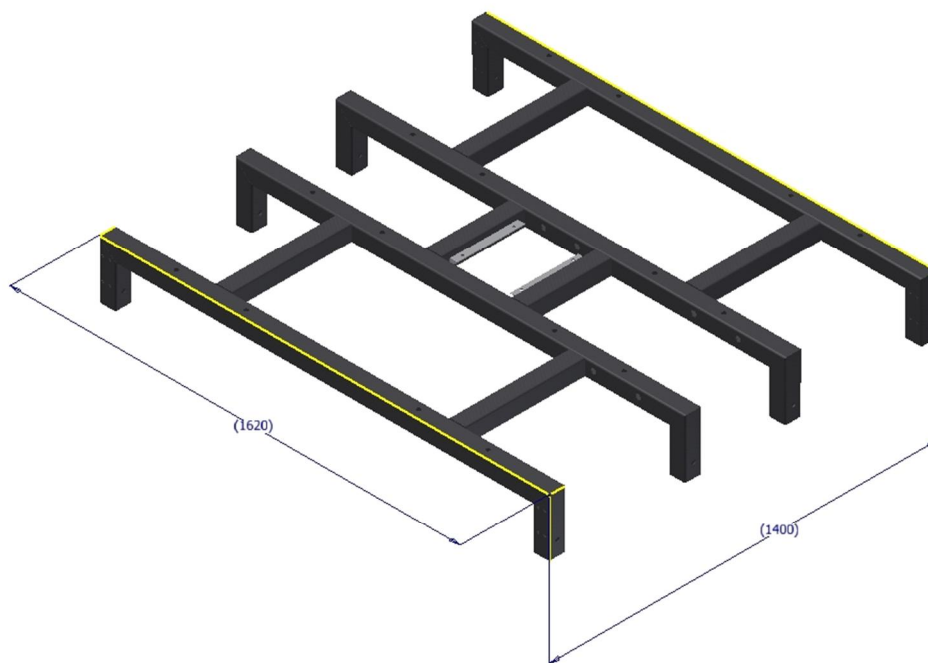
$$\frac{L}{250} = \frac{1620mm}{250} = 6,48mm \approx 6,5mm \quad (3)$$

Profiili 60 x 60 x 3 on selvästi sallitun taipuman sisällä, mutta koska rakenneputkiin kohdistuu väsyttävää ja sysäyksellistä kuormitusta, valitaan suuri profiili lisävarmuuden tuomiseksi. Suuren profiilin valinnan syynä on myös se, että rakenneputkea työstetään, joka heikentää rakenneputken lujuusominaisuuksia.



### Kuva 9. Rakenneputkikokoonpano

Putkirunko muodostuu neljästä 1,62 m pitkästä rakenneputkesta, joihin hitsataan 210 mm pitkät jalat. Rakenne on esitetty kuvassa 4. Putkirungon sisään jää 1500 mm x 150mm alue. 1,62 m palkkien väliin tulee 430 mm ja 300 mm pitkät putket, jotka tulevat kuvan 10 mukaisesti.



**Kuva 10. Putkirunko**

Kuvasta 10 huomataan, että keskellä laitella on kaksi pienempää rautaa. Nämä ovat kulmaraudat moottorin kiinnitystä varten.

## 5.2 Levyrunko

Laitteen leikatessa tulee jotenkin varmistaa, ettei leikkujäte ja muu leikkaamisessa irtoava materiaali lennä ympäriinsä ja vaurioita lähellä sijaitsevaa omaisuutta tai henkilöstöä. Tämä varmistetaan tekemällä putkirungon alle suojaava runko levystä. Levyrunko jäykistää myös rakennetta kun se yhdistetään putkirunkoon.

Levyrunoksi valittiin Ruukin kuumavalssattua teräsnauhalevyä. Nauhalevy on teräslajiltaan Multisteel, joka soveltuu siirto- ja kuljetuslaitteiden, maatalouskoneiden ja murskaimien rungoksi. Teräsmateriaali on S355K2 N, materiaalin hitsattavuus on erinomainen kaikilla hitsausmenetelmillä ja muovausominaisuudet ovat pitkälle kehitetyt. Multisteel:n mekaaniset ominaisuudet on esitelty taulukossa 5.

**Taulukko 5. Multisteel mekaaniset ominaisuudet [12]**

| Myötölujuus $R_{eH}$ N/mm <sup>2</sup><br>Paksuus mm | Murtolujuus $R_m$ N/mm <sup>2</sup><br>Paksuus mm |         | Murtovenymä $A_5$ %<br>Poikittain vähintään<br>Paksuus mm |
|--|---|---------|---|
| 2-16   | 2-(3)   | 3-100   | 2-40  |
| 355  | 510–680   | 470–600 | 20  |

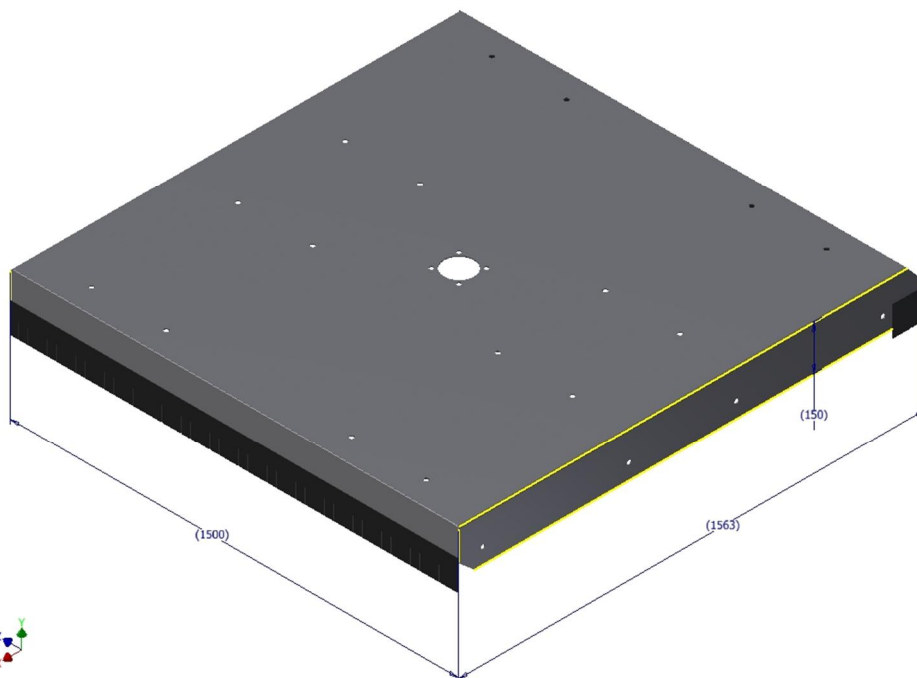
Levyrunko ottaa vastaan kaiken leikkurin lennättämän leikkuujätteen ja maasta irtoavan materiaalin, joten siltä vaaditaan kulutuskestävyyttä. Levyrunгон sisäpinnalle laitetaan lisävarmisteeksi kumimatto, jota käsitellään tarkemmin luvussa 5.3.

Levyrunгон mitoitus alkaa valitsemalla levyn paksuus. Koska laitteen sisäpinnalla on kulutusta ehkäisevä kumimatto, voidaan levyn paksuus optimoida mahdollisimman pieneksi. Laitteeseen kuluu levyä paljon, joten levyn paksuus on merkittävä massan nostaja. Taulukossa 6 esitetään Multisteel saatavuus, jonka perusteella levyn paksuus määritellään.

**Taulukko 6. Mitta-alueet kelat ja nauhalevyt [12]**

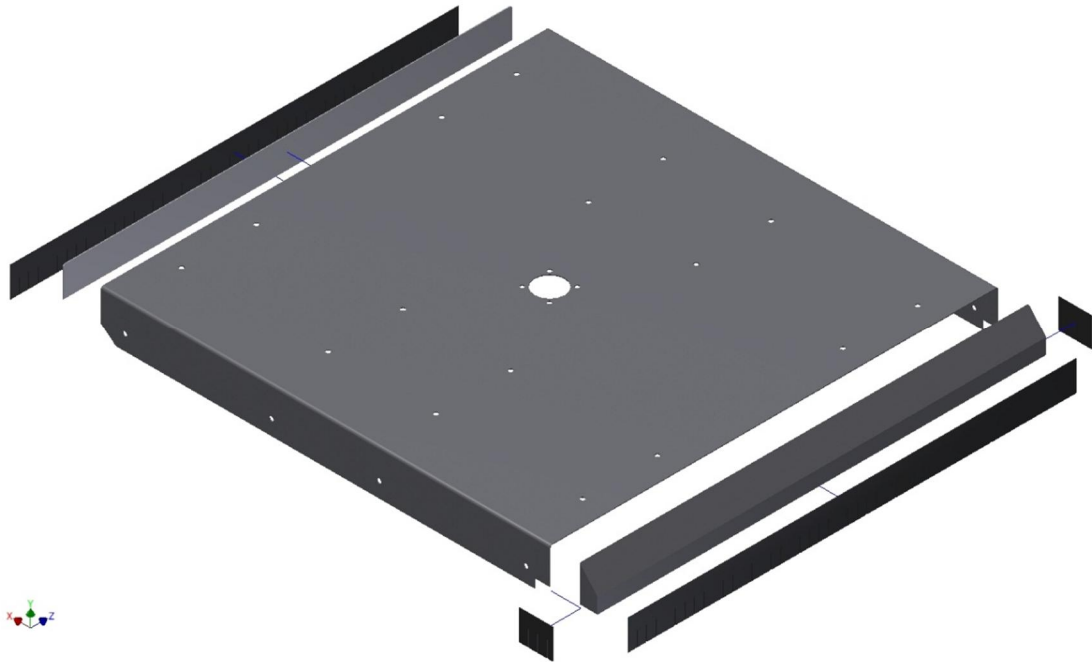
| Lujuusluokka $R_{eH}=355$ N/mm <sup>2</sup> |                  |                  |                  |                  |                  |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Paksuus mm                                  | Leveysalueet mm  |                  |                  |                  |                  |
|   | 1000–1224        | 1225–1325        | 1326–1474        | 1475–1600        | 1601–1860        |
| 2,00–2,019                                  | Enintään<br>1210 | -                | -                | -                | -                |
| 2,20–2,49                                   |                  | Enintään<br>1310 | -                | -                | -                |
| 2,50–2,99                                   |                  |                  | Enintään<br>1410 | -                | -                |
| 3,00–3,49                                   |                  |                  |                  | Enintään<br>1560 | -                |
| 3,50–3,99                                   |                  |                  |                  |                  | Enintään<br>1635 |
| 4,00–4,49                                   |                  |                  |                  |                  | Enintään<br>1685 |
| 4,50–4,74                                   |                  |                  |                  |                  | Enintään<br>1710 |

Laitteen tavoiteleikkuuleveys (1,5 m) määriteltiin luvussa 4. Levyä on saatavilla enintään 1 560, kun levyn paksuus on 3,00–3,49 välillä. Levyn paksuudeksi valitaan 3 mm, koska sillä paksuudella levyä saa tavoiteleikkuualueen leveydeltä.



**Kuva 11. Peltirungon päämitat**

Kuvassa 11 on esitetty peltirungon päämitat. Leikkuualueen peltirungon kokonaispituudeksi saadaan 1 563 mm ja leveydeksi 1 500 mm. Levyrunko koostuu kolmesta eri osasta. Isoin keskilevy on pituudeltaan 1 500 mm, jolloin taulukon 6 mukaisesti levyn koko riittää. Peltirungon osat on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 12. Peltirunko räjäytyskuva**

Laitteen molemmissa päissä on päätylevyt, jottei leikkuujäte pääse leviämään leikkuusuuntaisesti. Laitteen etupäässä on suora levy, kun taas takana on vino kokoonpano. Vinolla kokoonpanolla pyritään siihen, että kun leikkuujäte lentää vinoon levyyn, se ohjautuu alaspäin. Vino kokoonpano tehdään hitsaamalla. Rungon päälevy, keskellä oleva suuri levy, tehdään yhdestä levystä. Jalkaosat tehdään särmäämällä päälevyä. Jalkaosat estävät jätteen leviämisen leikkaussuunnan vastaisesti. Särmäämisessä noudatetaan taulukon 7 mukaisia Multisteel annettuja särmäyssuosituksia.

**Taulukko 7. Taivutussuositus kaikissa suunnissa [12]**

| Paksuus mm                                   |         |       |       |       |
|--|---------|-------|-------|-------|
| 2-2,5  | (2,5)-3 | (3)-4 | (4)-5 | (5)-6 |
| Pienin sallittu sisäpuolinen taivutussäde mm |         |       |       |       |
| 4  | 5       | 6     | 8     | 10    |

Laitteessa on myös lisäsuojat kumimatosta, koska leikkuusuuntaiset päädyt eivät ulotu maahan asti. Jos päädyt ulottuisivat maahan, leikattava materiaali ei pääsisi sisään leikkuriin. Lisäsuojilla parannetaan laitteen turvallisuutta, sillä jos lisäsuojia ei olisi, leikkuujäte voisi lentää päätylevyjen alta ulos laitteesta. Kumimattoon liittyviä lisätietoja on seuraavassa luvussa 5.3.

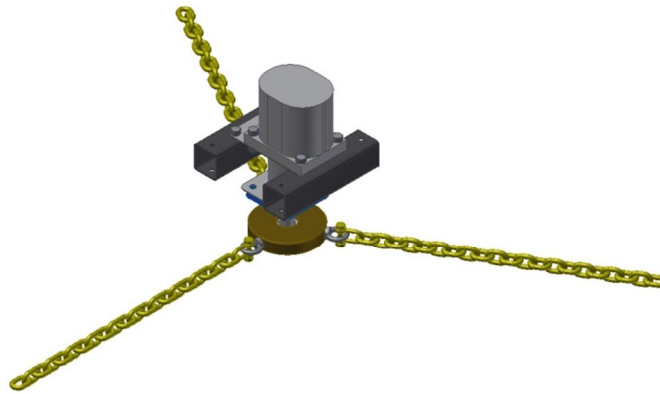
### 5.3 Kumi

Lisäsuojaksi leikkurin päihin tehdään levyt kumista. Nämä estävät leikkuujätteen ja kivien tms. lentämisen ulos leikkurista. Samaa kumia laitetaan leikkurin levyjen sisäpintaan; tällä pyritään lisäämään leikkurin levyosien ikää. Kumit vähentävät myös leikkurin painoa, sillä levyosien ei tarvitse olla niin paksuja kuin kumilevytön. Leikkuria voidaan pitää melko äänekkään, kun kivet ja muu leikkuujäte lentää peltilevyyn. Kumilevyillä vähennetään myös äänekkyyttä kumin vaimentaessa iskuja.

Kumilevyiltä vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä sekä sen tulee sietää bensiiniä ja öljyä. Kumilevyksi valitaan Teknikum Oy:n bensiinin- ja öljynkestävä kumilevy nitrilikumilevy 4630. Kyseinen kumi kestää hyvin öljyjä, happoja ja emäksiä ja on kulutuskestävyydeltään hyvä. Sitä käytetäänkin mm. työkoneiden ja maatalouskoneiden roiskesuojina ja tiivisteinä. Laatua 4630 suositellaan vaativiin kohteisiin. Kumi on myös helposti työstettävää ja liimattavaa, mikä helpottaa sen esivalmistelua ja asennusta. Alustavasti valitaan kumilevyn paksuudeksi 2 mm. Tällöin kumi painaa noin  $2,7 \text{ kg/m}^2$ . [10, s.6.]

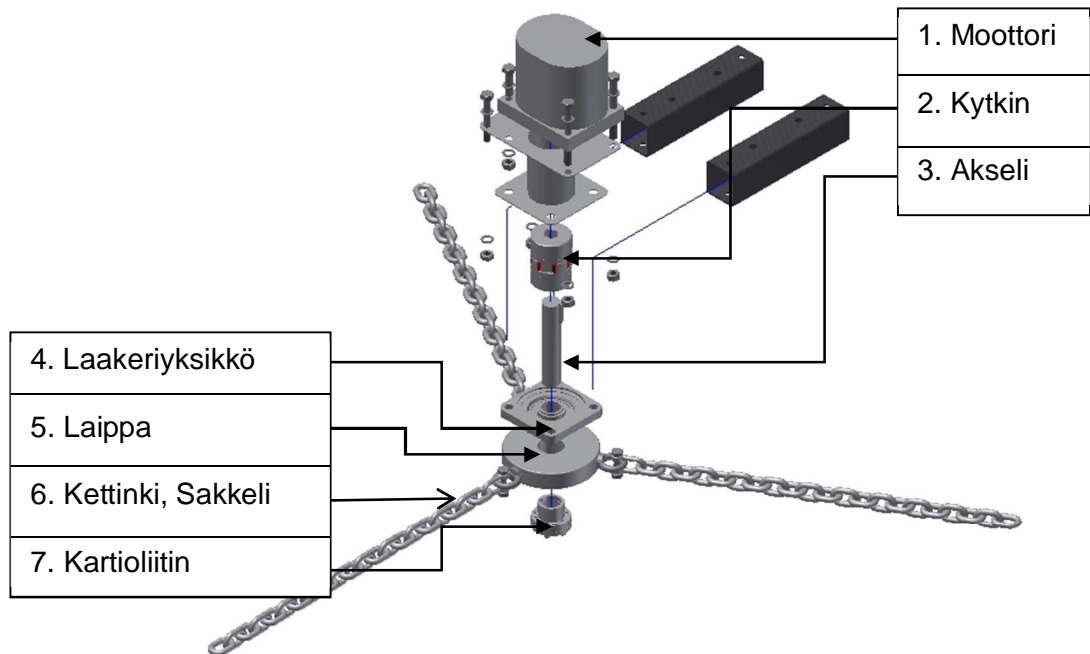
## 6 LEIKKAAMISTO

Leikkaamiston tehtävänä vesakonleikkuupäässä on leikata vesakot. Leikkaaminen tapahtuu kolmella ketjulla. Kettinkien määräksi valittiin pariton määrä, koska pariton määrä ei resonoi niin helposti kuin parillinen. Kuvassa 13 on leikkaamiston kokoonpano.



**Kuva 13. Leikkaamisto**

Leikkaamisto tullaan kokoamaan seuraavasti: kytkin voidaan purkaa kolmeen osaa, kahteen yhdenmuotoisella kynnellä varustettuun puoliskoon ja joustoelementtiin. Moottoriin kiinnitetään kytkimen yläosa, kaksi palkkia ruuviliitoksella ja hitsattu kokoonpano, jossa on akselin suojaputki ja kiinnityslevyt molemmissa päissä. Tämä kokoonpano kiinnitetään putkirungossa oleviin L-rautoihin. Kartioliittimellä kiilataan akseli ja laippa yhteen. Kytkimen alaosa kiinnitetään akseliin ja laakeri kiinnitetään akselille oikeaan kohtaan. Kytkimen joustoelementti voi olla kummassa kytkimen puolikkaassa tahansa; kun joustoelementti on asetettu jompaankumpaan kytkimen puoliskoon, leikkaamiston puolikkaat laitetaan kohdilleen ja laakeriyksikkö kiinnitetään levyrunkoon.



**Kuva 14. Leikkaamisto räjäytyskuva**

Kuvassa 14 on räjäytyskuva leikkaamistosta. Kuvassa on kaikki osat, jotka eriteltty luvuissa 6.1–6.6.

### 6.1 Moottori

Moottorin valinta alkoi valitsemalla moottorin käyttöenergia. Moottorina voi toimia poltto-, sähkö- tai hydraulimoottori. Peruskoneet, joissa vesakonleikkuripäätä käytetään, ovat työkoneita, joista löytyy laaja hydraulilaitteisto. Tähän olemassa olevaan hydraulikkaan on helppo lisätä hydraulimoottori. Leikkuria käytetään ympäristössä, jos voi olla paljonkin kosteutta. Sähkömoottori ei sovellu parhaiten tällaiseen ympäristöön. Polttomoottori voisi toimia leikkurissa, mutta se tarvitsee joko oman polttoainesäiliön tai sitten polttoaine tulisi vetää peruskoneen polttoainesäiliöstä. Erillisen polttomoottorin tekeminen toisi leikkuriin tarpeetonta monimutkaisuutta kun peruskone tuottaa hydraulikkaa, joka voidaan hyödyntää leikkurissa. Erillisen polttomoottorin asettaminen leikkuriin siis ei ole järkevää.

Moottorin tärkein ominaisuus on sen pyörimisnopeus. Leikkuripään leikkausteho perustuu moottorin pyörimisnopeuteen. Moottorin pyörittämät kettingit eivät vaadi paljoa vääntöä, vaan pyörimisnopeus on pääominaisuus. Moottorin pyörimisnopeus lasketaan kaavalla 4.



$$v_{ketju} = 2\pi nr \Rightarrow n = \frac{v_{ketju}}{2\pi r_{ketju}} \quad (4)$$

jossa  $v_{ketju}$  on kettingin nopeus ja  $r_{ketju}$  on kettingin pituus. Moottori mitoitettiin sen mukaan, miten kova nopeus kettingillä tulee olla, jotta se murtaa puun. Kettingin nopeus lasketaan hyödyntäen etenemisen liike-energian laskukaavaa. Liike-energian laskukaava on esitetty kaavassa 5.

$$E_k = \frac{1}{2} * m_{ketju} * v_{ketju}^2 \Rightarrow v_{ketju} = \sqrt{\left(\frac{2 * E_k}{m_{ketju}}\right)} \quad (5)$$

Etenemisen liike-energia on sama energia kuin puun kestävä iskutaivutuslujuus kerrottuna puun leikkauspinta-alalla (kaava 6).

$$E_k = A_{puu} * I_{itl} = r_{puu}^2 * \pi * I_{itl} \quad (6)$$

Suurin suomalaisen puun, kuusen, iskutaivutuslujuus saadaan taulukosta 2 (sivu 13). Kuusen iskutaivutuslujuus on  $I_{itl} = 171,6 \text{ KJ/m}^2$ . Laskuissa käytetään kuitenkin arvoa  $I_{itl} = 175 \text{ KJ/m}^2$ . Leikkaava osa kettingistä on sen pää, koska iskeytyessään puuta vastaan kettinki antaa periksi ja vain kettingin pään massa toimii leikkaavana elementtinä. Kettingin leikkaavan osan arvioitu massa on  $m_{ketju} = 0,1 \text{ kg}$ . Kettingin kokonaispituus on  $r_{ketju} = 0,61 \text{ m}$ . Moottorilta vaadittava pyörimisnopeus on laskettu taulukossa 8.

### Taulukko 8. Moottorin pyörimisnopeus

| Iskutaivutuslujuus $\text{J/m}^2$ |                                   | Ketjun massa kg           |                      | Ketjun pituus m              |                              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| 175000                            |                                   | 0,1                       |                      | 0,61                         |                              |
| Puun säde m                       | Leikattava pinta-ala $\text{m}^2$ | Tarvittava energiamäärä J | Kettingin nopeus m/s | Kettingin pyörimisnopeus 1/s | Moottorin pyörimisnopeus rpm |
| 0,025                             | 0,00196                           | 343,61                    | 82,90                | 21,63                        | 1298                         |
| 0,030                             | 0,00283                           | 494,80                    | 99,48                | 25,95                        | 1557                         |
| 0,035                             | 0,00385                           | 673,48                    | 116,06               | 30,28                        | 1817                         |
| 0,040                             | 0,00503                           | 879,65                    | 132,64               | 34,61                        | 2076                         |
| 0,045                             | 0,00636                           | 1113,30                   | 149,22               | 38,93                        | 2336                         |
| 0,050                             | 0,00785                           | 1374,45                   | 165,80               | 43,26                        | 2595                         |

Taulukossa 8 esitetyt moottorin pyörimisnopeudet on laskettu siten, että puu menee yhdellä lyönnillä poikki. Kettingin ei kuitenkaan tarvitse katkaista puuta yhdellä iskulla, vaan on parempi, jos kettinki murskaa puun säleiksi. Vaadittava pyörimisnopeus on siis pienempi kuin laskettu pyörimisnopeus. Taulukon 8 arvoja käytetään lähtökohtaisina ja suuntaa antavina tietoina.

Leikkurissa on kolme leikkaavaa kettinkiä. Taulukossa 8 lasketut pyörimisnopeudet vastaavat siis sitä pyörimisnopeutta, jolloin leikkurissa olisi vain yksi leikuukettinki. Taulukon 8 arvot voidaan siis jakaa kolmella, jotta saadaan vaadittu pyörimisnopeus kolmella leikuukettingillä.

Moottorin valinta aloitettiin selvittämällä moottorilta vaadittava kierrostitavuus. Kierrostitavuus voidaan laskea kaavalla 7 [14, s. 6]

$$Q = \frac{V \cdot n \cdot 10^{-3}}{\eta_v} \Rightarrow V = \frac{Q \cdot \eta_v}{n \cdot 10^{-3}} \quad (7)$$

jossa  $Q$  on tilavuusvirta,  $V$  moottorin kierrostitavuus ja  $\eta_v$  on volymetrinen hyötysuhde. Casappa Polaris –moottoreille volymetrinen hyötysuhde on 0,96 [14, s. 6]. Laskentakaava on saatu Casappa Polaris -moottoriluettelosta. Taulukossa 9 on laskennan tulokset.

**Taulukko 9. Pyörimisnopeuden ja kierrostitavuuden suhde**

| Pyörimisnopeus rpm | Kierrostitavuus<br>cm <sup>3</sup> /rev |
|--------------------|---|
| 600                | 80,0                                    |
| 650                | 73,8                                    |
| 700                | 68,6                                    |
| 750                | 64,0                                    |
| 800                | 60,0                                    |
| 850                | 56,5                                    |
| 900                | 53,3                                    |
| 950                | 50,5                                    |
| 1000               | 48,0                                    |
| 1050               | 45,7                                    |

Laskennassa pyörimisnopeutena käytettiin taulukossa 9 olevia arvoja ja tilavuusvirtana käytettiin 50 l/min. Moottorin valinnassa otettiin huomioon moottorin saatavuus, hinta, vakio-osien yhteensopivuus ja moottorin yleisominaisuudet. Moottoriksi valittiin Casappa Polaris -hammaspyörämoottori. Moottorin koon valinnan perustana oli taulukoissa 9 ja 10 esitettyjen arvojen vertailu.

#### Taulukko 10. Casappa Polaris -moottorien yleistiedot [14, s.5]

| Tyyppi   | Kierrostilavuus<br>cm <sup>3</sup> /rev | Maksimi jatkuva<br>paine | Maksimi<br>pyörimisnopeus<br>1/min |
|----------|---|--------------------------|------------------------------------|
| PL 30–43 | 43,98                                   | 230                      | 3000                               |
| PL 30–51 | 51,83                                   | 210                      | 2500                               |
| PL 30–61 | 61,26                                   | 190                      | 2500                               |

Taulukkojen 9 ja 10 tietojen pohjalta moottoriksi valittiin PL 30–51. Moottorille saadaan pyörimisnopeudeksi noin 930 rpm, mikä vastaa hyvin vaadittua.

Moottorin vetoakseliksi valittiin suora-akseli, jossa on kiilauraliitos. Kiilauraliitos valittiin, koska se siirtää moottorin tuottaman momentin ja pyörimisnopeuden hyvin. Liitos on myös kestävä ja helppo valmistaa. Moottorin aluslaataksi valittiin suora eurooppalainen malli. Malli valittiin, koska laatalta ei vaadita muotoja ja moottorin pysyy leikkurissa hyvin kiinni neljällä pultilla.

## 6.2 Kytkin

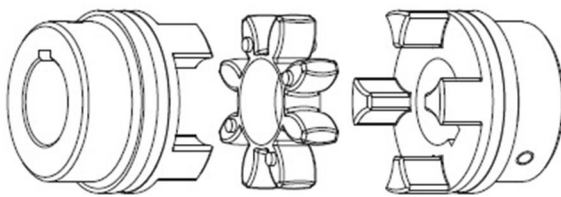
Leikattaessa moottorille tulee suuria sysäyksiä kettingeiltä. Moottori on leikkurin kriittinen osa, joten se tulee suojata sysäyksiltä. Moottori suojataan akselin ja moottorin liitoksella. Liitoksen valinta alkoi vaihtoehtojen vertailulla.

Yksi vaihtoehto olisi tehdä akselin ja moottorin välille hammasvaihde. Hammaspyörät ovat kuitenkin herkkiä sysäyksille. Niille pitäisi olla myös oma voitelu, mikä mutkistaisi rakennetta ja nostaisi turhaan laitteen painoa. Toinen vaihtoehto olisi tehdä ketju- tai hihnavälitys. Ketjuvälitys on kuitenkin myös herkkä sysäyksille eikä suojaisi moottoria vaadittavalla tavalla. Hammasvaihde ja ketjuvälitys eivät suojaisi moottoria myöskään millään lailla leikkuukettinkien jumiutuessa. Hihnavälityksessä on se hyvä puoli, että kettinkien juuttuessa hihna luistaa. Mikä kuitenkin todennäköisimmin polttaa hihnan ja se pitää vaihtaa. Hihna kuitenkin suojaaa moottoria hyvin sysäyksiltä. Pyrittäessä mahdollisimman yksinkertaiseen

rakenteeseen hihnavälityksestä luovuttiin. Jos leikkurissa olisi useampi ”leikkuripää”, olisi hihnavälitys valittu nopeuden siirtämiseen.

Pyörimisnopeuden välittäväksi osaksi valittiin vääntöjuostava kytkin. Vääntöjuostava kytkin siirtää pyörimisnopeuden tehokkaasti moottorilta akselille. Kytkin myös suojaa moottoria tehokkaasti sysäyksiltä.

Vääntöjuostavaksi kytkimeksi valittiin KTR Rotex. Vääntöjuostavien kytkimien hyviä puolia on myös rakennemittojen pienuus ja keveys sekä vähäinen hitausmomentti. Kytkimen rakenne on kuvassa 15, josta nähdään että rakenne on yksinkertainen.



**Kuva 15. KTR Rotex rakenne**

Kytkin soveltuu käynniltään epätasaisten voimakoneiden vääntömomentin siirtoon, missä käytössä tulee paljon vääntövärähtelyjä ja iskuja. Kytkin soveltuu siis erityisen hyvin leikkuriin, jossa ilman kytkintä leikkuukettingeiltä välittyisi iskuja moottorille. Rakenteeltaan kytkimessä on kaksi yhdenmuotoista kynsillä varustettua puoliskoja ja ne on suunniteltu siten, että puoliskojen väliin sijoitetaan evolventtihampainen joustoelementti. Joustoelementin tynnyrimäisiksi pyöristetyillä hampailla vältytään reunapaineen kohdistumiselta joustoelementtiin. Kytkin pystyy myös kompensoimaan akseleiden aksiaali-, radiaali- ja kulmapoikkeamat. [15, s.29]

### 6.3 Akseli

Akselia mitoittaessa tulee huomioida akselille välittyvät voimat, jotka ovat vääntömomentti ja pystysuuntainen voima. Vääntömomentin akselille aiheuttaa laippa ja kettingit, jotka pyörivät akselin kehän tangentin suuntaisesti. Akseli voidaan mitoittaa seuraavalla kaavalla

$$\tau_{vmax} = \frac{T}{W_v} \quad (8)$$

missä  $T$  on vääntömomentti ja  $W_v$  on vääntövastus. Vääntövastuksen laskentakaava on

$$W_V = \frac{\pi d^3}{16} \quad (9)$$

Sijoittamalla kaava 9 kaavaan 8, ja pyörittämällä saadaan

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * T}{\tau_{vmax} * \pi}} \quad (10)$$

Kaavaan 10 sijoitettavat arvot ovat  $\tau_{vmax}=18$  MPa [12, 327]. Vääntömomentti saadaan laskemalla momenttilaipalle ja -ketteille, ja laskemalla ne yhteen. Laippa aiheuttaa akselille 3,1 Nm:n ja kettingit aiheuttavat 27,7 Nm:n vääntömomentin, ja yhteensä vääntömomentti tulee 30,8 Nm. Laitteen käyttö on suhteellisen sysäyksellistä, sysäyksellisyydeksi asetetaan 2. Joten todelliseksi vääntömomentiksi saadaan 61,6 Nm. Sijoittamalla arvot kaavaan 10 saadaan,

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * 61600Nmm}{18MPa * \pi}} = 25,9 \text{ mm} \approx 26 \text{ mm}$$

Tarkastuksen vuoksi akselin halkaisija lasketaan myös kaavan 11 mukaisesti

$$d = 6,6 * \sqrt[3]{M_{tod}} = 6,6 * \sqrt[3]{T} = 6,6 * \sqrt[3]{61,6Nm} = 26,0 \text{ mm} \approx 26 \text{ mm} \quad (11)$$

Molemmilla laskutavoilla saatiin sama tulos, joten sitä voi pitää luotettavana. Akselin paksuudeksi valitaan 30mm.

Pystysuuntainen voima aiheutuu laipan ja ketjujen painosta. Ketjuja laitteessa on 3 kappaletta, ja niitä menee 610 mm/kappale. Kettingin paino- ja muut kettinkiin liittyvät tiedot on esitetty kappaleessa 6.5. Pystysuuntaista voimaa akselille aiheuttaa: laippa, kettingit ja mekaaninen kartioliitin. Näiden osien massat on taulukoitu taulukkoon 12, ja yhteensä niille tulee painoa 17,8 kg eli noin 20 kg. Osista tuleva paino on niin pieni, ettei se vaikuta akselin halkaisijan paksuuteen.

#### 6.4 Laakeri

Laakerointi tehdään SFK:n Y-laakeriyksiköllä. Laakeriyksiköksi valitaan FYJ 35 KF.

**Taulukko 11. FYJ 35 KF laakeriyksikön kuormitus- ja nopeusrajaukset [16]**

| Perus kuormaluokitus |               | Nopeuden raja |
|----------------------|---------------|---------------|
| Dynaaminen kN        | Staattinen kN | r/min         |
| 25,5                 | 15,3          | 5300          |

Valinnan perusteena toimii taulukon 11 ja 12 tiedot. Yksikkö sisältää Y-laakeripesän FYJ 507, Y-laakerin YSA 207-2FK ja sovitinkauluksesta H 2307. Y-laakeri tai Y-laakeriyksikön aksiaalikuorman kantokyky riippuu siitä miten se on kiinnitetty akseliin, ei niinkään niiden sisäistä rakenteesta. Y-laakeri ja Y-laakeriyksiköt, joissa on pidätinruuvi tai epäkesko pidätinkaulus maksimiakksiaalikuorma, joita ne pidättävät on noin 20 % perus kuormaluokituksesta jos kovettumatonta akselia on käytetty ja pidätinruuvi on asianmukaisesti kiristetty. Jos Y-laakeri on kiinnitetty sovitinkaulukseen, sen aksiaalikuorman kantokyky riippuu kiristysmomentista, jolla lukkomutteri on kiristetty. Jos seuraavaan momenttia on käytetty: YSA 207-2FK + HA 2307 Kiristysmomentti min. 27 Nm ja maks. 33 Nm, on aksiaalikuorman kantokyky 15 ja 20 % välissä perus kuormaluokituksesta [16, s. 55]. Taulukosta 12 saadaan laakerille tuleva aksiaalikuormitus, joka on todella pieni verrattaessa laakerin suurimpaan sallittuun kantokykyyn. [16, s. 34]

Vertailu on kaavassa 8

$$15\% * 15,3 \text{ kN} = 2295 \text{ N} \rightarrow \frac{2295 \text{ kgm/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 233,9 \text{ kg} \approx 235 \text{ kg} > 11 \text{ kg}$$

(8)

Kaavassa 8 käytetyt arvot on saatu taulukoista 11 ja 13.

### 6.5 Laippa, kettinki, sakkeli ja mekaaninen kartioliitin

Laipan tehtävänä on antaa pyörimisenergiaa, joka vähentää sysäyksistä aiheutuvaa nykimistä. Laippaan kiinnitetään nostokorvat, joihin puolestaan kiinnitetään kettingit sakkelin välityksellä. Sakkeli valittiin kiinnitysvälineeksi, koska se on halpa ja sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi kettingin vaihtaminen on helppoa ja nopeaa.

Leikkurissa käytettävän kettingin tulee olla kovapintaista, mutta toisaalta sen verran pehmeää, ettei se hajoa osuessaan kiviin ja muihin koviin esteisiin. Kettinkityyppiä ja sen pintakäsittelyä on vaikeaa tässä vaiheessa valita, koska lopullinen valinta tulee käyttökokemuksien ja testauksien pohjalta. Alustavasti kuitenkin valittiin mitoiltaan DIN 766:n mukainen kettinki. Kettingin tiedot on esitetty taulukossa 12. [17]

### Taulukko 12. DIN 766:n kettinkitiedot [17]

| Paino<br>kg/metri | d<br>mm | b<br>mm | t<br>mm |
|-------------------|---------|---------|---------|
| 2,25              | 10      | 34      | 28      |

Taulukossa 12 olevat merkit selvitetään kuvassa 16.



Kuva 16. Kettinki DIN 766 päämitat [17]

Kettingin pintakäsittelyksi valitaan kuumasinkitys. Kuumasinkityksellä saadaan kettिंगille korroosionkestävyys, hyvä kulutuskestävyys, katodinen suojaus ja mekaaninen kestävyys.

Laippa kiinnitetään akseliin mekaanisella kartioliitoksella. Mekaanisen kartioliitoksen hyviä puolia sen hyvä momentinsiirtokyky sekä se, keskittää akselin laippaan ja liitin on pieni kokoinen [18]. Muita vaihtoehtoja kiinnitystavaksi olisi ollut: puristus-, hitsaus- tai ruuviliitos. Puristus- ja hitsausliitos eivät sovellu sen vuoksi, että molemmissa akselin irrotettavuus ei ole mahdollista ilman toisen osan rikkomista ja näin ollen sen vaihtaminen ei onnistu kovinkaan helposti.

Taulukkoon 13 on tehty yhteenveto leikkaamiston osista, niiden määrästä sekä painosta.

Taulukko 13. Osien paino

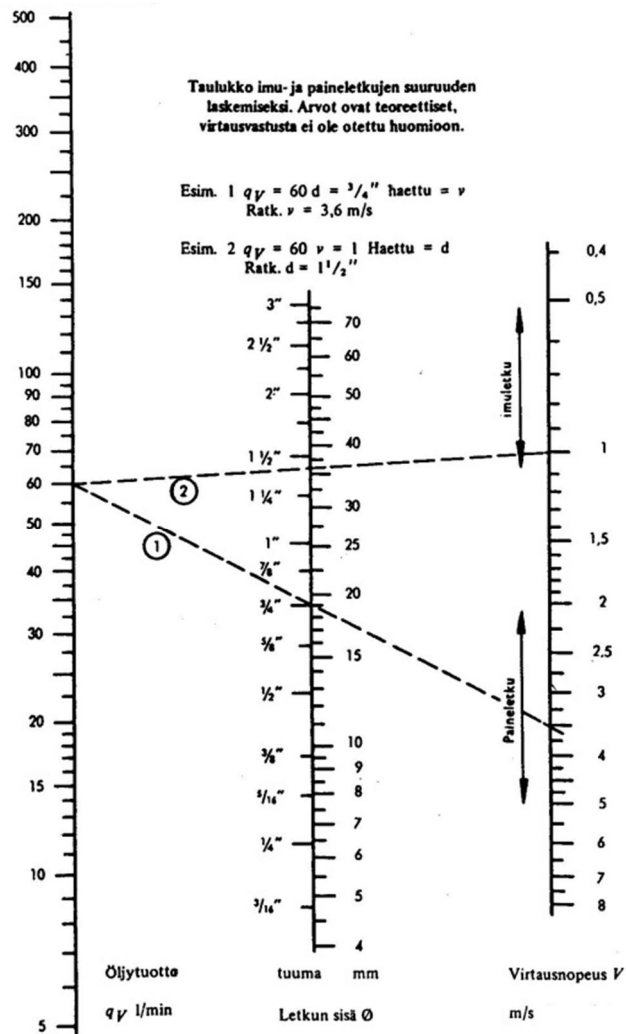
| Osa                                      | Määrä | Massa, yhteismassa         |
|--|-------|----------------------------|
| Laippa                                   | 1     | 4,2 kg                     |
| Kettinki                                 | 3     | 1,4 kg, 4,2 kg             |
| Sakkeli                                  | 3     | 0,2kg, 0,6 kg              |
| Mekaaninen kartioliitin                  | 1     | 0,4 kg                     |
| Akseli                                   | 1     | 1,0 kg                     |
| Kytkimen puolikas ja sen joustoelementti | 1     | 0,55 kg + 0,014 kg         |
|  |       | 10,96 kg $\approx$ 11,0 kg |

Taulukon 13 tietoja käytetään kaavassa 8.

## 6.6 Letkut

Moottorissa olevat sisään- ja ulosmenoportit ovat kooltaan 19 mm (0,7480 in) / 27 mm (1,0630 in) [14, s. 68,70]. Moottorille vaadittu tilavuusvirta arvioitiin 50:ksi l/min (ks. luku 6.1). Letkun koko määritettiin kuvan 17 mukaan.





**Kuva 17. Letkun koon määrittäminen.**

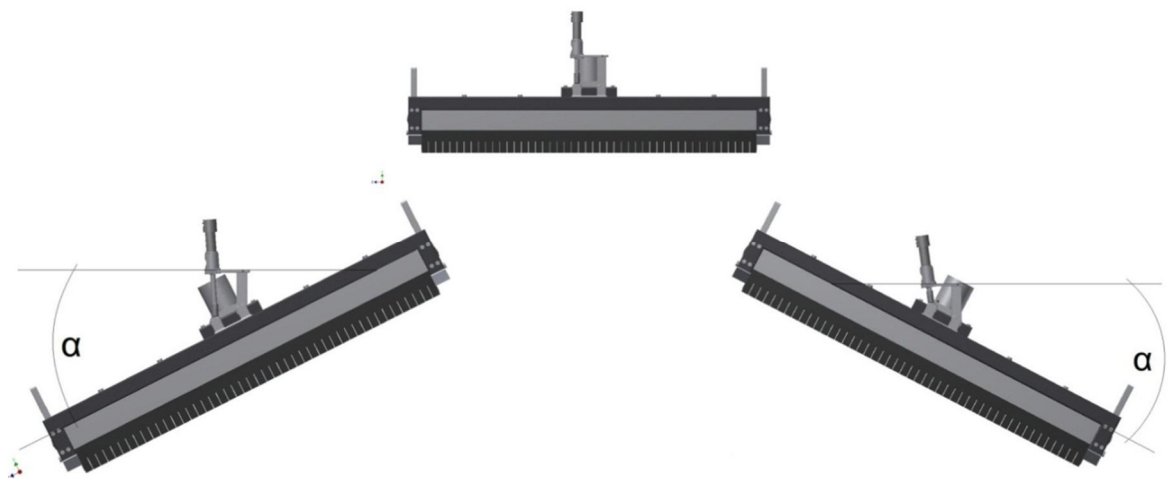
Virtausnopeudeksi painepuolen letkulle saadaan 3 m/s ja paluupuolelle saadaan 1,4 m/s. Virtaukset ovat suuruuksiltaan hyvät ja hyvin hallittavissa.

## 7 KALLISTUS

Kallistus on alkuperäiseltä idealtaan suunniteltu puutavarakuormainta tai vastaavaa puomia, jossa ei ole kallistusta. Leikkuria voi käyttää myös ilman kallistusta vetämällä sitä. Kallistus tuo kuitenkin lisäomaisuuden leikkuriin. Kallistuskäytössä puomille on tiettyjä suosituksia. Nämä suositukset eivät ole pakollisia, mutta ne takaavat kallistuksen toiminnan suunnitellusti. Jos puomissa on täysin vapaa liitos, leikkuri heiluu käytössä jonkin verran. Sen vuoksi suositus on, että puomissa on sellaiset liitokset, jotka sallivat vain leikkuusuuntaisen vapauden. Leikkuusuuntainen vapaus ei haittaa käytössä paljoa, koska leikkurissa on jalakset, jotka voivat olla maata vasten, kun leikkurilla leikataan. Jalaksista kerrotaan enemmän luvussa 8, kallistuksesta, sen kokoonpanosta ja toiminnasta kerrotaan enemmän seuraavissa luvuissa 7.1–7.3.

### 7.1 Kokoonpano

Kallistus pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena ja toimivana. Kallistus koostuu kiinnityslevystä, sylinteristä, sylinterin vastapalkista ja kiinnityslevystä leikkuriin. osia on vähän. Kokoonpano suunniteltiin siten, että leikkurin ollessa vaakatasossa sylinteri on puolessa iskussa. Sylinterin ollessa koko iskussa leikkuri kääntyy ääriasentoonsa, ja sylinterin ollessa iskutta leikkuri kääntyy toiseen ääriasentoonsa. Asia on havainnollistettu kuvassa 18. Kulma  $\alpha$  on molempiin suuntiin yhtä suuri, ja se on suurimmillaan noin  $30^\circ$ .



**Kuva 18. Sylinterillä suurin kallistus**

Sylinteriksi valittiin AHP-vakiosylinteri. Leikkurin kokonaismassan määritettiin 300 kg:ksi. Sylinterin männän halkaisijaksi valittiin siis 32 mm ja tangon halkaisijaksi 20 mm. Valituilla arvoilla sylinteri saa taulukon 14 mukaiset voimat eri paineilla.

**Taulukko 14. Sylinterin voima vetämällä ja työntämällä tietyllä paineella [19, s.7]**

| Paine, bar           | 50   | 80   | 100  |
|----------------------|------|------|------|
| Voima työntämällä, N | 4020 | 6432 | 8040 |
| Voima vetämällä, N   | 3015 | 4824 | 6030 |

50:tä baria pidetään minimipaineena, joka saadaan työkoneelta, todennäköisesti se on kuitenkin suurempi noin 150 baria. Minimipaineella sylinteri jaksaa kääntää leikkuria. Todellisuudessa voima on vielä pienempi, koska kallistus on sijoitettu leikkurin keskelle, joten käännettäessä vastapuoli toimii vastapainona keventäen toista puolta.

## 7.2 Sylinterin letkut

Hydrauliikka sylinterille otetaan puutavarakuormainkäytössä puutavarakuormaimen kouraa ohjaavista letkuista. Näin samalla kallistukselle on jo olemassa olevat ohjauslaitteet. Puutavarakuormain saa hydrauliikan peruskoneesta, ja puutavarakuormaimen maksimisuositus vaaditulle öljyntuotolle on 50 l/min [10, s. 32] Sylinterin sisään- ja ulosmenoportit ovat kooltaan 3/8". Näin ollen kuvan 17 mukaisesti paineletkun virtausnopeus kasvaa suureksi. Kuvassa ei kuitenkaan huomioida virtausvastusta. Peruskoneen öljyntuotto myös voi vaihdella paljon. Joten virtausnopeutta lasketaan kasvattamalla letkun kokoa. Valitaan letkuksi 1/2", jolloin virtausnopeudeksi saadaan 50 l/min noin 7 m/s, mikä on hyväksyttävä arvo paineletkulle.

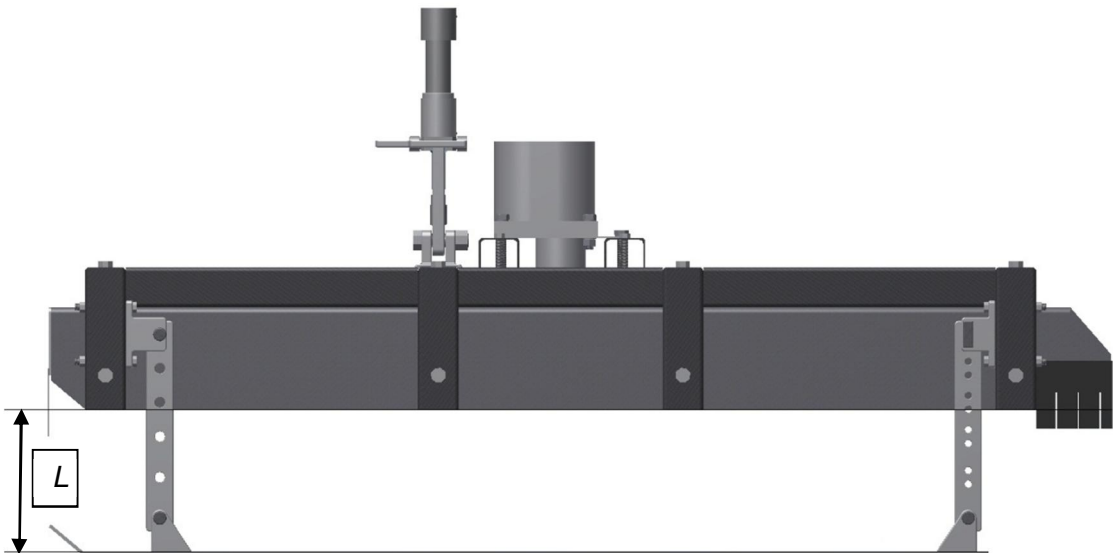
## 7.3 Kiinnitys puutavarakuormaimen

Leikkuri kiinnitetään puutavarakuormaimen Patu 304T-rotatorin kautta. Kuormaimessa on merkiltään FR 10-rotatori. FR10 kiinnitetään kouraan suoralla akselilla. Leikkurin kiinnitinlevyssä on samanlainen paikka kuin kourassa, joten rotatori sopii vesakon leikkurin yhdyskohdaksi. Työn tässä vaiheessa kiinnitinlevy on suunniteltu vain FR 10-rotatorille vaikka todellisuudessa se on kuitenkin aina laitekohtainen riippuen siis sitä käyttävästä laitteesta. [20, s. 3-4;68]

## 8 KANNATUS

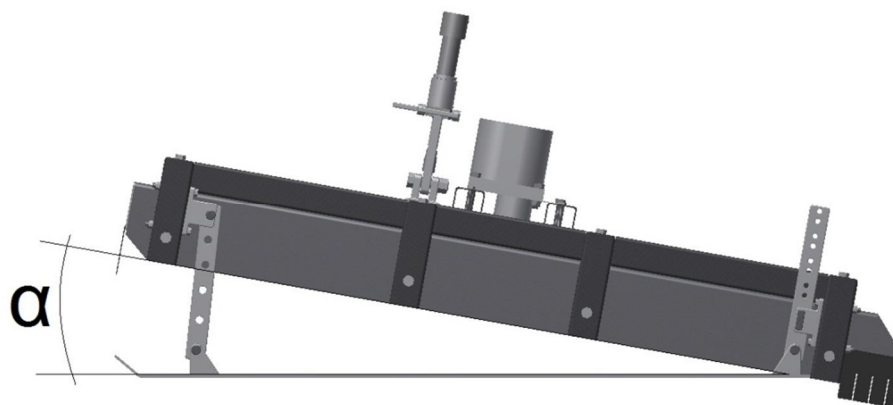
Kannatus on ensisijaisesti suunniteltu puutavaran kuormain käyttöön, koska kyseisissä käytössä osa laitteesta ottaa maahan kiinni. Tämä johtuu siitä, että puutavaran kuormaimessa on vapaa liitos ennen rotaattoria. Suositus kuormaimelle on, että liitos ei olisi täysin vapaa vaan, että se sallisi leikkuusuuntaisen liitoksen vapauden. Jos suositusta ei saavuteta, leikkuria vedetään, jolloin se on jalasten varassa. Ja vaikka suositus täytyisi, leikkuri heiluu leikkuusuunnassa.

Leikkurin käyttö pyritään kuitenkin vakauttamaan kannatuksilla. Leikkurin jalakset ovat palkkien varassa, joilla voi säätää leikkurin korkeutta maasta kuvan 19  $L$ . Mahdolliset korkeuden  $L$  arvot: 60 mm, 110 mm, 160 mm ja 210 mm.



**Kuva 19. Leikkuri korkeimmillaan.**

Kannatuksesta on hyötyä myös huollon yhteydessä. Ilman kannatuksen nostoa leikkuri on vain 150 mm korkea, mikä vaikeuttaa leikkurin alle pääsyä. Kuormaimen liitoksen vapauden vuoksi leikkuri kulkee keula ylhäällä ja perä todennäköisesti maassa. Varsinkin kivikkoisessa maastossa korkeuden säätö on hyvä, koska perän korkeutta maasta saadaan nostettua. Tämä vähentää kettinkien kulumista ja ylimääräisiä sysäyksiä moottorille.



**Kuva 20. Leikkuri kulmassa.**

Kannatus on suunniteltu siten, että se helpottaa laitteen vetämistä. Ja koska leikkuusuuntainen liitoksen vapaus sallitaan, kannatuksilla laite saadaan kulmaan, mikä vähentää leikkurin mahdollisuutta rynnätä maata vasten lennättäen maasta esimerkiksi kiviä ja muuta irtomateriaalia. Kuvassa 20 leikkuri on kulmassa.  $\alpha$  arvot ovat:  $3^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $8^\circ$  ja  $10^\circ$ .

## 9 YLEISKONEKIINNITYS

Vesakon leikkuripää pyrittiin suunnittelemaan monikäyttöiseksi.

Puutavarakuormainkiinnitys on Patu 304T:tä varten suunniteltu laitekohtainen ratkaisu, mutta leikkuria on tarkoitus käyttää myös muilla työkoneilla.

Lisäkiinnityksenä leikkuriin suunniteltiin yleiskonekiinnitys, joka sallii muiden työkoneiden käytön peruskoneina. Kiinnitys pyrittiin ideoimaan mahdollisimman yksinkertaiseksi ja toimivaksi.

Yleiskonekiinnityksen idean lähtökohtana on se, että leikkurin todennäköisin peruskone on kaivinkone ja takakuormaajalla varustetuissa traktori. Molemmissa työkoneissa kauhan kiinnitin on samalla idealla. Järkevintä on siis suunnitella leikkuriin alusta, joka toimii leikkurin ja peruskoneen kiinnittimen välisenä rajapintana. Leikkurin kiinnitin voidaan helposti vaihtaa alustaan peruskoneen vaihtuessa.

## 10 PAINOARVIO

Vesakon leikkuripään massa on ensisijaisen tärkeä leikkurin suunnittelussa. Massaksi asetettiin 300 kg. Mitä kevyempi leikkuri on, sitä monipuolisimmin se on käytettävissä työkoneilla. Keveydestä on myös se hyöty, että leikkurin käyttö ei rasita peruskonetta niin paljon ja muutenkin sen hallinta on helpompaa. Taulukkoon 15 on eritelty ja laskettu leikkurin paino.

**Taulukko 15. Osien paino**

| Osakokonaisuus | Osa   | Määrä                      | Määrä/paino            | Paino   |
|----------------|---|----------------------------|------------------------|---------|
| Putkirunko     |   |                            |                        |         |
|                | Rakenneputki<br>60x60x3                             | 10,5 m                     | 5,19 kg/m              | 54,5 kg |
|                | Kulmaraudat   | 3 erilaista                | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 5,4 kg  |
| Peltirunko     |   |                            |                        |         |
|                | Pääty   | 0,1 m x 1,5<br>m x 0,003 m | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 3,5 kg  |
|                | Iso levy  | 1,8 m x 1,5<br>m x 0,003 m | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 63,4 kg |
|                | Hitsattupääty                                       | 1 kpl                      | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 5,2 kg  |
|                | Kumi  | 2,8 m <sup>2</sup>         | 2,7 kg/m <sup>2</sup>  | 7,5 kg  |
| Leikkaamisto   |   |                            |                        |         |
|                | Moottori  | 1 kpl                      | 11,8 kg/kpl            | 11,8 kg |
|                | Kytkin  | 1 kpl                      | 1,11 kg/kpl            | 1,1 kg  |
|                | Akseli  | Ø 0,03m x<br>0,15 m        | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 1,0 kg  |
|                | Hitsattu akselin<br>suoja putki + sen<br>päätylevyt | 1 kpl                      | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 0,7 kg  |
|                | Laippa  | Ø 0,15 m x<br>0,03 m       | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 4,2 kg  |
|                | Kettinki  | 0,61 m x 3<br>kpl          | 2,25 kg/m              | 4,2 kg  |
|                | Sakkeli   | 3 kpl                      | 0,2 kg/kpl             | 0,6 kg  |
|                | Mekaaninen liitin                                   | 1 kpl                      | 0,4 kg/kpl             | 0,4 kg  |
| Kallistus      |   |                            |                        |         |

|               |              |       |                        |          |
|---------------|--------------|-------|------------------------|----------|
|               | Roottorilevy | 1 kpl | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 1,8 kg   |
|               | Leikkurilevy | 1 kpl | 7830 kg/m <sup>3</sup> | 1,7 kg   |
| Kannatus      |              | 2 kpl | 7,15 kg/kpl            | 14,3 kg  |
| Kokonaispaino |              |       |                        | 181,3 kg |

Taulukossa ei ole aivan kaikkia arvoja; muun muassa sylinterin, hitsien, pulttien, muttereiden ja letkujen painot puuttuvat. Tämä johtuu siitä, että näiden painoa on vaikeaa arvioida, koska niiden menekit ovat vielä epäselvät. Sylintereitä käytetään yksi, mutta AHP-katalogissa ei anneta sylintereiden painoja, koska ne kootaan erilaisista osista. Kun taulukon 15 laskettuun painoon lisätään puuttuvat osat, voidaan arvioida, että leikkuri tulee painamaan noin 200 kg. Maksimimassa leikkurille on 300 kg, joten maksimimassa alitetaan.



## 11 YHTEENVETO

Työn teko aloitettiin etsimällä jo olemassa olevia leikkureita. Vertailemalla niiden ominaisuuksia ja vaatimuksia pystyttiin määrittämään mikä olisi paras raivausmekanismi tälle vesakonleikkuripäälle. Raivausmekanismi on leikkurin keskeisin toimintaominaisuus, koska se määrittää leikkurin raivaustyylin. Raivaustyyliä ovat taimikonhoito, tarkkuus- ja täysraivaus.

Leikkureita on olemassa, mutta varsin suuri osa niistä on leikkurikokonaisuuksia. Ne sisältävät puomin tai varren ja itse leikkurin. Paljon puutavarakuormaimien sopivia leikkureita käytetään pääsääntöisesti taimikonhoitoon ja tarkkuusharvennukseen. Puutavarakuormainkäyttöiselle täysraivausleikkurille on siis tarvetta.

Suunnittelu eteni hyvin loogisesti, koska valinnat piti tehdä tietyssä järjestyksessä. Leikkurin suunnittelu oli hyvin paljon osien, komponenttien ja osakokoonpanojen vertailua ja valintaa. Tätä eri valmistajien välistä vertailua ei ole esitetty raportissa ollenkaan. Tuotteiden vertailua vaikeutti se, että alan yrityksiin oli vaikeaa saada yhteyttä. Leikkurin tavoitemassa vaikutti aluksi vaikeasti saavutettavalta, mutta massavaatimus toteutui.

Leikkurin suunnittelu on prototyypisuunnittelua. Tämän vuoksi komponentit ja tehdyt ratkaisut muuttuvat. Leikkurista ei ole tehty raportin kirjoitusvaiheessa prototyyppiä, mutta kun se on tehty, huomataan, minkälaisia lisäominaisuuksia leikkuriin halutaan. Tässä vaiheessa on huomattu jo, että kannatuksen ja kallistuksen tekeminen hydrauliseksi nopeuttaisi ja parantaisi leikkurilla leikkaamista. Myös anturi, joka tarkkailee leikkuupintaa, parantaisi leikkurin ajettavuutta varsinkin epätasaisessa maastossa.

Olen tyytyväinen työhön ja sen tuloksiin. Työ on ollut haastavaa, mutta samalla mielenkiintoista ja hyvin opettavaista. Näin suuren projektin hallinta tuotti ongelmia, minkä vuoksi aikataulu on venynyt.

## LÄHTEET

- 1 Pulkkinen, H. 2004. *Vesakonraivauspuomi*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Savonia-ammattikorkeakoulu, tuotantotekniikka. Opinnäytetyö.
- 2 Maatilan Pirkka. 2004. *Elholta uusi kone*. [verkkolehti]. [viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: [http://www.maatilan.pirkka.fi/mp1\\_04/otsikko17.htm](http://www.maatilan.pirkka.fi/mp1_04/otsikko17.htm).
- 3 Bracke Forest. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: <http://www.brackeforest.com/parser.php?did=344:2572>.
- 4 Metsäteho. 2010. *MenSe haastaa metsurin taimikossa*. [Verkkolehti]. [viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/tiedotteet/tiedote?id=17207192>.
- 5 Vama Product Oy. 2011. Yrityksen www-sivu. [31.3.2011]. Saatavissa: [http://www.vamaproduct.com/fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=47&Itemid=55](http://www.vamaproduct.com/fi/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=55).
- 6 Ymaatalous. 2011. [Verkkolehti]. [viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: [http://www.yrma.net/images/FM\\_ketju.JPG](http://www.yrma.net/images/FM_ketju.JPG).
- 7 Kärkkäinen, M. 2007. *Puun rakenne ja ominaisuudet*. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- 8 Kuikka, K. & Kunelius, K. 1993. *2 Puutekniikka Materiaalit*. Helsinki: Otava.
- 9 Kärkkäinen, M., Pietilä, J. & Vihola, R. 1985. *Suomalaisten puulajien iskutaivutuslujuus tuoreena*. [verkkodokumentti, PDF]. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/15434>.
- 10 Machineria. 2011. [verkkodokumentti, PDF]. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: [http://www.machinerie.com/ManuelOperateur/patu/chargeur/P304\\_P305ManuelOperateur.pdf](http://www.machinerie.com/ManuelOperateur/patu/chargeur/P304_P305ManuelOperateur.pdf).
- 11 Rautaruukki Oyj. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: [http://www3.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/E24952A2FFAD42DBC22577C7003DB64C/\\$File/Rakenneputket%20EN%2010219\\_TP%201%20%201%2010%202010\\_FI.pdf?openElement](http://www3.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/E24952A2FFAD42DBC22577C7003DB64C/$File/Rakenneputket%20EN%2010219_TP%201%20%201%2010%202010_FI.pdf?openElement).
- 12 Rautaruukki Oyj. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatuterakset/Rakenneterakset/Multisteel>.
- 13 Kumi & Matto Oy. 2011. Yrityksen www-sivu. [4.4.2011]. Saatavissa: <http://www.kumijamatto.fi/km/data/tuotteet/1238996502.pdf>.
- 14 Polaris PL 02 T A. Esite, PMC Polarteknik Oy Ab. [viitattu 14.2.2010].

- 15 KTR Finland Oy. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: [http://www.ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/fi/fi\\_gesamt/001\\_rotex\\_fi.pdf](http://www.ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/fi/fi_gesamt/001_rotex_fi.pdf).
- 16 Oy SKF Ab. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: <http://www.skf.com/files/058319.pdf>.
- 17 Hartketju Oy. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: <http://www.hartketju.fi/pdf/01-02%20Kettinki%20DIN%20766.pdf>.
- 18 Rinnspeann GmbH. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: [http://www.ringspeann.com/en/Products/Shaft-Hub-Connections/Produkte\\_355/?prdMNG=187&key=25&prd\\_catLoad=11](http://www.ringspeann.com/en/Products/Shaft-Hub-Connections/Produkte_355/?prdMNG=187&key=25&prd_catLoad=11).
- 19 AHP Merkle GmbH. 2011. Yrityksen www-sivu. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: [http://fi.ahp.de/uploads/media/standardzylinder\\_2006-12-13\\_12.pdf](http://fi.ahp.de/uploads/media/standardzylinder_2006-12-13_12.pdf).
- 20 Machineria. 2011. [verkkodokumentti, PDF]. [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa: [http://www.machinerie.com/PiecesCatalogue/patu/chargeur/304\\_305.pdf](http://www.machinerie.com/PiecesCatalogue/patu/chargeur/304_305.pdf).