

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Hans Kampe

## **Käpyjenkeruukone**

Opinnäytetyö 2014

## Tiivistelmä

Hans Kampe

Käpyjenkeruukone, 34 sivua, 5 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2014

Ohjaajat: lehtori Simo Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja

Seppo Mentula, Mense Oy

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin suunnittelemaan ja valmistamaan keruulaitteisto kuusen- ja männynkävyille. Työssä keskityttiin UPM:n keksimän keruumenetelmän kehittämiseen sekä sen pohjalta valmistetun prototyypin valmistamiseen ja kehittämiseen. Työn päämääränä ei ollut kehittää valmista kaupallista tuotetta, vaan selvittää menetelmän toimivuutta sekä kehitysmahdollisuuksia.

Työssä kehitettiin ja valmistettiin käpyjenkeruulaitteiston prototyyppi. Laitteiston toimintaa testattiin ympäristössä, johon se alun perin oli suunniteltu. Testitulosten perusteella laitteistoon tehtiin parannuksia, joita testattiin ja vertailtiin ensimmäisiin tuloksiin.

Lopuksi esitetään erilaisia ratkaisuja laitteiston parantamiseksi sekä pohditaan menetelmän kannattavuutta sekä kehitysmahdollisuuksia.

Asiasanat: käpy, keruu, koneellinen

## **Abstract**

Hans Kampe

Machine for collecting tree cones, 34 Pages, 5 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree programme in Mechanical Engineering and Production Technology

Production technology and maintenance

Bachelor's Thesis 2014

Instructors: Mr Simo Sinkko, Lecturer, Saimaa university of applied sciences, Mr Seppo Mentula, General manager, Mense Oy

The purpose of this thesis was to design and manufacture a device for collecting pine and spruce cones. This thesis focused on the collecting method developed by UPM and manufacturing a prototype based on it. This thesis also covers on developing the method and the prototype. The goal was not to archive a commercial device ready for the market, but to examine the functionality of the method and possibilities for refining it.

This thesis was carried out by developing and manufacturing a prototype of the machine. The prototype was tested in an environment that it was originally designed for. The device was improved based on the test results and tested again. The test result were compared to the earlier results.

At the end various suggestions were made to refine the method and device.

Keywords: cone, collecting, machinery

## Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Yritykset työn taustalla.....	7
2.1	UPM.....	7
2.2	Mense Oy.....	7
3	Laitteen toiminta ja vaatimukset.....	8
3.1	UPM:n alkuperäinen toimintaperiaate.....	8
3.2	Paranneltu toimintaperiaate.....	9
3.3	Toimintaperiaatteen alustava kokeilu.....	10
4	Laitteen toiminnot.....	11
5	Prototyyppi.....	12
5.1	Vaakapuomi.....	13
5.2	Pystypuomi.....	16
5.3	Kynsien toiminta.....	18
5.4	Kansi ja sen liikkeet.....	19
5.5	Keruukaukalo ja seula.....	20
5.6	Toimilaitteet.....	22
5.6.1	Kääntäjä ja kallistaja.....	22
5.6.2	Vaakapuomin teleskooppi.....	22
5.6.3	Keruulaitteen kansi.....	23
6	Laitteiston ensimmäinen testaus.....	24
7	Johtopäätökset.....	25
8	Laitteistoon tehdyt muutokset.....	26
8.1	Keruulaite.....	26
8.2	Pystypuomi.....	27
8.3	Rotaattori.....	27
8.4	Laitteiston ohjaus.....	28
9	Laitteiston toinen testaus.....	29
10	Yhteenveto.....	31
11	Pohdinta.....	32
	Lähteet.....	34

## Liitteet

Liite 1. UPM:n keksimä toimintaperiaate

Liite 2. UPM:n keksimä toimintaperiaate

Liite 3. Jousivoimataulukko

Liite 4. Laitteiston pääkokoonpano

Liite 5. Valokuvia laitteiston testaustilanteesta

# 1 Johdanto

Metsätaloudessa hyödynnetään runsaasti puiden siemeniä metsän viljelyssä. Erityisesti männyn viljely on yleistä ja täten siementen kulutus runsasta. Havupuiden viljelyyn käytettäviä siemeniä saadaan yksinomaan kävyistä eikä käpyjen keruuseen ole olemassa tehokasta menetelmää. Käpyjä kerätään metsähakkuilla kaadettujen puiden oksista ja latvoista sekä siemenviljelyksillä kasvatetuista jalostetuista puista keräämällä. Siemenet viljellään taimitarhoilla ja valmiit taimet myydään metsänomistajille tai urakoitsijoille viljeltäviksi. Siemenet voidaan myös kylvää suoraan metsään.(1.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää laitteisto koneelliseen kuusen- ja männynkäpyjen keräämiseen pystypuiden oksista ja latvuksista erityisesti siemenviljelyksiltä. Käpyjen keruuseen on olemassa laitteita, joissa kaadetun puun latva vedetään kampamaisen osan läpi, joka irrottaa kävyt. Menetelmä soveltuu kuitenkin lähinnä vain kuusille, sillä sen kävyt sijaitsevat latvassa lähellä toisiaan. Menetelmä ei myöskään sovellu pystypuille.(1.)

Siemenviljelyksillä käpyjä kerätään esimerkiksi siirrettävän henkilönostimen avulla, jossa käpysäiliö on korin alapuolella. Tällöin käpyjen kerääjän seistessä käpysäiliön päällä voi kerääjän jalkineiden mukana joutua käpysäiliöön homeitä sisältävää maata. Lisäksi oksat, sammal ja muut epäpuhtaudet edistävät homeen kasvua ja heikentävät täten siementen säilyvyyttä.(1.)

Tässä työssä ei pyritä tekemään valmista kaupallista tuotetta markkinoille, sillä kyseistä laitetta eikä sitä vastaavia tuotteita ole tehty. Tästä syystä koneen toiminta käytännössä sekä sen osien käyttäytyminen todellisessa tilanteessa jää erittäin karkeiden arvioiden varaan. Jotta laitteesta saadaan tehokas ja taloudellinen, tulee sitä kehittää useiden kokeilujen ja käytännön kokemusten perusteella. Tämän työn tavoitteena onkin kehittää käpyjenkeräyslaitteen toimintaperiaatetta, suunnitella ja valmistaa prototyyppi tarvittavine toimilaitteineen ja toimintoineen, testata sitä sekä pohtia testien perusteella parempia ratkaisuja laitteeseen.

## **2 Yritykset työn taustalla**

Tämä opinnäytetyö tehtiin UPM-Kymmene Oyj:n (jatkossa UPM) ja Mense oy:n (jatkossa Mense) kanssa yhteistyössä. Tässä osassa esitellään yritykset sekä kerrotaan yritysten asemasta projektissa ja vaikutuksesta opinnäytetyön tekemisessä.

### **2.1 UPM**

UPM on yksi maailman johtavista metsäteollisuuden toimijoista, joka sai alkunsa vuonna 1995, kun Kymmene Oy, Repola Oy sekä Yhtyneet paperitehtaat Oy ilmoittivat yhdistymisestään. UPM:llä on pitkät perinteet suomalaisessa metsäteollisuudessa. Konsernin ensimmäiset puuhiomot ja paperitehtaat sekä sahalaitokset käynnistyivät 1870-luvun alkupuolella. Nykyinen UPM-konserni koostuu noin sadasta aikoinaan itsenäisenä yrityksenä toimineesta yhtiöstä. (2.)

Nykyisin UPM:llä on useita eri liiketoiminta-alueita kuten paperi ja sellu (3). Yksi UPM:n liiketoiminnoista on taimien viljely. UPM viljelee puuntuotantoon jalostettujen puiden taimia, joita varten UPM viljelee myös siemenkäpyjä. UPM on investoinut siemenkäpyjen koneelliseen keräämiseen erityisesti siemenviljelyksiltä (1).

### **2.2 Mense Oy**

Mense Oy on Luumäen Taavetissa toimiva, mekaanisia puunkorjuulaitteita ja uusia ratkaisuja ja innovaatioita kehittävä yritys. Yritys on perustettu vuonna 1996. Mense suunnittelee, valmistaa ja myy puunsyöttörullia metsäkoneiden harvesteripäihin, raivauspäitä ja raivauslisälaitteita, letkukiinnitystarvikkeita sekä säiliöjärjestelmiä. Mense Oy tekee myös alihankintatöitä kuten suunnittelu-, robottihitsaus-, CNC-koneistus- ja kumitustöitä (4). Valtaosa Mensen liikevaihdosta muodostuu metsäkoneiden puunsyöttörullien myynnistä, mutta Mense on viime vuosina investoinut suuresti uusien tuotteiden kehittämiseen ja markkinointiin.

### **3 Laitteen toiminta ja vaatimukset**

UPM tilasi syksyllä 2012 Mense Oy:ltä käpyjenkeräyslaitteen sisältäen laitteen suunnittelun sekä valmistuksen. Laite tuli suunnitella ja toteuttaa UPM:n idean pohjalta sekä valmistaa ja testata sovitusessa aikataulussa. Laitetta kehitetään testitulosten pohjalta. Laite ideoitiin alustavasti toimimaan metsä- tai kaivinkoneen lisälaitteena, jolla pääasiassa kerätään käpyjä UPM:n siemenviljelyksiltä, mutta laitteen kehityttyä riittävästi voidaan laite myös kaupallistaa. Laitteelle ei UPM:n toimesta esitetty kuin yksittäisiä suoria vaatimuksia, mutta myös mm. eri käyttöolosuhteet asettivat laitteelle ja sen suunnittelulle useita vaatimuksia sekä haasteita, kuten talviolosuhteissa oksissa olevan lumen ja jään aiheuttamien ongelmien voittaminen.

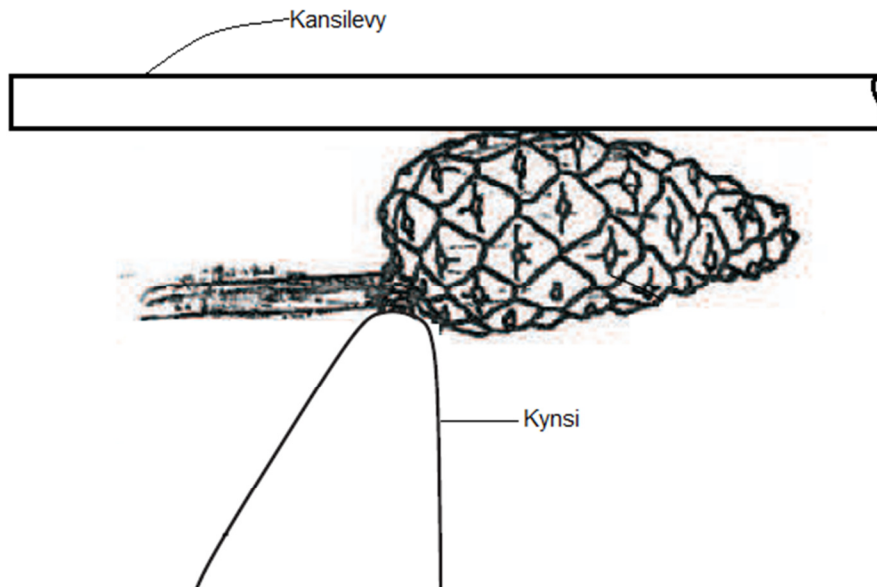
Laitteelle ja sen toiminnalle asetetut tavoitteet.

- Paino n. 500 kg.
- Laitteen tulee kerätä yhdellä keruuliikkeellä 75% kävyistä.
- Laite ei saa irrottaa nuoria käpyjä.
- Laite ei saa vaurioittaa puun oksia tai käpyjä.
- Laitteen tulee yltää 10 m:n korkeuteen.
- Laitteen tulee toimia myös talvella.
- Laitteen tulee erotella kävyistä havut ja oksat sekä muut epäpuhtaudet.

#### **3.1 UPM:n alkuperäinen toimintaperiaate**

Toimintaperiaate, jonka pohjalta laitetta alettiin suunnitella, tuli UPM:ltä (Liitteet 1 ja 2). Laitteelle ja sen toimintaperiaatteelle haettiin myös patenttia tämän toimintaperiaatteen pohjalta. Kyseisessä toimintaperiaatteessa laite nostetaan puun oksaa vasten sen alapuolelle, jonka jälkeen oksan päälle painetaan kansi, jolloin oksa jää laitteen sisälle. Laitteen sisällä on oksaan nähden poikittain koko laitteen levyinen tartuntakynsi, joka on säädetty sopivalle etäisyydelle laitteen kannesta niin, että havut ja pienet kävyt mahtuvat kulkemaan kannen ja kynnen välistä. Laite vedetään oksalta oksan suuntaisesti pois, jolloin oksassa olleet kävyt jäävät laitteen sisälle (Kuva 1).



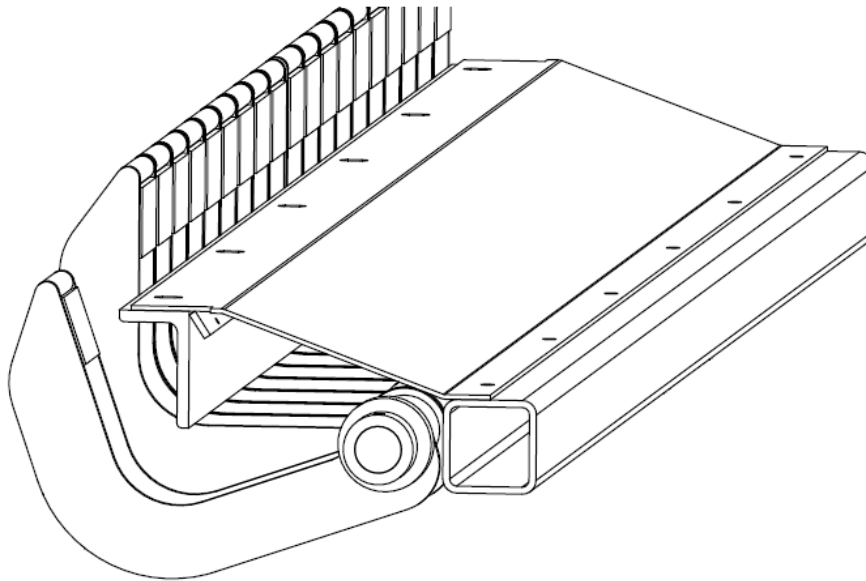


Kuva 1 Käpyjen irrotusperiaate

Ongelmana tässä toimintaperiaatteessa on kuitenkin se, että oksan ranka on lähes koko pituudeltaan paksumpi kuin kävyt. Tällöin oksa jäisi kannen ja kynnen väliin kantamaan jättäen niiden väliin liian suuren raon, jolloin kävyt pääsevät kulkemaan raosta läpi irtoamatta. Tästä syystä kävyt tulisi kerätä erikseen paksun rangan molemmilta puolilta, mikä hidastaa työtä sekä heikentää keräyksen saantoa, sillä kävyt saattavat liukua sivuttain laitteen ulkopuolelle.

### 3.2 Paranneltu toimintaperiaate

Mensen toimitusjohtaja Seppo Mentula esitti ongelmaan ratkaisua, jossa kynsi on jaettu toisistaan erillisiin osiin, jotka pääsevät joustamaan itsenäisesti (Kuva 2). Tällöin oksan rangan kohdalla olevat kynnet joustavat muiden kynsien pitäessä ennalta säädetyn raon laitteen kanteen, jolloin koko oksa saadaan kerralla laitteen sisäpuolelle eivätkä kävyt pääse sivuttain liikkumaan kynnen välistä pois.



Kuva 2 Joustavan kynnen toiminta

### 3.3 Toimintaperiaatteen alustava kokeilu

Mensellä tehtiin niinkutsuttuja labratestejä, jossa testattiin alustavasti nivellettyjen kynsien toimintaa. Testilaitteessa oli nivellettyjä, jousikuormitteisia 100 mm leveitä suorakulmaisesta putkipalkista valmistettuja kynsiä, jotka liitettiin laitteen kansilevyä vastaavaan levyyn noin 20 mm:n etäisyydelle levystä. Laitteen kynsien avautumisvoimaksi mitattiin noin 100 N kannesta kohtisuoraan mitattuna.

Menetelmää kokeiltiin vetämällä männyn oksia testilaitteen läpi. Laite irrotti noin 80 % kävyistä, mutta aiheutti myös selkeitä vaurioita oksiin repimällä kuorta rangoista ja irrottamalla neulasia sekä nuoria käpyjä. Tämä johtui lähinnä siitä, että rangon osuessa kynnen reunalle, kynnen koko jousivoima painoi kynnen reunalla oksan rankaa vasten aiheuttaen suuren paineen oksan rangon ja kynnen reunan välille.

Laitteessa testattiin myös menetelmää, jossa nivellettyjen kynsien tilalle asennettiin luistilla varustetut kynnet, jotka joustavat vain luistin suuntaisesti. Tämä toimintaperiaate oli ongelmallinen, sillä tilanteissa, jossa voima oksan pois vetämiseksi kasvoi, kasvoi myös luistin kitka, moninkertaistaen kynnen avautumisvoiman, mikä vaikeutti avautumisvoiman kontrollointia. Luistityyppinen kynsi asetti myös uusia vaatimuksia mekanismin suojaamiseksi epäpuhtauksil-

ta. Luistin väliin kulkeutuvien epäpuhtauksien sekä talvella kertyvän jäätyvän kosteuden aiheuttamat ongelmat luistin toimintaan olisi lähes mahdoton eliminoida niin, että luistimekanismi toimisi luotettavasti.

Ratkaisuna ongelmiin päätettiin pysyä nivelletyissä ratkaisussa ja tehdä kynsistä kapeampia sekä pienentää jousivoimaa. Myöhemmin tehdyissä kokeiluissa 50 mm leveät kynnet irrottivat noin 50 N avautumisvoimalla myös noin 80 % kävyistä aiheuttaen huomattavasti pienempiä vaurioita oksiin. Kapeammat kynnet vähensivät myös tukkeutumista, jossa mm. männyn neulaset asettuvat kävyn ympärille, estäen kävyn irtoamisen. Nivel voidaan sijoittaa kauemmas itse kynnestä, jolloin se voidaan helposti suojata putoavilta epäpuhtauksilta, jolloin itse nivel ei ole herkkä työskentelyssä aiheutuville epäpuhtauksille.

#### **4 Laitteen toiminnot**

Laitteen käyttö vaatii useita toimintoja, jotka toteutetaan pääasiassa hydraulisesti. Laitteen toiminnan kannalta välttämättömät liikkeet ovat: Laitteen kohdistaminen oksalle, kannen sulkeminen sekä laitteen veto oksalta pois. Pelkästään näiden liikkeiden aikaansaaminen vaatii useita toimintoja ja toimilaitteita.

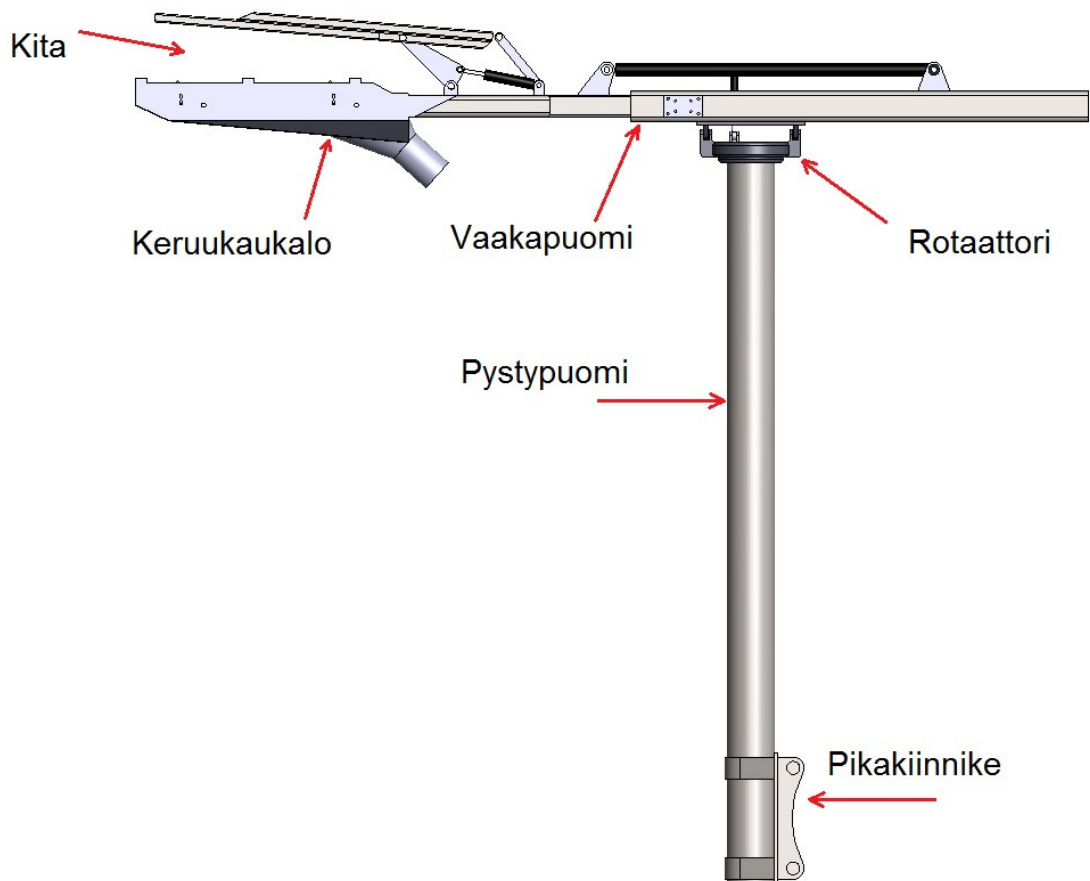
Laite tulee kohdistaa oksalle niin, että sen kynnet ovat oksan korkeudella ja oksa on sivusuunnassa laitteen kohdalla sekä kohtisuorassa laitteeseen nähden. Peruskone ajetaan riittävän lähelle puuta, jotta käpyjenkeruulaite yltää vaivattomasti 180°:n sektorille puusta katsoen. Metsä- ja kaivinkoneissa voidaan useimmiten liikuttaa puomistoa pystysuuntaisen akselinsa ympäri, jolloin käpyjenkeruulaitteiston puomistoon vaaditaan vähintään 180° pysty akselin ympäri kääntyvä nivel yltääkseen yhdellä peruskoneen asetuksella puun 180°:n sektorille. Lisäksi laite tulee voida nostaa halutulle oksalle vähintään 10 m:n korkeuteen. Tässä voidaan hyödyntää peruskoneen puomistoa sekä käpyjenkeruukoneen omaa puomistoa.

Kun laite on valitun oksan kohdalla, avataan laitteen kansi, laite siirretään oksan alle ja kansi suljetaan. Tämän jälkeen laite vedetään oksalta oksan suuntaisesti pois, jolloin kävyt jäävät koneeseen. Näihin työliikkeisiin tarvitaan oksan suuntaan käännettävissä oleva teleskooppipuomi (jatkossa vaakapuomi) sekä lait-

teen kansi. Vaakapuomia tulee voida kallistaa myös oman akselinsa ympäri sekä oman akselinsa suuntaisesti, jotta keruulaite saadaan mahdollisimman tarkkaan oksan suuntaisesti.

## 5 Prototyyppi

Laitteesta päätettiin aluksi tehdä yksinkertainen prototyyppi, jolla päästäisiin kokeilemaan toimintaperiaatetta käytännössä. Prototyyppi pyrittiin tekemään mahdollisimman kustannustehokkaasti, sillä oli mahdollista, että ensimmäisten testien jälkeen koko hanke todettaisiin liian haastavaksi. Lisäksi Mensen saama rahoitus laitteiston kehittämiseksi oli rajallinen, joten kaikkia käytettävissä olevia resursseja ei kannattanut tässä vaiheessa käyttää prototyypin valmistamiseen. Kuvassa 3 esitetään laitteiston rakennetta.



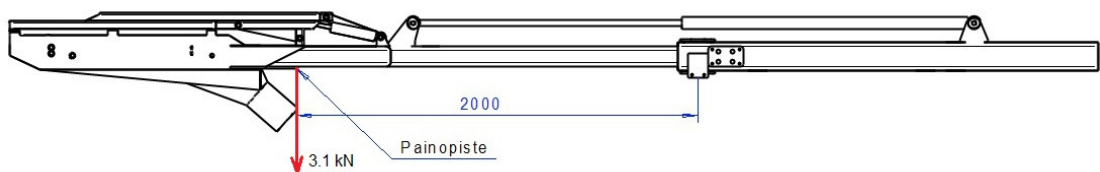
Kuva 3 Laitteiston rakenne

## 5.1 Vaakapuomi

Menselle oli jo hankittu putkipalkit teleskooppipuomia varten, mutta ne eivät sopineet laitteeseen sellaisenaan, sillä Mensen edellinen suunnittelija oli alustavasti suunnitellut erityyppisen keruulaitteen, johon kyseiset palkit oli hankittu. Keräimestä päädyttiin tekemään erilainen versio, mutta valmiiksi hankitut vaakapuomin osat päätettiin hyödyntää ensimmäisessä prototyypissä. Vaakapuomi tekee varsinaisen keruuliikkeen, joten teleskoopin liikkeen tulee olla keskimääräisen oksan mittainen. Oksissa mitattiin kasvavan käpyjä noin 1000 mm:n matkalla, joten 1300 mm arveltiin olevan riittävä pituus teleskoopin liikkeelle. Kun keräimessä on kynsiä kahdessa 600 mm:n etäisyydellä toisistaan olevassa rivissä, on laitteen keräävä pituus todellisuudessa 1900 mm, joten pelivaraa jää vielä runsaasti keruuliikkeeseen.

Vaakapuomi oli alustavasti suunniteltu suuremmalle iskunpituudelle, joten sitä voitiin lyhentää käytettävyyden helpottamiseksi sekä pystypuomin taivutusvoiman pienentämiseksi. Vaakapuomin ulompi putki on EN 10219 140x140x8 s355 ja sisäputki EN 10219 100x100x8 s355 nelikulmaista putkipalkkia.

Suunnitteluohjelma laski laitteen painoksi ilman puomistoa, lukuun ottamatta teleskoopin sisempää putkea, 320 kg ja painopisteen etäisyydeksi teleskoopin liukupinnoista teleskooppi avattuna 2000 mm (kuva 4).



Kuva 4 Vaakapuomin sisäputkeen kohdistuva taivutusvoima

Koska vaakapuomin osat olivat valmiiksi hankittuna, tuli vaakapuomin kestävyys varmistaa laskemalla kuormituksen aiheuttama taivutusjännitys. Vaakapuomiin kohdistuva taivutusmomentti on suurimmillaan teleskoopin ollessa avattuna täyteen pituuteensa, jolloin sitä kuormittaa keruulaitteen massa sekä keruuliikkeen vaatima voima. Teleskoopin sisäputkeen kohdistuu kaavan 1 mukaan suurimmillaan 6,2 kNm:n taivutusmomentti. Taivutusjäyhyys on kaavan 2

mukaan  $4,9 \times 10^6 \text{mm}^4$  ja jännitys kaavan 3 mukaan  $63 \text{N/mm}^2$ . Koska materiaalin myötöraja on  $355 \text{N/mm}^2$ , on palkin kantavuuden varmuuskerroin 5,6, joka riittää takaamaan palkin kestävyuden. Kaavassa 4 tarkastellaan palkin taipumaa. Taipumalle ei asetettu erityisiä vaatimuksia, mutta yleisenä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että taipuma saa olla enintään  $L/400$ , eli pituus jaettuna 400:lla. Tässä tapauksessa 5 mm. Tästä voitiin kuitenkin poiketa, sillä kyseessä on vasta prototyyppi eikä taipuma aiheuta merkittäviä ongelmia laitteen toimintaan. Myös taipuma on suurimmillaan teleskoopin ollessa täydessä pituudessaan.

$$M_T = 3,1 \text{kN} * 2 \text{m} = 6,2 \text{kNm} \quad (1)$$

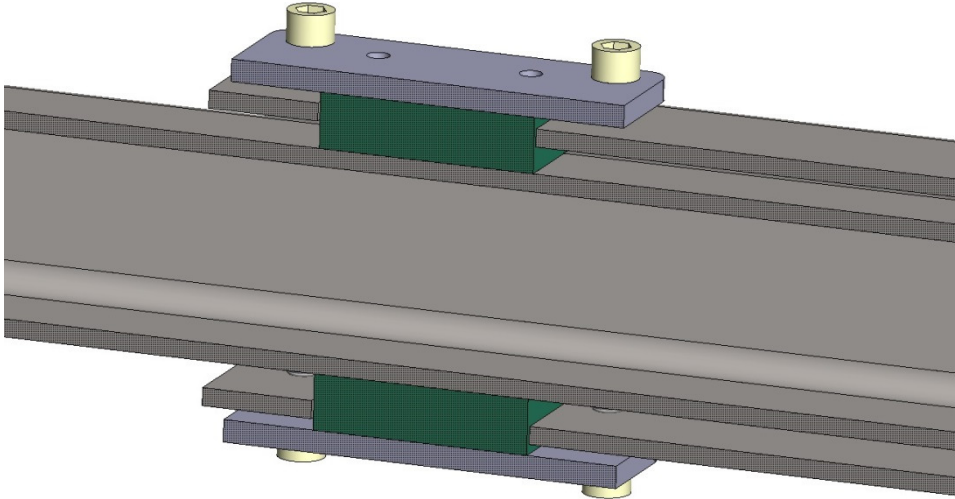
$$I = \frac{(100 \text{mm})^4 - (84 \text{mm})^4}{12} = 4,9 * 10^6 \text{mm}^4 \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{6,2 * 10^6 \text{Nmm} * 50 \text{mm}}{4,9 * 10^6 \text{mm}^4} = 63 \text{N/mm}^2 \quad (3)$$

$$f = \frac{Fl^3}{3EI} = \frac{3100 \text{N} * 2000 \text{mm}^3}{3 * 210 * 10^3 \text{N/mm}^2 * 4,9 * 10^6 \text{mm}^4} = 8 \text{mm} \quad (4)$$

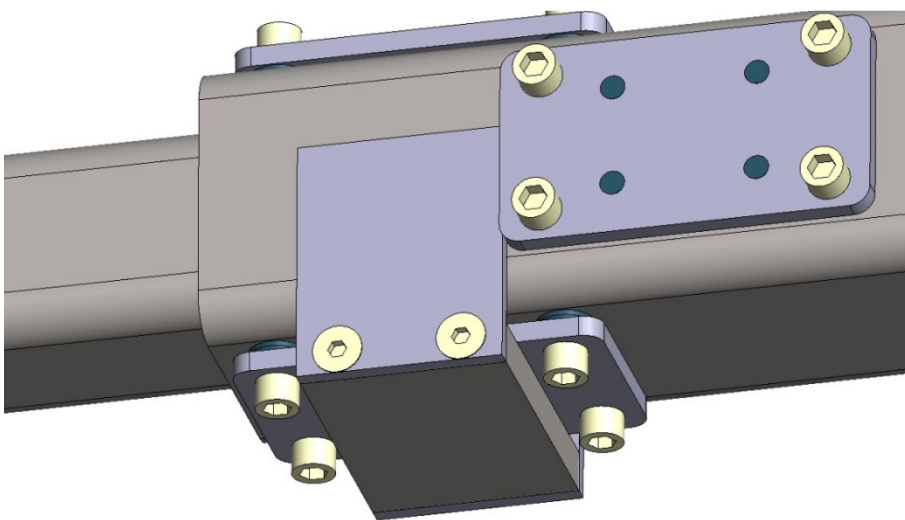
Rakennetta tarkasteltiin ainoastaan staattisen lujuuden osalta, sillä dynaamisen kuormituksen selvittämiseksi olisi vaadittu mittauksia, joita ei tämän opinnäytetyön puitteissa ollut mahdollista tehdä. Varmuuskerroin on kuitenkin huomattavan suuri, joka osaltaan ottaa huomioon dynaamisen kuormituksen. Lisäksi tässä työssä suunniteltua laitteistoa tullaan käyttämään ainoastaan yksittäisissä testeissä, joka myös vähentää dynaamisen kuormituksen merkitystä.

Teleskoopin liukupinnoiksi valittiin Ertalon LFX öljyseosteista polyamidilevyä sen pienen kitkakertoimen sekä hyvän kulutuskestävyyden vuoksi. Toimittaja oli tehnyt ulompaan putkipalkkiin reiät liukupintoja varten. (Kuva 5).



Kuva 5 Teleskooppipuomin halkileikkaus etummaisten liukupintojen kohdalta

Liukupinnat oli suunniteltu kiinnitettäväksi omaan kiinnityslevyyn, joka ruuvataan ulompaan putkipalkkiin M14 ruuveilla, ja välys säädettäväksi kiinnityslevyn ja putkipalkin väliin sijoitetuilla säätölevyillä. Keruulaitteen massa olisi aiheuttanut kuitenkin kohtuuttoman rasituksen kiinnitysruuvien kierteisiin ulommassa putkipalkissa, sillä kierteiden pituus on ainoastaan 8 mm eli putkipalkin aineenvahvuus. Ongelma ratkaistiin hitsaamalla ulomman putkipalkin sivuille kiinnityslevyt, joihin kiinnitettiin vahvike tukemaan alempaa liukupintaa sen alapuolelta (Kuva 6).

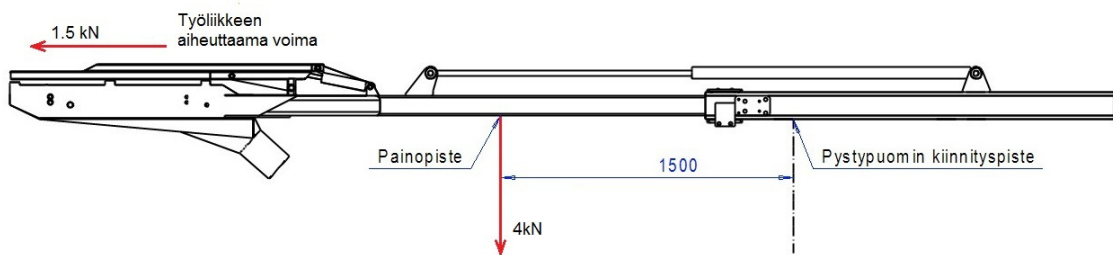


Kuva 6 Teleskoopin liukupinnan tuenta

## 5.2 Pystypuomi

Puomiston pystypuomi päätettiin yksinkertaistaa ensimmäisiä kokeiluja varten, sillä tarkoitukseen sopivia puomeja on markkinoilla usealta eri valmistajalta, mutta koska ne ovat varsin hintavia, päätettiin valmistaa yksinkertainen pystypuomi itse ja vasta laitteen käyttökokeilujen perusteella valita käyttötarkoitukseen soveltuva kaupallinen puominosturi. Pystypuomi päätettiin valmistaa pyöreästä putkipalkista, johon kiinnitetään peruskoneena käytettävään kaivinkoneeseen sopiva pikakiinnike.

Suunnitteluohjelma laski laitteen painoksi noin 500 kg ja painopisteen etäisyydeksi teleskoopin kiinnityspisteestä teleskooppi avattuna 1500 mm. Lisäksi työliikkeen aiheuttamaksi voimaksi arvioitiin korkeintaan 1,5 kN. (kuva 7).



Kuva 7 Pystypuomia rasittavat voimat

Pystypuomin pituudeksi vaadittiin 3 m, jotta keruulaite ylittää vaivattomasti siemenviljelyksellä olevien puiden ylimpiin oksiin. Pystypuomin taivutusmomentti on kaavan 5 mukaan suurimmillaan 10,5 kNm

$$M_T = 4kN * 1,5m + 1,5kN * 3m = 10,5kNm \quad (5)$$

Pystypuomin materiaalina käytettiin s355 terästä. Lujuuden varmuuskertoimeksi valittiin turvallisuuden vuoksi 5, sillä puomia jouduttiin hitsaamaan sekä muilla tavoin heikentämään. Joten pystypuomin taivutusvastuksen tulee olla kaavan 6 mukaan vähintään  $148 \times 10^3 \text{ mm}^3$ .

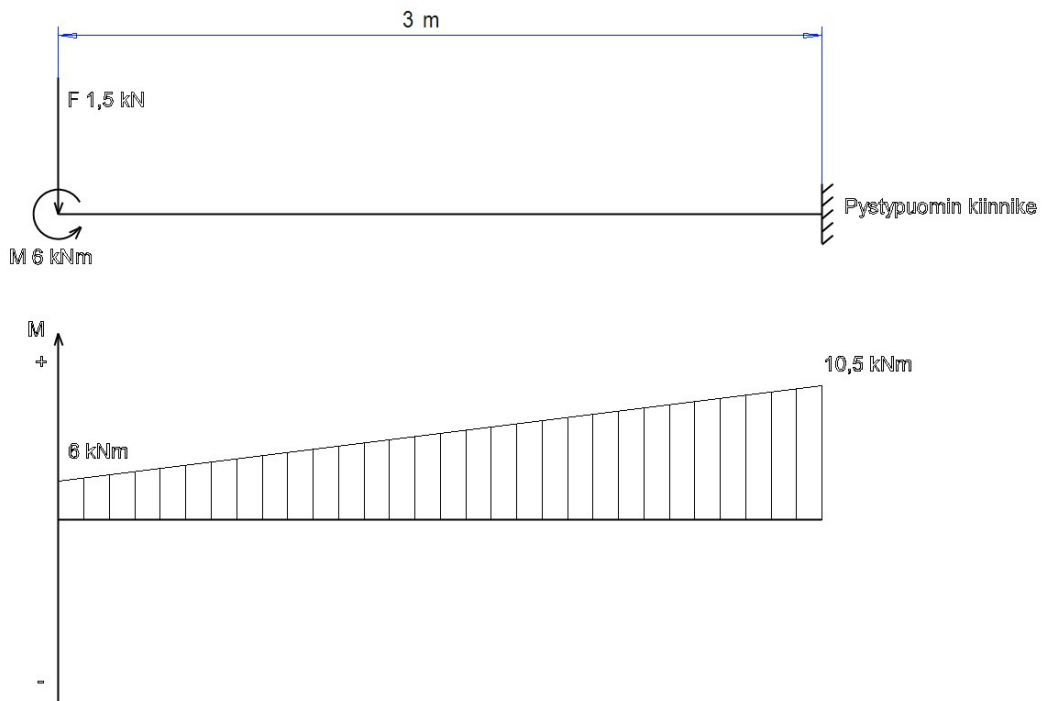
$$W_{min} = \frac{10,5 * 10^6 \text{ Nmm}}{355 \text{ N/mm}^2} * 5 = 148 * 10^3 \text{ mm}^3 \quad (6)$$



Pystypuomin materiaaliksi valittiin EN 10219 219x6 putkipalkki, jonka taivutusvastus on kaavan 7 mukaan  $208 \times 10^3 \text{ mm}^3$  ja neliömomentti kaavan 8 mukaan  $23 \times 10^6 \text{ mm}^4$ . Kuvassa 8 esitetystä pystypuomin vapaakappalekuvasta ja momenttikuvioista käy ilmi, että suurin taivutusmomentti kohdistuu pystypuomin kiinnikkeen puoleiseen pätyyn.

$$W_T = \frac{\pi}{32} * \frac{(219\text{mm})^4 - (207\text{mm})^4}{219\text{mm}} = 208 * 10^3 \text{ mm}^3 \quad (7)$$

$$I = \frac{\pi * ((219\text{mm})^4 - (207\text{mm})^4)}{64} = 23 * 10^6 \text{ mm}^4 \quad (8)$$



Kuva 8 Pystypuomin vapaakappalekuva ja momenttikuvio

Normaali- ja taivutusvoiman yhteenlaskettu jännitys varmuuskertoimella kerrottuna on kaavan 9 mukaan  $257 \text{ N/mm}^2$ . Kaavassa 10 on tarkasteltu pystypuomin jännitystä, kun puomi on keruulaitteineen käännettynä vaaka-asentoon. Tässä tapauksessa työliikkeen aiheuttamat voimat voidaan jättää huomiotta, sillä laitetta ei tulla käyttämään tässä asennossa.

$$\sigma = \frac{10,5 * 10^6 Nmm}{208 * 10^3 mm^3} * 5 + \frac{4000N}{\pi * ((109,5mm)^2 - (103,5mm)^2)} * 5$$

$$= 257N/mm^2 \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{4000N * 3000mm}{208 * 10^3 mm^3} * 5 = 288N/mm^2 \quad (10)$$

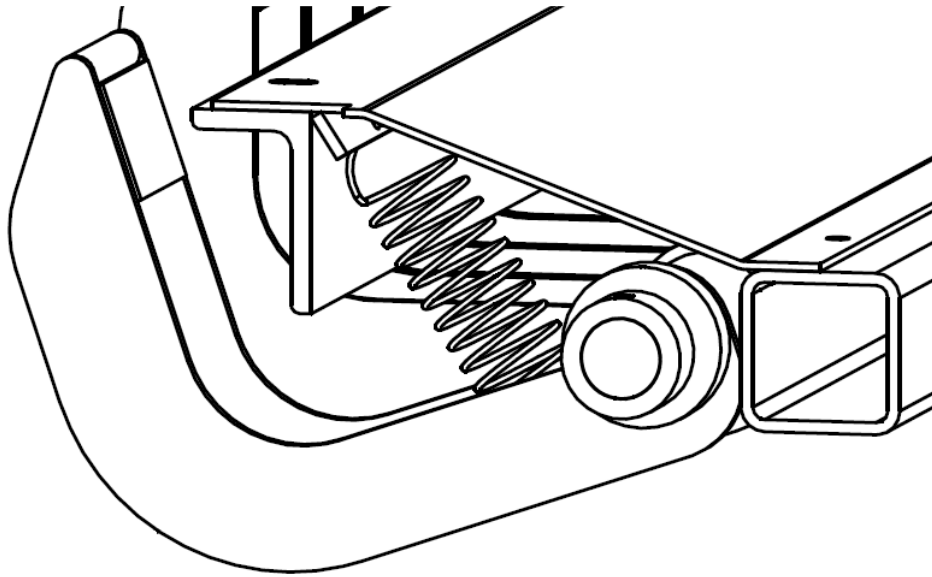
Pystytuomin taipuma voidaan karkeasti laskea summaamalla työliikkeen aiheuttaman ja laitteiston painon aiheuttaman taipuma kaavojen 11 ja 12 mukaan, eli kokonaistaipuma on 8,4 mm vaakapuomin suunnassa. Tässäkin tapauksessa voidaan hieman poiketa L/400 arvosta, sillä peruskoneen epävakauteen verrattuna taipuman merkitys on häviävän pieni. L/400 on tässä tapauksessa 7,5 mm.

$$f = \frac{Fl^3}{3EI} = \frac{1500N * 3000mm^3}{3 * 210 * 10^3 N/mm^2 * 23 * 10^6 mm^4} = 2.8mm \quad (11)$$

$$f = \frac{Ml^2}{2EI} = \frac{4000N * 1500mm * 3000mm^2}{2 * 210 * 10^3 N/mm^2 * 23 * 10^6 mm^4} = 5.6mm \quad (12)$$

### 5.3 Kynsien toiminta

Laitteessa on 21 kappaletta 56 mm leveää kynttä kahdessa rivissä 600 mm:n etäisyydellä toisistaan. Sivusuunnassa laitteen läpi kulkee halkaisijaltaan 20 mm pyörötangot, joihin kynnet laakeroidaan. Lisäksi laitteen läpi kulkee akselin tukipalkki sekä kynsien vaste. Kynsien ja vasteen väliin on sijoitettu jousi, joka määrää yksittäisen kynnen puristusvoiman. Mekanismin päälle on myös sijoitettu suojalevy, joka estää roskien, lumen ja jään joutumisen jousien sekä nivelten väliin. (Kuva 9).



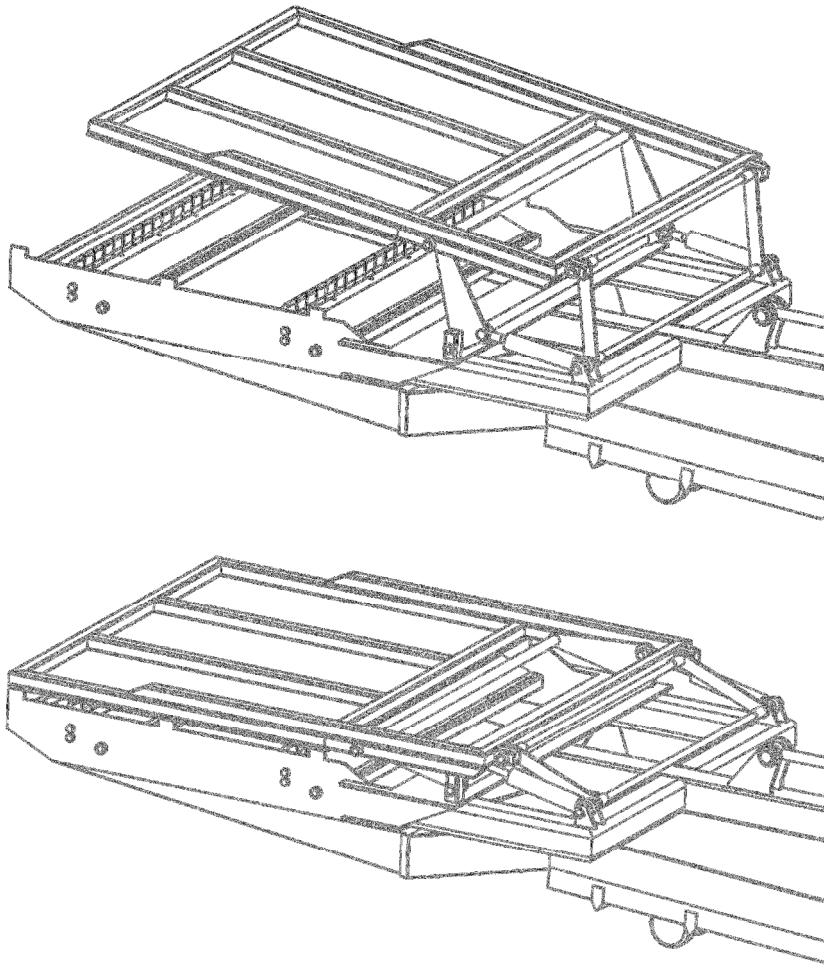
Kuva 9 Kynsien toiminta

50 mm leveille kynsille sopivaksi avautumisvoimaksi arvioitiin noin 50 N. Jousien sekä niiden kiinnityspisteiden valinnassa vaikutti myös loppuvoima, eli voima jolla kynsi painaa kohtisuoraan kanteen nähden kynnen ollessa täysin avautunut. Tästä syystä kiinnityspisteet tuli sijoittaa siten, että jousen joustomatka olisi mahdollisimman lyhyt, jolloin jousivoima kasvaa mahdollisimman vähän.

Liitteessä 3 on taulukko erilaisten jousien voimista avautumishetkestä loppuvoimaan.

#### **5.4 Kansi ja sen liikkeet**

Kannen tulee peittää laite vähintään kynsien kohdalta, sillä kannen ja kynsien välissä oleva rako määrää kerättävien käpyjen paksuuden. Kannen tulisi aueta koko pituudeltaan vähintään 250 mm laitteen kokonaiskorkeuden ollessa alle 600 mm, jotta oksa saataisiin vaivatta sovitettua kannen ja keruulaitteen väliin ilman, että useampi oksa joutuu samanaikaisesti laitteeseen. Jotta tämä saataisiin toteutettua niin, että kansi ei laitteen alkupäässä avaudu kohtuuttoman paljon, on laitteen kanteen sovellettava kaksoisnivelmekanismia (Kuva 10).



Kuva 10 Kannen kaksoisnivelemekanismi

Kanteen päätettiin tehdä runko neliöputkesta, jonka pohjaan hitsataan teräslevy itse kansilevyksi. Lisäksi kansilevyyn liimattiin teflonkalvo vähentämään kitkaa kannen ja oksan välissä.

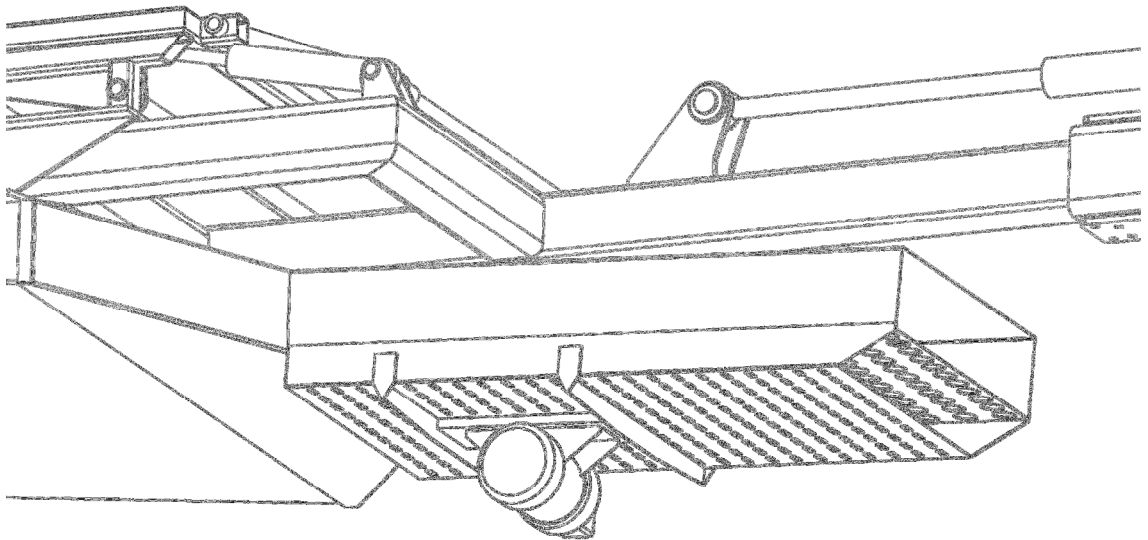
### 5.5 Keruukaukalo ja seula

Laitteiston alapuolelle suunniteltiin alustavasti keruukaukalo, joka kerää kävyt keruukaukalon perään sijoitetulle seulalle. Seula poistaa käpyjen joukosta käpyjä suuremmat roskat, kuten katkenneet oksat sekä pienemmät roskat, kuten havunneulaset ja lumen. Seulaksi kaavailtiin alustavasti kaksitasoista täryseulaa sulkematta muita vaihtoehtoja, kuten kiekko-seulaa pois. Kaksitasoisessa täryseulassa seulottavat kävyt kuljetetaan seulan ylimmälle tasolle, jossa on hieman käpyjä suuremmat reiät. Täryvoima kuljettaa massaa eteenpäin, jolloin kävyt ja pienemmät roskat putoavat seulan toiselle tasolle suurempien ros-

kien kulkeutuessa seulan peräpäätä ulos. Toisella tasolla on käpyjä pienempiä reikiä, josta pienet roskat putoavat ulos käpyjen kulkeutuessa seulan peräpäätä olevaan keräimeen, josta jäljelle jääneet kävyt kuljetetaan keruuastiaan.

Mikäli kävyt kuljetettaisiin painovoimaisesti keruukaukalosta seulalle, tulisi keruukaukalon kallistuksen olla merkittävän suuri, joka taas kasvattaa laitteen keruosan kokonaiskorkeutta merkittävästi. Koska laitteen halutaan olevan mahdollisimman kompakti, täytyy keruukaukalon kallistuksen olla melko pieni. Tästä syystä tulee keruukaukaloon asentaa mekaaninen kuljetin syöttämään massaa seulalle.

Täryseulan toiminta kyseisessä sovelluksessa olisi kuitenkin melko epävarmaa, sillä oksat saattaisivat jäädä seulan sisälle jumiin aiheuttaen tukoksen. Seulan toimintaa on kuitenkin erittäin vaikea arvioida ja luotettavia tuloksia voi saada vasta useiden eri olosuhteissa tehtyjen kokeilujen jälkeen. Kuvassa 11 näkyy alustavasti luonnosteltu seularatkaisu, joka on sijoitettu keruukaukalon perään vaakapuomin alle. Seulan alapuolella on hydraulinen tärytin vahvistuksineen.



Kuva 11 Seulan rakenne

Ensimmäiseen prototyyppiin päätettiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen keruukaukalo ja seula päätettiin jättää kokonaan pois, sillä koko laitteen toiminta on vielä erittäin karkeiden arvioiden varassa ja käytössä olevat resurssit päätet-

tiin kohdistaa laitteen tässä vaiheessa merkityksellisempiin kohteisiin, etenkin itse keruulaitteen toimintaan.

## **5.6 Toimilaitteet**

Laitteistoa testattiin aluksi kaivinkoneella, jonka puomistolla saatiin aikaan laitteiston nostoliike sekä kallistus pituussunnassa. Puomistoon vaadittiin siis vähintään kääntäjä, sivusuuntainen kallistus ja vaakapuomin teleskoopin liike. Koska seula sekä keruukaukalon kuljetin päätettiin jättää ensimmäisestä prototyypistä pois, riitti keruulaitteeseen pelkkä kannen liikkeen toteutus. Lisäksi laitteeseen asennettiin kamera helpottamaan laitteen kohdistamista oksalle.

Laitteen kaikki liikkeet toteutettiin hydraulisesti, sillä se oli kaikkein yksinkertaisin tapa, koska kaivinkoneessa oli valmiiksi hydraulinen voiman ulosotto. Liikkeiden ohjausta varten hankittiin solenoidiohjattu 4-karainen suuntaventtiili, jota ohjattiin yksinkertaisella logiikalla. Peruskoneena käytetyn kaivinkoneen hydraulikan paineeksi oli ilmoitettu 32 MPa

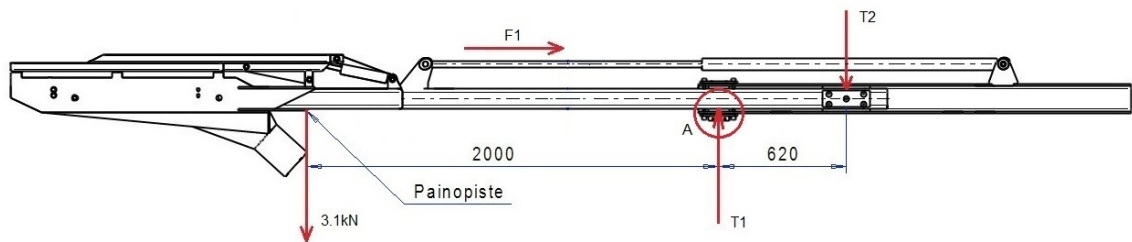
### **5.6.1 Kääntäjä ja kallistaja**

Menseltä löytyi johonkin aiempaan projektiin hankittu, kallistuksella varustettu rotaattori, joka päätettiin hyödyntää vaakapuomin kääntämiseen pystypuomin suuntaisen akselin ympäri sekä kallistukseen vaakapuomin suuntaisen akselin ympäri. Rotaattori oli kuitenkin huomattavan alimitoitettu kyseiseen käyttöön, joten sitäkin päätettiin käyttää vain alustavissa kokeiluissa. Kallistaja kuitenkin osoittautui riittäväksi, sillä laitteen painopiste on hyvin lähellä kallistusakselia, joten kallistajan kuormitus jää melko pieneksi.

### **5.6.2 Vaakapuomin teleskooppi**

Valmistaja ilmoitti liukupintojen materiaalin kitkakertoimeksi 0,15 ja oksan riipimiseen vaadituksi voimaksi arvioitiin maksimissaan 1,5 kN. Teleskoopin kitkavoima on suurimmillaan teleskoopin ollessa avattuna täyteen pituuteensa. Kuvassa 12 on esitetty teleskoopin eri osiin kohdistuvia voimia työliikkeen aikana. Kaavojen 13, 14 ja 15 mukaan lasketaan kitkapintoihin kohdistuvat tukivoimat T1 ja T2. Kaavan 16 mukaan lasketaan liukupintojen ja teleskoopin putkien välinen kitkavoima, jota voidaan pitää lähes samansuuruisena sylinteriltä vaaditun

voiman kanssa. Kaavasta 17 lasketaan pienin sallittu sylinterin ja männänvarren pinta-alojen erotus, joka tarvitaan riittävän voiman saamiseksi keruuliikettä varten. Keruuliikettä varten valittiin 50/36 x 1300 sylinteri, vaikka huomattavasti pienempi sylinteri olisi riittänyt tuottamaan tarvittavan voiman keruuliikettä varten. Pienempiä sylintereitä 1300 mm: iskunpituudella ei ole juurikaan saatavilla, joten se olisi ollut kalliimpi ja sen toimitusaika olisi ollut pidempi. Kaavassa 18 lasketaan 50/36 hydraulisyylinterin männän ja männänvarren pinta-alojen erotus.



Kuva 12 Teleskooppipuomin voimat

$$\Sigma M_A = 3,1kN * 2m - T2 * 0,62m = 0 \quad (13)$$

$$T2 = \frac{3,1kN * 2m}{0,62m} = 10,0kN \quad (14)$$

$$T1 = T2 + 3,1kN = 13,1kN \quad (15)$$

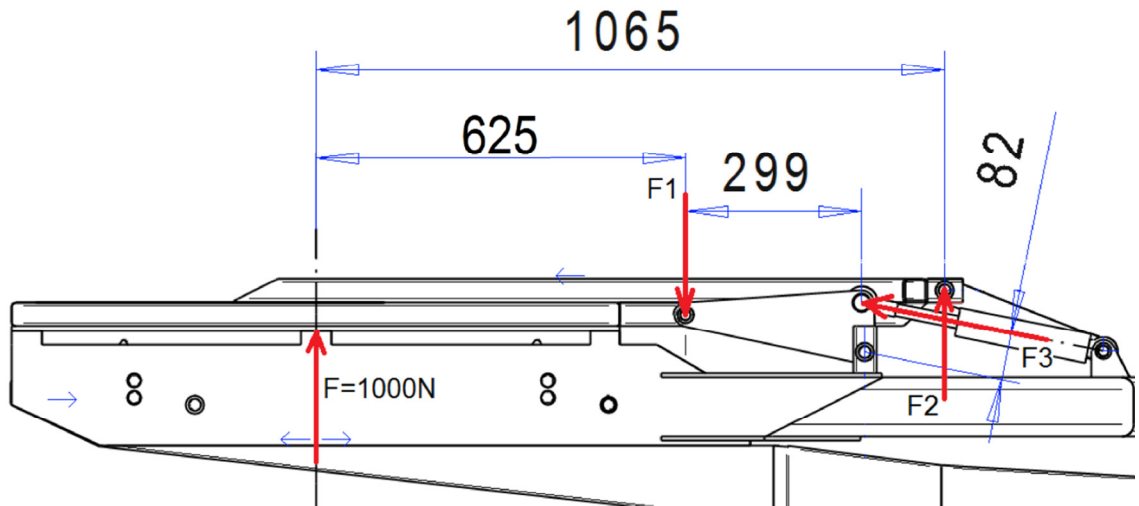
$$F1 = (10kN + 13,1kN) * 0,15 = 3,5kN \quad (16)$$

$$A_{min} = \frac{3500N}{32MPa} = 108mm^2 \quad (17)$$

$$A = \frac{\pi * (50^2mm - 36^2mm)}{4} = 945mm^2 \quad (18)$$

### 5.6.3 Keruulaitteen kansi

Tarvittavaksi voimaksi keruulaitteen kannen kiinni painamiseksi kansilevyn puolivälistä mitattuna arvioitiin 1000 N. Kuvassa 13 on esitetty kanteen ja sen avausmekanismiin kohdistuvia voimia.



Kuva 13 Keruulaitteen kannen voimat

Kaavan 19 ja 20 mukaan sylinterien yhteenlaskettu voima tulee olla vähintään 6213N.

$$F_1 = \frac{F * 1065mm}{625mm} = 1704N \quad (19)$$

$$F_3 = \frac{F_1 * 299mm}{82mm} = 6213N \quad (20)$$

Nyt saadaan laskettua kaavan 21 mukaan pienin sallittu sylinterin pinta-ala ja kaavan 22 mukaan sylinterin pienin sallittu halkaisija.

$$A_{min} = \frac{\left(\frac{6213N}{2}\right)}{32MPa} = 97mm^2 \quad (21)$$

$$\varnothing_{min} = \sqrt{\frac{97mm^2}{\pi} * 2} = 11mm \quad (22)$$

## 6 Laitteiston ensimmäinen testaus

Laitteistoa testattiin aluksi epävirallisesti keräämällä Mensen hallin pihalla kasvaneiden mäntyjen käpyjä. Ennen testien aloittamista todettiin rotaattori täysin alimitoitetuksi. Rotaattori jaksoi kääntyä juuri ja juuri, kun laite oli täysin pysty-



asennossa. Tämä ei kuitenkaan täysin estänyt laitteen käyttöä ja kaikki muut toimilaitteet toimivat odotetusti, joten testaus päästiin kuitenkin aloittamaan.

Heti testien alussa laite osoittautui huomattavan kömpelöksi, koska laitteiston nosto sekä kallistus saatiin aikaan ainoastaan kaivinkoneen omalla puomilla. Lisäksi keruulaite oli äärimmäisen vaikea saada kohdistettua oikein oksalle, sillä näkyvyys kaivinkoneesta keruulaitteeseen oli erittäin huono eikä kohdistuskamerasta ollut juurikaan hyötyä, sillä valoisalla säällä näytöstä oli vaikea saada selvää ja kamera kuvasi vain pienehköä sektoria keruulaitteen ympärillä. Kaivinkoneen ulkopuolella seistessä näkyvyys oli kuitenkin huomattavasti parempi.

Myöhemmin laitteisto vietiin virallisesti testattavaksi UPM:n siemenviljelyksille Joroisiin, jossa sitä testattiin keräämällä männynkäpyjä. Tulokset laitteen käytettävyydestä olivat täysin samat kuin aiemmassa testissä. Jos laite ei ollut kohdistettu korkeussuunnassa oksalle oikein, katkesi oksa usein laitteen kantta suljettaessa. Oksan haaroja jäi myös helposti kannen ja sen vasteen väliin, jolloin keruuliikkeen aikana laite repi oksasta havuja ja haaroja irti.

## **7 Johtopäätökset**

Laite oli huomattavan kömpelö käyttää, sillä laitteen korkeussäätö ja pitkittäinen kallistus onnistui ainoastaan kaivinkoneen puomia ohjaamalla eikä rotaattori ollut tarkoitettu näin raskaaseen käyttöön. Laitteiston puomiin oli ehdottomasti saatava korkeussäätö ja pitkittäinen kallistus sekä riittävän vahva rotaattori tai kääntäjä. Laitteiston käytettävyys kaivinkoneen ohjaamosta käsin oli myöskin ongelmallista.

Näkyvyys kaivinkoneen ohjaamosta keruulaitteeseen ja sen ympäristöön oli erittäin rajallinen eikä tähtäyskamerastakaan ollut juurikaan hyötyä, sillä kameran näytöllä on vaikea havaita kuvan syvyyttä ja auringon valo häytti kuvan näkyvyyttä näytöllä. Jotta keruulaitteella voisi työskennellä tehokkaasti ja vaivattomasti, tulee laitteen ja sen ympäristön olla vaivatta nähtävissä. Yksi vaihtoehto olisi hankkia parempia kameroita useampia kappaleita, jotta laitteen ympäristö ja syvyys olisi vaivatta havaittavissa. Näytön tulisi myös olla riittävän suuri sekä kirkkaassa valossa helposti luettavissa. Toinen vaihtoehto olisi varustaa

keruulaitteisto kauko-ohjauksella. Lisäksi tulisi myös kaivinkoneen toimintoja muuttaa kauko-ohjattaviksi, kuten ajomoottorit ja puomin toiminnot. Näin koneen kuljettaja voisi seisoa kaivinkoneen ulkopuolella, näkyvyyden kannalta paremmassa paikassa, josta ohjaaminen sujuisi huomattavasti helpommin kuin kaivinkoneen sisäpuolelta. Yhtenä vaihtoehtona olisi myös asentaa laitteen puomiin penkki kuljettajalle ja hallintalaitteet kuljettajan ulottuville. Näin koneen kuljettajalla olisi erittäin hyvä näkyvyys keruulaitteeseen ja sen ympäristöön, jolloin laitteen käytettävyys paransi huomattavasti. Merkittävänä ongelmana tässä ratkaisussa olisi kuitenkin työturvallisuus. Kyseisessä ratkaisussa olisi lukemattomia tapaturmariskejä, kuten koko laitteiston putoaminen esimerkiksi hydrauliletkun rikkoutuessa. Tästä syystä kyseistä ratkaisua ei voida edes harkita ennen kuin kaikki mahdolliset tapaturmariskit olisi minimoitu.

Itse keruulaitteen ongelmana oli sen kohdistaminen oksalle. Laite tuli saada tarkasti oksan suuntaisesti oksan kohdalle tai muuten oksa usein katkesi. Laitteiston näkyvyyden parantaminen helpottaisi huomattavasti laitteen oksalle kohdistamista. Kuitenkin, jotta laitteesta saataisiin riittävän helppokäyttöinen, tulee oksan saada olla jonkin verran erisuuntainen laitteen kanssa. Ratkaisuna tähän tulisi yhtenäinen kansilevy poistaa ja korvata ainoastaan noin 50-100 mm kynsirivin etu- ja takapuolelle yltävällä kaarevalla vasteella. Lisäksi tulee toinen kynsirivi poistaa kokonaan. Näin oksa voi olla erisuuntainen laitteen kanssa ilman, että laite taivuttaa oksaa liian rankasti.

## **8 Laitteistoon tehdyt muutokset**

Vaikkei testeissä saatu toivottuja tuloksia halusi UPM jatkaa projektia ja jatkoi hankkeen rahoitusta. Laitteiston testauksen ja tulosten analysoinnin jälkeen ryhdyttiin pohtimaan laitteistoon tarvittavia muutoksia ja niiden toteutusta.

### **8.1 Keruulaite**

Keräimen osalta päädyttiin muuttamaan laitteen kansi poistamalla yhtenäinen kansilevy kokonaan ja korvaamaan se kaarevalla kynsirivin suuntaisella koko laitteen poikki ulottuvalla vasteella. Myös sisempi kynsirivi päätettiin jättää kokonaan pois, sillä laitteen keruuliikkeen iskunpituus riitti erinomaisesti kerää-

mään kävyt oksista. Yhden kynsirivin todettiin myös keräävän oksista riittävän tehokkaasti käpyjä.

## **8.2 Pystypuomi**

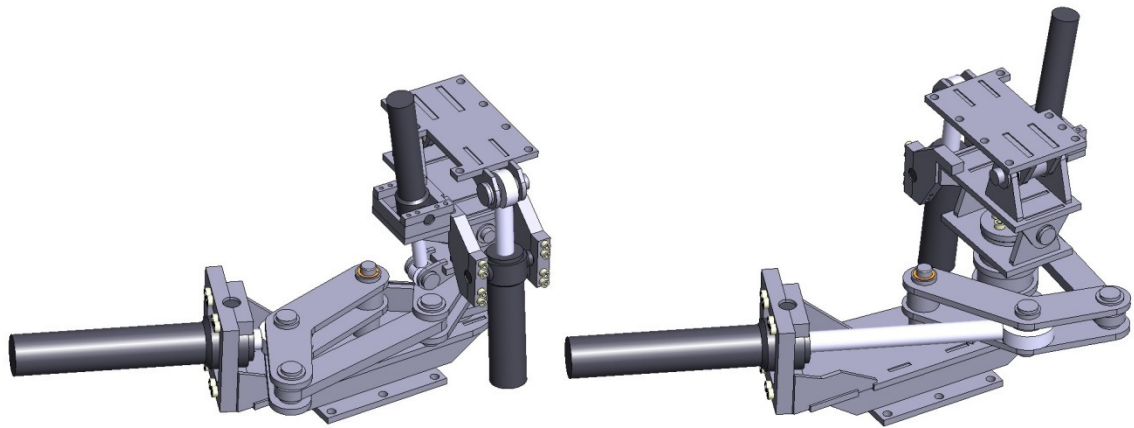
Pystypuomi päätettiin vaihtaa kaupalliseen malliin, joka on varustettu korkeussäädöllä, jotta laitteen kohdistaminen oksalle helpottuisi. Uuden puomin hankkiminen olisi vaatinut suuren osan kehittämiseen varatusta budjetista ja käytettyjä harvesteri- ja ajokonenostureita on saatavilla runsaasti erilaisia kohtuulliseen hintaan, joten puomiksi hankittiin käytetty ajokonenosturi, joka muokattiin käpyjenkeruukoneeseen sopivaksi. Nosturiin hitsattiin testeissä käytettävään kaivinkoneeseen sopiva kiinnike ja nosturin nostosilmukka korvattiin kiinnityslävällä, johon vaakapuomin rotaattori kiinnitetään. Nosturi oli ollut kovassa käytössä ja sitä oli korjattu useita kertoja. Puomeissa oli useita väsymismurtumia, joita oli hitsattu useita kertoja päällekkäin. Nosturi päätettiin kunnostaa perusteellisesti ennen laitteen käyttöönottoa. Kaikki korjaushitsausaummat avattiin ja hitsattiin uudelleen. Lisäksi nosturia vahvistettiin muutamasta kohdasta, joihin kohdistuu suurta kuormitusta ja joita oli jo aiemmin korjattu. Nosturiin tehtiin lisäksi kiinnike hydrauliventtiilille ja hydrauliputkisto kunnostettiin ja muutettiin käyttöön soveltuvaksi.

## **8.3 Rotaattori**

Rotaattori oli täysin alimitoitettu kyseiseen käyttöön, joten laitteen kunnollisen toiminnan kannalta oli tärkeä hankkia riittävän voimakas rotaattori tai kääntäjä. Käpyjenkeruukoneeseen sopiva kaupallinen rotaattori olisi ollut erittäin kallis, ja koska laitteen käytöstä jatkossa ei ollut minkäänlaisia takeita, päädyttiin rotaattorin sijaan valmistaa itse laajakulmanivelellä varustettu kääntäjä.

Kääntäjälle asetettiin vaatimukseksi, että se kääntyy vähintään 180° pystypuomin akselin ympäri. Lisäksi kääntäjään tuli valmistaa kallistusmekanismit laitteiston pitkittäiseen ja poikittaiseen kallistamiseen. Mensellä on aiemmin valmistettu laajakulmanivelellä varustettuja kääntäjiä raivauslaitteisiin. Kääntäjät olivat kuitenkin osoittautuneet varsin heikoiksi (5). Raivauslaitteisiin valmistetut kääntäjä oli tehty mahdollisimman kompakteiksi, sillä kyseisessä sovelluksessa koko on rajoittava tekijä, koska raivauslaitteeseen kiinnitetty suurikokoinen

kääntäjä vaikeuttaisi merkittävästi laitteen käyttöä (5). Koska tässä sovelluksessa kääntäjän suuri koko ei kuitenkaan aiheuta merkittäviä ongelmia, voitiin kääntäjästä tehdä melko suurikokoinen, mistä syystä kääntäjän osiin kohdistuvat voimat ovat merkittävästi pienempiä kuin pienessä ja kompaktissa kääntäjässä. Kuvassa 14 on esitetty käpyjenkeruukoneeseen valmistetun kääntäjän toimintaperiaate.



Kuva 14 Laajakulmanivelellä varustetun kääntäjän toimintaperiaate

#### 8.4 Laitteiston ohjaus

Laitteiston ohjaus kaivinkoneesta käsin oli erittäin vaikeaa, sillä näkyvyys laitteistoon ja sen ympäristöön oli erittäin rajallinen eikä laitteistoon asennetusta tähtäyskamerastakaan ollut juurikaan hyötyä. UPM:n edustajat tekivät yhteistyötä Aalto-yliopiston edustajien kanssa keruulaitteeseen soveltuvan kameratekniikan löytämiseksi. Aalto-yliopiston ja UPM:n yhteistyö ei kuitenkaan syystä tai toisesta tuottanut toivottua tulosta.

Laitteeseen päätettiin hankkia kauko-ohjattava hydrauliventtiili, vaikka se olikin huomattavan kallis hankinta, mutta budjetissa riitti vielä resursseja eikä muita merkittävän kalliita hankintoja laitteeseen tarvinnut enää tehdä. Kauko-ohjauksella tuli voida ohjata kaikkia keruulaitteiston toimintoja sekä osaa kaivinkoneen toiminnoista. Seuraavissa testeissä päätettiin kuitenkin käyttää kaivinkoneelle omaa kuljettajaa ja keruulaitteistolle omaa kaivinkoneen ulkopuolella operoivaa käyttäjää. Tästä syystä suurinta osaa kaivinkoneen toiminnoista ei tarvinnut käyttää kauko-ohjatulla venttiilillä, joten tässä vaiheessa laitteen kehitystä pienemmillä kaivinkoneen muutostöillä sekä pienemmällä kauko-ohjatulla

venttiilillä, joka säästi kustannuksissa merkittävästi. Kaivinkoneen toiminnoista päädyttiin operoimaan kauko-ohjatusti ainoastaan kauhan eli tässä sovelluksessa keruulaitteen pitkittäistä kallistusta. Kaivinkoneen kuljettajan vastuulle jää ainoastaan koneen ajaminen kerättävän puun lähelle niin, että keruulaitteisto yltää vaivatta puun oksille. Keruulaitteiston käyttäjälle jää riittävästi toimintoja keruun suorittamiseen tästä eteenpäin. Kaivinkoneeseen ei tarvinnut tehdä muita muutoksia kuin haarat kauko-ohjatulle venttiilille kauhan kallistussylinterin letkuliitännöistä. Näin voidaan kallistusta ohjata kauko-ohjaimen lisäksi myös kaivinkoneen ohjaamosta käsin.

Kauko-ohjaimella ohjattavat toiminnot

1. Koko laitteiston kallistus pituussuunnassa
2. Pystyvuomin nosto
3. Laitteiston kääntö pystyvuomin akselin ympäri
4. Laitteiston kallistus vaakavuomin akselin ympäri
5. Vaakavuomin kallistus pituussuunnassa
6. Keruuliike, eli vaakavuomin teleskoopin liike
7. Keruulaitteen kannen liikkeet

Keruulaitteeseen vaadittiin siis 7-lohkoinen, kauko-ohjattu hydrauliventtiili.

## **9 Laitteiston toinen testaus**

Ennen varsinaisten testien aloittamista käytiin laitteen toiminnot läpi ja tehtiin tarvittavat säädöt liikenopeuksiin. Säättöjä tehtäessä ilmeni kuitenkin, ettei kaivinkoneen kauhan kallistussylinterin voima riittänyt laitteiston kallistettuna pitämiseen, kun pystyvuomi oli nostettuna ääriasentoonsa. Tämä ei käynyt ilmi ensimmäisissä testeissä, koska pystyvuomi oli huomattavasti lyhyempi eikä tästä syystä aiheuttanut yhtä suurta kuormitusta kallistussylinterille. Ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua muuttamalla kiinnikkeen asentoa pystyvuomissa. Kauhan kallistus on varustettu laajakulmanivelellä. Kallistuksen vääntömomentti on suurimmillaan suurin piirtein kallistuksen ääriasentojen puolivälissä ja vastaavasti pienimmillään ääriasennoissa. Kiinnike oli asennettu pystyvuomiin niin, että laitteiston ollessa pystyasennossa on kauhan kallistus ääriasennossaan. Kiinnik-

keen asentoa muuttamalla saatiin riittävästi voimaa laitteen kallistukseen. Pystyvuomin ollessa nostettuna ei laitetta kuitenkaan tullut kallistaa juurikaan, sillä kallistukseen kohdistuva kuormitus kasvaa laitteen kallistuskulman kasvaessa.

Laitteisto vietiin taas testattavaksi Joroisiin UPM:n siemenviljelyksille, jossa sitä testattiin tällä kertaa keräämällä kuusenkäpyjä. Parannuksien ansiosta laite oli huomattavasti paremmin hallittavissa sekä monipuolisemmin liikuteltavissa. Laitteistolla pääsi ketterämmin puiden eri puolille sekä eri korkeuksille. Laitteiston kuljettaja pystyi kohdistamaan laitteiston huomattavasti helpommin haluamalleen oksalle. Laitteiston käsittely myös nopeutui monipuolisten liikkeidensä ansiosta, joka osaltaan paransi laitteiston tehokkuutta. Keruulaitteeseen tehtyjen muutosten myötä laitteistoa ei myöskään tarvinnut kohdistaa tarkasti yhden-suuntaisesti oksan kanssa, joka myös nopeutti laitteiston käsittelyä sekä säästi puita vaurioilta, koska oksat eivät katkenneet yhtä herkästi. Keräimen keruutehokkuus ei kuitenkaan kärsinyt juurikaan keruulaitteen toisen kynsirivin poistamisen sekä kanteen tehtyjen muutosten myötä. Tosin tulosten vertailu edellisen testauksen tuloksiin ei ole kaikilta osin luotettavaa, sillä ensimmäisissä testeissä laitteistolla kerättiin männynkäpyjä sekä toisissa testeissä kuusenkäpyjä, mutta laitteiston käsiteltävyyden osalta tuloksia voidaan verrata.

Kuusenkäpyjen kerääminen oli kuitenkin ongelmallista, sillä käpyjen runsaimmat ryppäät ovat kuusessa latvan lähellä, jossa oksat kasvavat melko tiheästi. Lisäksi lähellä latvaa kasvavat oksat ovat melko lyhyitä, jolloin kävyt sijaitsevat myös melko lähellä kuusen runkoa. Tästä syystä yksittäisen oksan saaminen laitteiston sisälle on muutoksista huolimatta erittäin hankalaa. Laitteistolla pystyisi kyllä keräämään useamman oksan kävyt kerrallaan, mutta tällöin ei laitteiston kantta voi sulkea lähellä runkoa, sillä jos oksat kasvavat vähänkin eri korkeudella katkeaa vähintäänkin toinen oksa kannen sulkeutuessa. Tästä syystä tulisi ylimmät oksat voida käsitellä yksitellen. Jo pelkästään keräimen koko aiheuttaa tässä kuitenkin ongelmia, sillä keruulaitteen korkeus on suurempi kuin useimpien oksien keskinäinen etäisyys. Lisäksi latvan lähellä työskenneltäessä on pystyvuomin teleskooppi lähes täydessä pituudessaan, jonka takia korkealla oleva laitteisto on hieman epävakaa, mikä heikentää laitteen käsittelyn tarkkuutta.

Laitteisto ei siis soveltunut kuusenkäpyjen keruuseen tässä kehitysasteessa. Männynkäpyjen keruuseen laitteisto voisi kuitenkin soveltua, mutta sitäkin var-  
ten laite vaatisi kehitystä. Laitetta olisi pitänyt testata vielä männynkäpyjä ke-  
räämällä, jotta olisi saatu luotettavia ja vertailukelpoisia tuloksia ensimmäiseen  
testiin verrattuna.

## 10 Yhteenveto

Ensimmäisen testin tulokset olivat melko huonoja, vaikka laitteiston heikkoon  
käytettävyyteen oli varauduttu. Seppo Mentula oli ensimmäisten testien jälkeen  
valmis luopumaan projektista, mutta UPM halusi vielä jatkaa laitteen kehitystyö-  
tä ensimmäisistä testeistä saaduista huonoista tuloksista huolimatta. Ennen  
toisia testauksia tehdyillä muutoksilla laitteiston käytettävyys saatiin kuitenkin  
kohtalaisen helpoksi ja monipuoliseksi. Laitteiston käyttö vaati kuitenkin kaksi  
ihmistä, joista toinen ohjaa peruskonetta ja toinen keruulaitteistoa. Peruskone  
olisi kuitenkin mahdollista muuttaa kaukosäätöiseksi, jotta yksi henkilö voisi  
operoida koko laitteistoa peruskoneineen.

Itse keruumenetelmä oli kohtalaisen tehokas ja asetusliikkeet poislukien erittäin  
nopea käsinkeruuseen verrattuna. Laitteisto keräsi noin 80 % männyn- ja noin  
90 % kuusen oksissa olleista kävyistä. Ihminen kerää oksasta kaikki kävyt, mut-  
ta keruuseen kuluu aikaa noin kymmenen sekuntia, kun taas keruulaitteistolla  
keruuliikkeeseen kuluu aikaa sekunnista kahteen. Keruulaitteen asetusliikkeeseen  
kuitenkin kuluu aikaa huomattavasti enemmän. Henkilönostimella työsken-  
televä henkilö ylittää useampaan oksaan kerrallaan eikä nostinta tarvitse kohdis-  
taa kovinkaan tarkasti oikeaan paikkaan, kun taas keruulaitteisto tulee kohdis-  
taa käytännössä jokaiselle oksalle erikseen. Lisäksi henkilönostimella työsken-  
televä henkilö pystyy monipuolisemmin liikkumaan puun ympärillä. Perusko-  
neena käytetyn kaivinkoneen liikuttelu maastossa oli hieman kömpelöä, muttei  
merkittävästi hitaampaa kuin pyöräalustaisen henkilönostimen käyttö.

Laitteen kehityksessä tulisi keskittyä nimenomaan laitteiston liikuttelun helpot-  
tamiseen, sillä laitteen asetusliike vie eniten aikaa koko prosessissa. Yhtenä  
vaihtoehtona olisi tehdä laitteesta huomattavasti kevyempi ja kompaktimpi, jotta  
sitä voisi käyttää käsin henkilönostimeen asennetun keventimen avulla. Näin

laitteisto olisi vapaammin liikuteltavissa ja sen myötä asetusliikkeet olisivat huomattavasti nopeampia.

## 11 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella laitteisto koneelliseen käpyjen keruuseen. Laitteistosta tuli myös tehdä prototyyppi, jota tuli testata ja tehdä testitulosten perusteella parannuksia laitteeseen sen toiminnan parantamiseksi. Prototyyppiä testattiin UPM:n siemenviljelyksillä Joroisissa, mutta tulokset olivat niin suuri pettymys, että Seppo Mentula ehdotti jo projektin hylkäämistä. UPM halusi kuitenkin jatkaa laitteiston kehittämistä. Laitteiston ongelmia pohdittiin ja ne pyrittiin ratkaisemaan saatavilla olevien resurssien puitteissa mahdollisimman hyvin. Laitteistosta valmistettiin toinen prototyyppi, joka myös vietiin UPM:n siemenviljelyksille testattavaksi. Tällä kertaa tulokset olivat huomattavasti parempia, joka antoi toivoa laitteiston kehittymismahdollisuuksista. Samalla kuitenkin havaittiin, ettei tämänkaltainen laitteisto sovellu kuusenkäpyjen keräämiseen. Kaikesta huolimatta ei laitteistosta saatu läheskään riittävän tehokasta, jotta sillä kannattaisi käpyjä kerätä, mutta riittävän kehitystyön jälkeen laitteisto voisi hyvinkin olla tehokas työkalu männynkäpyjen keräämisessä etenkin siemenviljelysmetsässä.

Käpyjenkeruukoneen tekeminen päättötyönä oli minulle mielenkiintoista ja se sisälsi minulle työssä mielekkäitä asioita, kuten suunnittelutehtävät ja itse suunniteltujen asioiden toteuttaminen käytännössä. Tämä muun muassa opetti minulle paljon tärkeitä asioita suunnittelutyöstä ja miten suunnittelu näkyy käytännön työn tekijälle. Itse konepajan metallityöt olivat minulle ennestään tuttuja, mutta opin ottamaan toteuttavan osapuolen näkökannan entistä paremmin huomioon suunnittelutyössä. Mitään vastaavaa, tai edes samankaltaista laitteistoa ei ennen ole tehty, mikä teki tästä työstä mielenkiintoisen mutta myös erittäin haastavan. Mielekkäintä työssä oli nähdä itse suunnitellun laitteiston toimivan suunnitellusti sekä itse keruumenetelmän, jota ei koskaan aiemmin ollut tehty, toimivan niinkin hyvin, vaikkei kyseinen menetelmä kuusenkävyille sovelletunutkaan.



## Kuvat

Kuva 1 Käpyjen irrotusperiaate, s. 9

Kuva 2 Joustavan kynnen toiminta, s. 10

Kuva 3 Laitteiston rakenne, s. 12

Kuva 4 Vaakapuomin sisäputkeen kohdistuva taivutusvoima, s. 13

Kuva 5 Teleskooppipuomin halkileikkaus etummaisten liukupintojen kohdalta, s. 15

Kuva 6 Teleskoopin liukupinnan tuenta, s. 15

Kuva 7 Pystypuomia rasittavat voimat, s. 16

Kuva 8 Pystypuomin vapaakappalekuva ja momenttikuvio, s. 17

Kuva 9 Kynsien toiminta, s. 19

Kuva 10 Kannen kaksoisnivelmekanismi, s. 20

Kuva 11 Seulan rakenne, s. 21

Kuva 12 Teleskooppipuomin voimat, s. 23

Kuva 13 Keruulaitteen kannen voimat, s. 24

Kuva 14 Laajakulmanivelellä varustetun kääntäjän toimintaperiaate, s. 28

## Lähteet

1. Keskustelut projektin UPM:n vastuuhenkilöiden sekä Mense oy:n toimitusjohtajan Seppo Mentulan kanssa
2. UPM:n kotisivu <http://www.upm.com/FI/UPM/UPM-Lyhyesti/Pages/default.aspx> Luettu 29.12.2013
3. UPM Vuosikertomus 2012
4. Mense oy:n kotisivu <http://www.mense.fi/yritys>. Luettu 6.11.2013
5. Mense oy:n toimitusjohtajan Seppo Mentulan kanssa käydyt keskustelut