

Energiapuun katkaisu- ja karsintalaite

Tuotekehitys

Kevin Vainio

Opinnäytetyö

Marraskuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Koneensuunnittelu

Tekijä Vainio, Kevin	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2017
	Sivumäärä 88	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Energiapuun katkaisu- ja karsintalaite		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Petri Luosma, Jorma Matilainen		
Toimeksiantaja(t) Nokka Oy, Joinde Oy, Jamk		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön lähtökohtana oli energiapuun kasvava hakkuumäärä sekä Nokka Oy:n tavoite saada ATV-metsäperävaunumallistoon enemmän lisävarusteita, minkä pohjalta alettiin kehittää ATV-kokoluokan energiapuun katkaisu- ja karsintalaitetta. Tavoitteena oli tuottaa valmistettavissa oleva sekä kustannustehokas tuote markkinoille. Tuotteen valmistusta varten laaditaan valmistus piirustukset ja 3D-mallit.</p> <p>Toteutustapa seurasi tuotekehityksen menetelmiä. Pohjana tuotekehitykseen oli Pahl & Beitzin suunnitteluprosessimalli. Prosessi koostuu neljästä vaiheesta: esitutkimuksesta, luonnostelusta, suunnittelusta ja viimeistelystä. Esitutkimuksessa tutkittiin puiden rakennetta ja materiaaliominaisuuksia, jotta ymmärretään, miten puuta voidaan käsitellä, sekä tutkittiin metsäperävaunun toimintakykyä. Luonnostelun tuloksena saatiin tuotteen pääpiirteiset toiminnot, jotka ohjasivat suunnittelua. Suunnittelussa toteutettiin luonnos, tarkistettiin sen toimivuutta ja varmistettiin sen kestävyyttä mallinnuksen ja lujuuslaskennan avulla. Viimeistelyssä keskityttiin dokumentoinnin luomiseen, kuten piirustuksiin, kustannusarvioon ja riskianalyysiin.</p> <p>Tuotoksena tuli kaksi erillistä laitetta, yksi puiden karsimiseen ja toinen niiden kaatamiseen sekä katkaisuun. Karsintalaitteesta tuotettiin edellä mainittu dokumentointi ja mallit sekä niiden lisäksi prototyyppi testausta varten, jotta saatiin parempi kuva sen toimivuudesta, valmistettavuudesta ja valmistuskustannuksista. Katkaisulaitteesta tuotettiin vain dokumentointi ja 3D-mallinnus aikarajoitteiden takia.</p> <p>Katkaisu- ja karsintalaitteyhdistelmällä saatiin uusi tapa korjata energiapuuta ATV-metsäperävaunulla tai mahdollisesti jopa isommilla laitteilla.</p>		
Avainsanat Energiapuu, katkaisu, karsinta, metsäperävaunu, ATV, metsänhoito, 3D-mallinnus, tuotekehitys		
Muut tiedot <i>Litteet 12 ja 13 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 07.11.2022.</i>		

Author Vainio, Kevin	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 88	Permission for web publication: X
Title of publication Device for cutting and delimiting energy wood		
Degree programme Bachelor of engineering		
Supervisor(s) Luosma, Petri & Matilainen, Jorma		
Assigned by Nokka Oy, Joinde Oy, Jamk		
Abstract <p>The motivation for this thesis work was the growing use of energy wood and Nokka Oy's desire to have a more diverse selection of attachments for their ATV-wood trailer models, from which the designing of a device to cut and delimit energy wood began. The goal was to produce a product for the marketplace that can be manufactured, yet is cost-effective, as well as produce 3D-models and technical drawings for the client.</p> <p>Implementation followed product development methodology, which was based on Pahl & Beitz's 'Theory of Systematic Engineering Design'. The process has four steps: research, concept, design and finishing. The research stage consisted of studying trees and their properties for a better understanding of how to handle wood, and what the existing machinery was capable of. The concept phase produced a rough outline for the design phase to follow. In the design phase the concepts were concretized, testing their functionality and calculating its strength with models and calculations. Finishing consisted of producing documentation for the products such as technical drawings, cost-estimates and risk analyses.</p> <p>The outcome was two devices: one for delimiting trees and the other for felling and cutting. All necessary documentation, as mentioned above, was produced for both the delimiting and cutting device. In addition, a prototype of the delimiting device was made to better see its functionality, manufacturability, and manufacturing costs. A prototype of the cutting device was not built because of time constants.</p> <p>The combination of the delimiting and cutting devices produced a new way to harvest energy wood using an ATV forest trailer, with the possibility of the devices being used with larger machines.</p>		
Keywords/tags: Energy wood, cutting, delimiting, forestry trailer, ATV, forestry, 3D-modelling, Product development		
Miscellaneous <i>Appendixes 12 and 13 are confidential which have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 17: business or professional secret. Period of secrecy is five years and it ends 07.11.2022.</i>		

Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Toimeksiantaja	7
3	Suomen metsät ja energiapuu	8
	3.1 Puun käyttö	8
	3.2 Kestävä hakkuu.....	9
	3.3 Energiapuu.....	10
4	Puun käsittely.....	11
	4.1 Markkinoilla olevat lisävarusteet	11
	4.2 Logistiikka	14
	4.3 Ympäristö ja tulevaisuuden tarpeet	14
5	Puu materiaalina	15
	5.1 Rakenne.....	15
	5.2 Leikkausvoima	19
6	Tuotekehitys.....	24
	6.1 Tuotekehitysprosessi.....	24
	6.1.1 Esitutkimus	26
	6.1.2 Luonnostelu	26
	6.1.3 Suunnittelu	27
	6.1.4 Viimeistely	27
	6.2 Menetelmät.....	28
7	Valmistusmenetelmät.....	29
	7.1 Leikkaus	30
	7.2 Särmäys	32
	7.3 Hitsaus	32

	2
7.4 Koneistus	33
8 Standardit.....	33
8.1 Koneturvallisuusstandardi	33
8.2 CE-merkintä	34
9 Karsinta- ja katkaisulaitteen suunnittelu.....	35
9.1 Esitutkimus	35
9.2 Luonnostelu ja konsepti	41
9.3 Suunnittelu	46
9.3.1 Karsintalaite	46
9.3.2 Katkaisulaite.....	53
9.4 Viimeistely	58
10 Tulokset.....	60
10.1 Benchmarking.....	61
10.2 Valmistettavuus.....	62
10.3 Kustannusarvio	63
10.4 Prototyypin testaus	64
11 Pohdinta	67
Lähteet.....	71
Liitteet	75
Liite 1. Puu leikkausvoima testipenkin tulokset	75
Liite 2. Sylinterinurjahduslasku	76
Liite 3. Asiapainolasku.....	77
Liite 4. Terään tuleva maksimimomentti	78
Liite 5. Karsintalaitten runkotappien lasku	79
Liite 6. Puomin koukistusvoiman lasku	80

Liite 7.	Terän puristusjännityslasku.....	81
Liite 8.	Ruuviliitoksen laskenta	82
Liite 9.	Karsintalaitteen riskianalyysi.....	84
Liite 10.	Katkaisulaitteen riskianalyysi.....	85
Liite 11.	Puiden halkaisijoiden ja oksien mittaus	86
Liite 12.	Karsintalaitteen kustannusarvio	87
Liite 13.	Katkaisulaitteen kustannusarvio	88

Kuviot

Kuvio 1.	Puun käyttö eri teollisuuksissa.	9
Kuvio 2.	Ponsse Scorpion King-harvesteri.	12
Kuvio 3.	Ponsse H8 harvesteripää	12
Kuvio 4.	Biojack 110 Energiapuukoura	13
Kuvio 5.	Puunkorjuuprosessi	14
Kuvio 6.	Eukalyptuspuun runko-oksa suhde.	16
Kuvio 7.	Ranskassa mitattujen kuusien tuloksia.	17
Kuvio 8.	Mittasaksi	18
Kuvio 9.	Leikkausvoima mittaava testipenkki.....	22
Kuvio 10.	Leikkausmenetelmien vertailu	31
Kuvio 11.	Metsäperävaunun nostokyky	37
Kuvio 12.	Puomin varsikiinnitys.....	38
Kuvio 13.	Puomin koukistusvoiman testaus.....	39
Kuvio 14.	Kouran kiinnitys vaakaan.....	39
Kuvio 15.	Puomin käytettävyydestarkastus	40
Kuvio 16.	Paperiprototyyppi puomin toiminta alueesta.	40
Kuvio 17.	Karsinta kahdella terällä	43
Kuvio 18.	Kolmiteräkarsintajärjestelmä	43

Kuvio 19. Saksileikkaus paperiprototyyppi.....	44
Kuvio 20. Karsintaterän lujuuslasku	47
Kuvio 21. Tapin leikkausjännitys	49
Kuvio 22. Nippasuoja.....	50
Kuvio 23. Karsintalaite.....	52
Kuvio 24. Koura ja katkaisulaite	55
Kuvio 25. Katkaisulaiteen sisärakenteet.....	56
Kuvio 26. Hardox 400 Wöhler-käyrä	57
Kuvio 27. Aisapainolaskun vapaakappalekuva	60
Kuvio 28. Puun karsinta prototyypillä.	64
Kuvio 29. Kuusi ennen karsintaa	65
Kuvio 30. Kuusi karsittuna	65
Kuvio 31. Karsintalaitteen katkaisujälki.....	66
Kuvio 32. Perävaunun taipumakohta	67

Taulukot

Taulukko 1. Rungon ja oksan paksuussuhde	19
Taulukko 2. Puiden ominaisuuksia	21
Taulukko 3. Puu teoreettinen leikkausvoima	22
Taulukko 4. Teroittamattoman ja teroitettun leikkausvoiman ero	23
Taulukko 5. Valmistusmenetelmien hintoja.....	30
Taulukko 6. Vaatimuslista	36
Taulukko 7. Metsäperävaunun puomin koukistusvoima	38
Taulukko 8. Karsintalaitteen painotettu arviointitaulukko	42
Taulukko 9. Leikkausterän painotettu arviointitaulukko.....	45
Taulukko 10. Vakaajatanko hintavertailu	51
Taulukko 11. Benchmarking-vertailu.....	61

Keskeiset termit

ATV	All-terrain vehicle, suomennettuna 'kaikkien maastojen ajoneuvo', käytetään myös mönkijä-sanana lyhenteenä.
Harvesteri	Hakkuukone, eli metsätraktori, jolla voidaan suorittaa kaikki puun korjuun vaiheet, kaadosta pinoamiseen.
Harvesteripää	Harvesterin osa, jolla puu karsitaan ja katkaistaan.
Kasvualusta	Maa-aines, jossa puut kasvavat.
Koura	Laite, jolla voidaan tarttua puihin kiinni niiden siirtämistä varten.
Kuormain	Puomi, jota voidaan operoida hydraulisesti puiden siirtoa varten.
Metsäperävaunu	Perävaunu, joka on tarkoitettu puun ajoon.
Murtoraja	Hetki kun materiaali, joka on jännityksen alla, murtuu.
Myötöraja	Hetki kun materiaali, joka on jännityksen alla, muuttuu pysyvästi muotoaan.
Puomi	Kuormaimen vaakasuuntainen runko.
Rajapinta	Kahden laitteen tai laitteen ja ohjelmiston yhtymäkohta.
SFS	Suomen standardisoimisliitto
Wöhler-käyrä	Käyrä, josta näkyy metallimateriaalin kuormituskestävyys suhteessa kuormittavien iskujen määrään.
3D-mallinnus	Kolmiulotteisen mallin tuottaminen tietokoneen avulla erikoisohjelmistolla.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella energiapuun katkaisu- ja karsintalisävaruste ATV-metsäperävaunuun. Tehtävän taustalla oli Nokka Oy:n tarve kehittää tuotevalikoimaa ja lisävarustetarjontaa. Toimeksiantaja oli Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, joka toteutti työn Joinde Oy:lle. Joinde Oy tekee Nokalle kehitystyötä. Aihe oli tutkimuksen arvoinen, koska ATV-metsäperävaunuun sopivat varusteet ovat kasvava markkina-alue, ja Nokka Oy haluaa olla tarjonnallaan markkinoiden kärjessä. Nokka Oy on saanut uusia markkina-alueita kehittämällä Nokka Forest Pro ATV-perävaunumallistoa ja haluaa jatkaa tätä kehitystä. Mallistossa on joitain lisävarusteita, mutta suurempi lisävarustevalikoima mahdollistaa monipuolisemman metsäperävaunun sekä erottuu markkinoilla kilpailijoista tarjoamalla jotain, mitä kilpailijat eivät tarjoa. (Yritys n.d.)

Tavoitteena oli suunnitella energiapuun katkaisu- ja karsintalaite, jonka voi laittaa markkinoille, joten tuotteen täytyi olla valmistettavissa ja hinnaltaan sopiva. Tuotteen pääasiallinen kohderyhmä on metsurit ja metsätöitä tekevät sekä puoliammatillaiset tai harrastajat, jotka käyttävät ATV-metsäperävaunua. Opinnäytetyöstä rajattiin markkinatutkimus pois, koska se olisi laajentanut työn liian suureksi. Markkinatutkimuksella olisi voinut tarkemmin todentaa, mikä lisävaruste on tällä hetkellä markkinoiden halutuin. Nokka Oy tekee itse koko ajan selvitystä siitä, mikä on markkinoiden tilanne ja tarve, joten tätä tietoa oli mahdollisuus hyödyntää. Toimeksiantaja halusi opinnäytetyössä selvittävän, onko tuote valmistettavissa Nokka Oy:llä, mitkä ovat valmistuskustannukset ja millainen on tuotteen toimivuus sekä käyttöikä. Toimeksiantaja halusi myös yhtenä työn tuloksena valmistuspiirustukset, jotka sisältävät mallinnuksen ja lujuuslaskennan, jotta laite voidaan valmistaa. Sovittiin, että katkaisu sekä karsinta voivat olla erilliset laitteet, ja kun näin luonnostelun jälkeen todettiin, karsintalaite toteutettiin ensin.

Raportissa käsitellään keskeiset termit ja avataan lisävarusteen tarkoitusta sekä tarvetta markkinoilla energiapuun käsittelyssä. Raportti käsittelee myös energiapuun markkinoita Suomessa ja sen suuruutta puuteollisuudessa, tarkastelee puuta materiaalina sekä siihen liittyviä ominaisuuksia karsinnan ja katkaisun kannalta. Lisäksi esi-

tellään suunnitteluun liittyvät oleelliset asiat, kuten tuotekehitys, sen prosessi ja menetelmät, tuotteiden valmistettavuus, materiaalivalinta sekä lujuuslaskenta. Raportissa käydään läpi lisävarusteen suunnittelutyö, katkaisu- ja karsintalaitteen esitutkimus, luonnostelu, suunnittelu ja viimeistely sekä jälkiarvioinnit, kuten valmistettavuus, materiaalivalinta ja lujuustarkastelu. Koska tavoitteena oli, että lisävaruste vieään markkinoille, on tärkeää täyttää SFS-standardin vaatimukset ja tarkistaa, että käyttö on turvallista. Tulokset koostuvat kustannusarviosta, valmistettavuudesta ja prototyypin testauksesta. Tavoitteena oli suunnitella lisävaruste, joka on helposti valmistettava ja kilpailukykyinen hinnaltaan, eli energiapuun katkaisu- ja karsintalaite, jolla Nokka Oy on markkinoiden edelläkävijä. Nokka Oy:lle tärkeimmät tulokset olivat työ-, valmistus- sekä kokoonpanopiirustukset.

Suunnittelu pohjautui tuotekehitysprosessin ja koneensuunnittelun perusteisiin sekä periaatteisiin ja seurasi sen mukaista kaavaa. Suunnittelutyön aluksi laadittiin projektisuunnitelma ja vaatimuslista, minkä jälkeen luonnosteltiin mahdollisimman monia vaihtoehtoja, joista valittiin yksi toteutettavaksi. Konseptin valitsemisen jälkeen luonnosteltiin ja suunniteltiin tuotetta. Suunnittelun valmistumisen jälkeen viimeisteltiin suunnittelutyö ja arvioitiin tuote käyttäen eri arviointikriteereitä, kuten kustannusarviota ja prototyypin testausta. Tuotetta voidaan myös arvioida benchmarking-menetelmää käyttäen tai käyttäjäpalautteella (Pahl & Beitz, 1986; Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Verho, 1985).

2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön aihe oli lähtöisin Nokka oy:ltä, mutta siirtyi Joinde Oy:lle toteutettavaksi. Joinde Oy osti Jyväskylän ammattikorkeakoululta tuotekehitystyön tätä projektia varten.

Jyväskylän ammattikorkeakoulu eli Jamk on vetovoimainen korkeakoulu, jossa on yli 8000 opiskelijaa ja 600 henkilökuntaan kuuluvaa. Jamk:n tavoite on olla Suomen paras korkeakoulu sekä laadussa, kansainvälisyydessä että yrittäjyydessä. (Tietoa JAM-Kista n.d.)

Jorma Nokkalan perustama Joinde Oy on liikkeenjohdon-, markkinoinnin- ja tuotekehityspalveluiden tuottaja. Yhden hengen yritys toimii pääosin konsultointitehtävissä.

Yritys on perustettu vuonna 2003, ja konsultoinnin lisäksi se toimii maatalouskoneiden tuonnissa sekä viennissä.

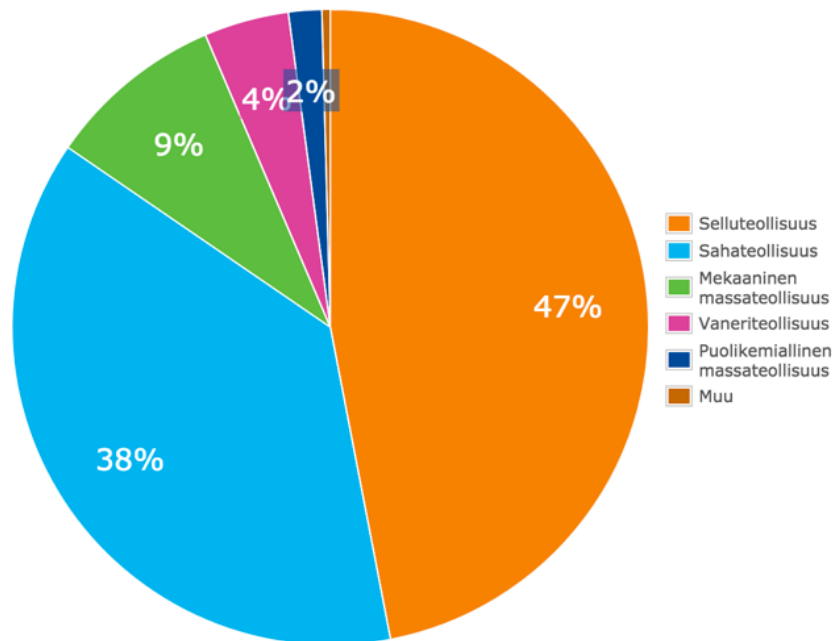
Nokka Oy on Muuramessa sijaitseva yritys, joka on perustettu vuonna 1967. Yritys työllistää 30 henkeä. Nokka aloitti toimintansa metalliverstaassa Viitasaarella, jossa tuotettiin laidunlypsylaite, lantarenki-lannanlevitin ja lumilinko. Vuonna 1970 Nokka siirtyi Muurameen. Yrityksen tuoterepertuaari on ollut hyvin monipuolinen, valmistus on sisältänyt henkilöauton perävaunuja ja traktoriin liitettäviä maatalouslaitteita. 1979 Nokka aloitti traktorisovitteisten metsäkoneiden valmistuksen, mistä lähtien metsäkoneet ja -laitteet ovat olleet suuri osa Nokan osaamista. ATV-sovitteiset metsäkoneet tulivat tuotantoon 2010 ja tässä Nokka on ollut vahvasti mukana. (Yritys n.d.)

3 Suomen metsät ja energiapuu

Puu on Suomelle tärkeä raaka-aine, se peittää kolmanneksen Suomen pinta-alasta, ja metsäteollisuus on Suomen toiseksi suurin teollisuuden ala, joka tuo yli 20 % Suomen vientituloista eli yli 20 mrd. euroa (Tilastot n.d.). Suomen kokonaismaapinta-alasta 75 % on metsää. Jos kaikki tämä metsä jaettaisiin jokaista asukasta kohti, niin se olisi noin 4,2 hehtaaria per asukas. Vuonna 2014 metsissä oli yhteensä 2360 milj. m³ puuta ja kasvua oli 104 milj. m³. Suomessa puuta siis riittää. Puun käyttö Suomessa jakautuu teollisuuden eri aloille. (Suomen metsävarat 2016.)

3.1 Puun käyttö

Luonnonvarakeskuksen mukaan vuonna 2016 metsäteollisuus käytti raakapuuta 67,4 milj. m³, joka oli neljä prosenttia enemmän kuin edellisenä vuonna. Suurin puunkuluttaja Suomessa oli selluteollisuus, 31,7 milj. m³, lisäystä edellisvuodesta oli +5 %. Sahateollisuus käytti puolestaan 38 %. Kuvioista 1 näkyy, miten puun käyttö jakautuu muille puuteollisuuden toimialoille.



Kuvio 1. Puun käyttö eri teollisuuksissa. (Metsäteollisuuden puunkäyttö 2017)

Energiapuun käyttö kuviossa 1 on osa mekaanista massateollisuutta sekä muuta kategoriaa (Metsäteollisuuden puunkäyttö 2017). Energiapuu kattaa monia teollisuusaloja, esimerkiksi saha- ja selluteollisuudesta tulevaa puujätettä käytetään energiapuuna. Vuonna 2015 Suomessa käytettiin raakapuuta 74,3 milj. m³, josta 87 % meni metsäteollisuuteen ja 13 % energiakäyttöön. Energiapuuta käytettiin 9,6 milj. m³, josta 56 % meni pientalojen lämmitykseen ja 44 % lämpö- ja voimalaitoksiin. (Puun kokonaiskäyttö 2017.)

3.2 Kestävä hakkuu

Suomen metsän kasvu on 104,4 milj. m³ joka vuosi. Tällä kasvunopeudella voidaan nykyisiä hakkuumääriä nostaa huomattavasti ja pysyä silti kestävän hakkuun rajoissa. Viime vuosina metsän tuotto on ollut 33 milj. m³ suurempi, kuin mitä sitä on hakkuutettu tai luontaisesti poistunut. Hakkuumäärä on ollut noin 78 % kestävän hakkuun määrästä, joten sitä voisi tehostaa nykyisestä jopa 20 milj. m³. Kestävän hakkuumahdollisuusarvion mukaan tukki- ja kuitupuuta voidaan hakata kestävästi 73 milj. m³ ja energiapuuta 21 milj. m³ vuodessa. Tehostamalla metsän hoitoa on mahdollisuus myös tehostaa metsän kasvua huomattavasti. Vuosittaista hakkuumäärää voitaisiin

lisätä jopa 40 % tämän hetkisestä tasosta. Lisäämällä hakkuun määrää täytyisi energiapuulle asetettu kertymätuotto ilman, että sillä olisi vaikutusta juurikaan kuitupuun tarpeeseen muilla metsäteollisuuden aloilla. Suositusten mukaiseen tasoon verrattuna metsänhoitoa tehdään tällä hetkellä vain puolella mahdollisesta pinta-alasta. Metsänhoitoa täytyisi tehostaa. Se edellyttäisi, että harvennushakkuut tehdään ajoissa sekä riittävän voimakkaasti. Samoin myös uudistushakkuu tulisi tehdä ajoissa ja päätehakkuun jälkeen aloitetaan heti metsän uudistus, jotta uusiokasvu alkaa mahdollisimman nopeasti. Uudistuksessa hyödynnetään jalostettuja siemeniä, hoidetaan taimikkoa tehokkaasti ja ajanmukaisesti, sekä hyödynnetään kasvatuslannoituksia nykyistä enemmän. (Puun käyttö 2015.)

3.3 Energiapuu

Vuonna 2010 Suomessa tuotettiin kaiken kaikkiaan 12,5 terawattituntia lämpö- ja sähköenergiaa energiapuulla (Ilikkanen, Keskinen, Korpilahti, Räsänen & Sirkiä 2011, 3). Yksi terawattitunti on miljardi kilowattituntia, toisin sanoen Helsingin kotitalouksien vuotuinen sähkönkulutus (Sähkösanasto n.d.).

Metsätehon ja Pöyryn tekemien tutkimuksien mukaan energiapuun käyttö kaksinkertaistuu 21,6 terawattituntiin vuoteen 2020 mennessä. Olemassa on suunnitelmia käyttää energiapuuta biopolttoaineiden jalostamoiden energiatarpeisiin. Arvioiden mukaan energiapuun potentiaalinen energiatuotto teknis-ekologisenä energialähteenä on jopa 42,9 terawattituntia vuoteen 2020 mennessä. (Ilikkanen 2011, 3.)

Vuonna 2010 tehdyt ennusteet ohitettiin jo odotettua aikaisemmin, kun viime vuonna lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin 19,4 milj. m³ energiapuuta, joka tuotti 37,2 terawattituntia sähköenergiaa. Viime vuoden energiatuotanto nousi 6 % vuoden 2015 tuotannosta. (Puun energiakäyttö 2017.)

Helsingin Sanomat julkaisi artikkelin, jossa esitettiin Suomen energiapuun potentiaalia jopa mahdolliseksi keinoksi vähentää Suomen velkaa. Tuottamalla kotimaista puuenergiaa voidaan vähentää tarvetta ulkomaalaisiin energialähteisiin ja täten myös vähentää energian ostoa ulkomailta. (Pohjonen 2017.) Energiapuussa on siis valtava po-

tentiaali ratkaisemaan Suomen energia- ja jopa taloudellisia tarpeita. Puuta myös riittää. Tuomalla markkinoille uusia apuvälineitä ja lisävarusteita voidaan auttaa metsänhoitajien tehtävää tehostamalla heidän työskentelyään.

4 Puun käsittely

Tarve puun käsittelyyn on moniulotteinen eri teollisuusalojen vaatimusten takia. Paperi-, saha- ja energiapuulla on eri mittatarkkuudet sekä käsittelyprosessit, jotta ne kelpaavat tuotannon käyttöön. Käsittelytavat määräytyvät markkinoilla olevien lisävarusteiden, logistisien vaatimusten sekä ympäristön ja tulevaisuuden tarpeiden mukaan.

Kohderyhmä katkaisu- ja karsintalaitteelle on metsätöitä puoliammattilaisena tai harrastemielessä tekevä henkilö, jolla on ATV-metsäperävaunu. Tavoitteena on, että markkinoille tulisi tehokkaita puunkorjuuvälineitä kohtuullisella hinnalla käyttömäärään nähden. Laitteet soveltuvat myös ammattikäyttöön, kuitenkin huomioiden, että arvioitu käyttöikä on lyhyempi. Nokka Oy:n mukaan Suomessa on vain muutama ammattimetsuri, joiden päätoiminen työkalu on ATV-metsäperävaunu. Pääkäyttäjär ryhmä olisi siis puoliammattilaiset ja harrastekäyttäjät. Ammattimetsuri, joka kaataa puun moottorisahalla, pystyy kahdeksan tunnin työvuoron aikana kaatamaan keskimäärin 25 puuta, kertoi Laukaan kunnassa toimiva metsuri. Jos laitteella tavoiteltaisiin samaa minimi tehokkuutta, päivittäinen katkaisu- ja karsintamäärä laitteille olisi 25 puuta, jotka ovat 15 cm halkaisijaltaan. Tämä tarkoittaisi 6 500 puuta vuodessa. Laitteiden tavoitteellinen käyttöikä olisi noin 10 vuotta. Jos laite olisi kovassa käytössä ja se saavuttaisi kaksinkertaisen tehokkuuden perinteiseen metsuriin verrattuna, päivittäinen karsintamäärä olisi 50 kappaletta 15 cm halkaisijaltaan olevaa puuta eli noin 13 000 puuta vuodessa. Tällöin laitteen käyttöikä olisi noin 5 vuotta. Näistä muodostuu arvio minimi ja maksimi käyttömääristä, joita tavoitellaan laitteelle. Edellä mainitut määrät ovat suuntaa antavia määreitä suunnittelua varten.

4.1 Markkinoilla olevat lisävarusteet

Markkinoilla on monia tuotteita puunkorjuuseen, mutta puutteet ovat vielä suuret ATV-kokoluokan tuotteissa. Nokka Oy:n myyntijohtajan mukaan on tärkeää, että

tuote on hinnaltaan soveltuva markkinoille. Jos yksittäisen lisävarusteen hinta on korkea suhteessa emolaitteen hintaan, on lisävarusteen investointi liian kallis. Ammattilaisten mukaan sopiva suhde emolaitteen ja lisävarusteen välillä on, kun lisävaruste on alle 10 % emolaitteen hinnasta.

Suurpuuteollisuudessa käytetään raskaita koneita, jotka ovat tehokkaita mutta kalliita. Kuviossa 2 näkyy esimerkkikone. Ponsse Scorpion King-harvesteri maksaa uutena 575 000€, joten laitteen hankinta ei ole yksityis- tai pienkäyttöön järkevä suuren investointihinnan takia. (Kiira & Mäkinen 2016)



Kuvio 2. Ponsse Scorpion King-harvesteri. (Kiira 2016)



Kuvio 3. Ponsse H8 harvesteripää (Ergo n.d.)

On mahdollista liittää pelkkä harvesteripää, kuten kuviossa 3, traktorikuormaimen, mutta kyseessä on kuitenkin kallis investointi, koska harvesteripää on yksi kalleimmista osista koko harvesterissa. Halvempiakin vaihtoehtoja löytyy markkinoilta, kuten pelkät energiapuukourat, jotka soveltuvat traktori- sekä ATV-kuormainkäyttöön. Suomessa on useita valmistajia, kuten Biojack, Farmikko, Kesla sekä Naarva. Valmistajasta sekä energiapuukourasta riippuen hinnat yksittäiselle kouralle alkavat noin 2000 €:sta ja voivat nousta jopa 100 000 €:oon. Kalleimmat kourat vastaavat Ponsse H8-harvesteripäätä, joten on kyseessä monitoiminen ja hyvin painava laite (Puuntuottaja 2015). ATV-käyttöön soveltuvia energiakourapäitä on kuitenkin hyvin rajoitettu määrä. Kouria, jotka ovat tarpeeksi kevyitä soveltuakseen ATV-käyttöön, löytyy vain muutama. Esimerkiksi Biojack ja Farmikko valmistavat kouria, jotka painavat 59 kg ja 110 kg (Biojack n.d., Karsiva n.d.).

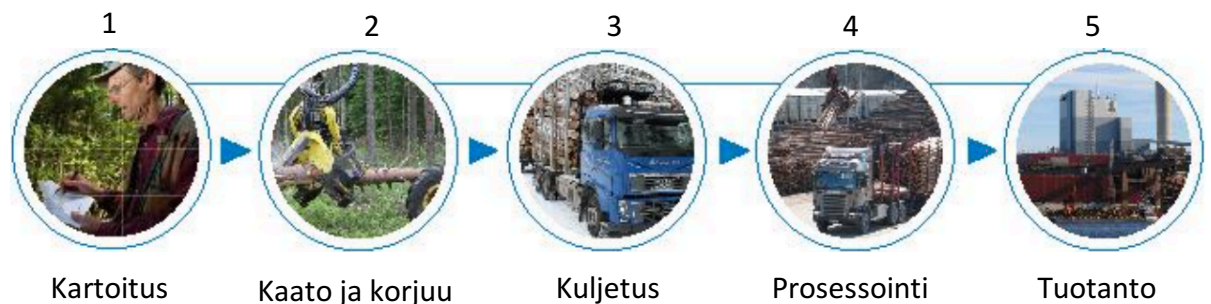


Kuvio 4. Biojack 110 Energiapuukoura (Biojack n.d.)

Tuotteiden hankintahinta on kuitenkin suuri. Biojack 110 energiapuukouran, nähtävillä kuviossa 4, hinta uutena on 1996 €, joka on yli 15 % Forest Pro 1042 hankintahinnasta (Puuntuottaja 2015). Markkinoille on saatava halvempia vaihtoehtoja, joilla voidaan käsitellä puuta monipuolisesti.

4.2 Logistiikka

Puun saaminen teollisuuslaitokselle sisältää monia logistisia vaiheita. Metsäteollisuus ry:n mukaan logistiikalla on merkittävä vaikutus kilpailukykyyn, ja sillä on arviolta 15-20 %:n osuus metsäteollisuusyrityksen liikevaihdosta. Suomen sisällä kuljetetaan vuodessa noin 80 miljoonaa tonnia metsäteollisuuden raaka-aineita ja tuotteita, josta 70-80 % on tiekuljetuksina. (Logistiikka ja liikenneväylät n.d.) Puunkorjuuprosessissa on viisi päävaihetta, kuten kuviossa 5 on kuvattu.



Kuvio 5. Puunkorjuuprosessi (Pajuoja & Hämäläinen 2012, muokattu)

Metsä kartoitetaan, puu kaadetaan ja korjataan, kuljetetaan teollisuuslaitokselle, prosessoidaan käyttöä varten ja siitä tuotetaan haluttua tuotetta (Pajuoja & Hämäläinen 2012). Logistiikalla on suuri vaikutus puuteollisuudessa, sen on oltava tehokasta ja toimivaa. Kun logistiikasta koituu metsäteollisuusyrityksille jopa 20 %:n kustannusliikevaihdosta, on sillä suuri merkitys menestykseen. Pienentämällä logistiikkakustannuksia voidaan tehostaa työtä ja kasvattaa yritysten voittoa. Yksi ratkaisu tähän on tarjota uusia, tehokkaampia tuotteita puunkorjuuseen.

4.3 Ympäristö ja tulevaisuuden tarpeet

Raskaiden koneiden tuottama tuho metsässä ensiharvennuksessa on suuri, ja se vaikuttaa tulevan metsän kasvuun. On tärkeää, että ensiharvennuksessa käytetty kalusto on kevyttä, jotta se ei vaurioita tulevan kasvuston juuristoa. (Suometsien puunkorjuu 2014.) Keski- ja isokokoiset metsäkoneet painavat 13 – 30 tonnia, ja esimerkiksi Ponsse Scorpion King painaa 22,5 tonnia (Kärhä, Keskinen, Kallio, Liikkanen & Lindroos 2006; Kiira 2016). Ajouran leveys on suositeltu jopa neljään metriin, mikä

vaatii valmiiksi tehdyn uran ajoa varten (Littiläinen, Hyppölä, Kariniemi, Nieminen, Poikela, Ranta, Roininen, Rumpunen, Tolonen & Äijälä 2003). Myös polttoainekustannukset ovat korkeammat suurilla koneilla.

ATV-kokoluokan metsänhoitoon tarkoitettulla metsäperävaunulla on paino hieman yli 500 kg (Yritys n.d.). Maastoon tuleva pintapaine on huomattavasti pienempi, kuin suurilla metsäkoneilla. ATV-metsäkoneen käytön jälkeen ei metsässä välttämättä ole edes jälkiä. ATV-yhdistelmää voidaan myös kuljettaa henkilöauton perävaunulla. Tästä seuraa pienemmät polttoainekustannukset sekä laitteenkuljetuksessa että itse ajossa.

Jos Suomen metsänhoidolliset määrät haluttaisiin täyttää, lisälaitteelle, jolla voidaan tehostaa metsänhoitoa, on suuri tarve. Nykyään suurempi vaikutus on myös ympäristövälisillä laitteilla. Nykytrendi on, että laitteet ovat puhtaampia, tehokkaampia, edullisimpia käyttää sekä pitkäkestoisempia. Tätä voidaan tehostaa käyttämällä laitteita, jotka kuluttavat vähemmän ja ovat kevyempiä ja edullisempia hankkia.

5 Puu materiaalina

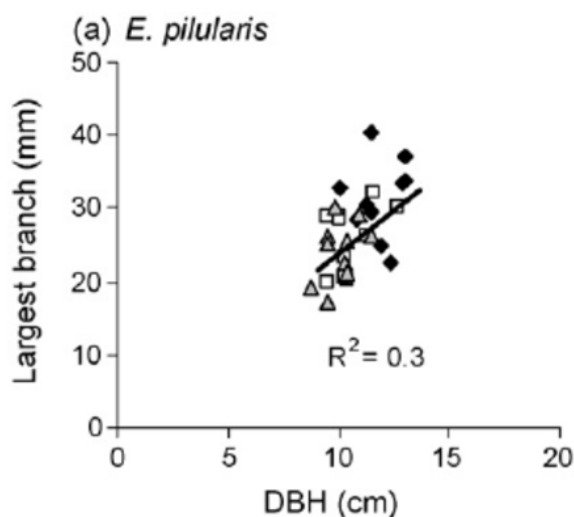
Suomen yksi suurimpia luonnonvaroja on puu. Sillä voidaan rakentaa, tuottaa paperia tai käyttää sitä energianlähteenä. Puun keruussa on kuitenkin huomioitava puun ominaisuuksia. Jotta puu voidaan viedä tehtaille tai tuottaa siitä energiaa, on se kaadettava, katkaistava ja karsittava. Tutkimalla puun rakennetta voidaan paremmin suunnitella puunkäsittelylaitteita ja selvittämällä sen leikkausvoima saadaan laskettua laitteiden vaatima voima, jolla puita täytyy käsitellä.

5.1 Rakenne

Puu koostuu kolmesta pääosasta: juurista, rungosta sekä oksista ja latvuksesta (Saranpää 2004). Puun juuret ovat ankkurointia varten, niiden tarkoitus on kiinnittää puu kasvualustaan, jotta se pysyy pystyssä. Ankkuroinnin lisäksi juuret imevät vettä sekä ravinteita kasvualustasta. Juuret pitävät rungon paikoillaan, runko taas toimii rakenteena, joka pitää koko puun pystyssä. Runko on myös kulkukanava vedelle sekä ravinnolle juurien, lehtien tai neulasien välissä. Puun kasvun kannalta kuitenkin tär-

kein tehtävä on rungolla, kun se jalostaa lehdissä tuotetusta sokerista, eli hiilihydraateista, puuainesta, jonka avulla puu kasvaa kokoa. Runko myös kannattaa oksia jotka hakevat tilaa lehdille tai neulasille, jotta niillä olisi suotuisa kasvualusta. Oksissa virtaa lehdille tai neulasille tarpeellinen vesi sekä ravinto. Lehdet tuottavat aurinkoenergian avulla sokeria, yhdistämällä vettä sekä hiilidioksidia. Tässä sokerin tuotantoprosessissa lehdet käyttävät hiilidioksidia ja tuottavat happea, joka on elintärkeä niin ihmisille kuin myös eläimille. Tämä sokeri on hiilihydraatti, jolla runko tuottaa puuainesta. Lehdet myös haihduttavat vettä, joka synnyttää puun sisäisen nestevirtauksen. (Puuaineen ominaisuuksia n.d.)

Tässä raportissa oli tärkeää huomioida puun rakenteessa rungon halkaisijan ja suurimman oksan halkaisijan suhde. Tämän suhteen kautta voi arvioida kuinka suuria oksat voivat olla karsintalaitetta käytettäessä, sekä arvioida näiden oksien katkaisuun tarvittavaa katkaisuvoimaa. Tutkimusta puiden koosta, kasvusta sekä ominaisuuksista on paljon, mutta rungon sekä oksan välisestä suhteesta oli vaikea löytää suoraa vertailua. Usein oli tutkittu maksimi oksanhalkaisijamittaa, eli MBD:tä verrattuna puun pituuteen tai puiden latvuksen pinta-alaan. Yksi suora vertailu löytyi Australiasta, jossa oli mitattu eukalyptuspuuta. Mittauksissa selvisi, että puun runko-oksa-suhde r on 0,3. Tämä tarkoittaa, että 10 cm rungossa suurin oksa on yleensä 3 cm. Alla olevasta kuviosta 6 näkyy mittaustuloksia sekä suhdeviiva. (Alcorn, Pyttel, Bauhus, Smith, Thomas, James & Nicotra 2007)

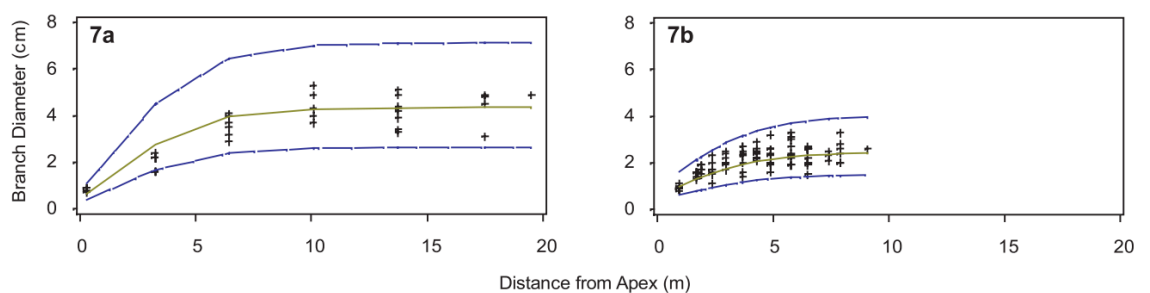


Kuvio 6. Eukalyptuspuun runko-oksa suhde. (Alcorn 2007)

Puun rungon mittausta tehtiin DBH menetelmällä, eli 'diameter at breast height' mitauksella, joka tarkoittaa, että halkaisija mitattiin ihmisen rinnan korkeudelta. Mitaukseen on annettu kuitenkin myös tarkka korkeus; 4,5 jalkaa tai 1,37 metriä maasta puun rungon suuntaisesti. (Measurement of tree diameter 2012.)

Yleisempi käytäntö puiden arviontiin on tuottaa kaava, jonka perusteella voidaan laskea puun ominaisuuksia, kun tiedetään tietyt lähtöarvot. Metsätutkimuslaitos on tutkinut biomassakaavoja koivulle. Kaavoilla voidaan laskea puusta tuleva massa eri osille, kuten rungolle, juuristolle tai eläville oksille. (Repola 2008)

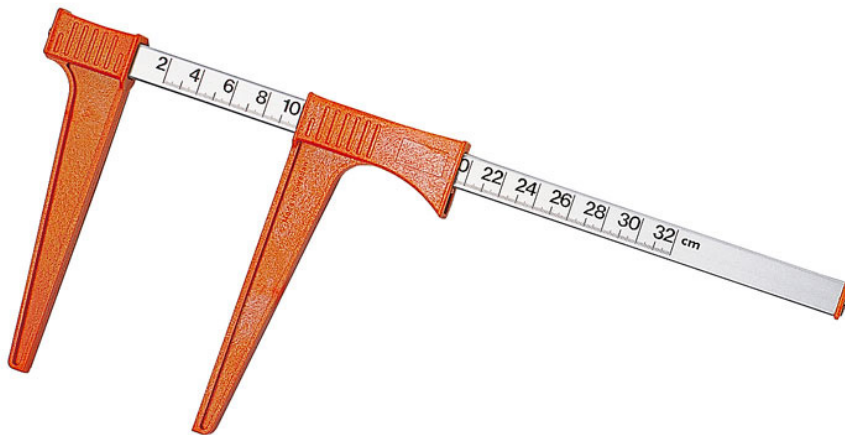
Näillä kaavoilla voidaan hyvin arvioida tulevaa tuottoa, mutta se ei kuitenkaan ollut hyödyllinen arvioimaan vaadittuja leikkausvoimia oksan karsinnassa. Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin Norjan kuusen runkokokoa oksan tyvihalkaisijaan nähden. Tutkimuksessa tarkasteltiin kahden eri alueen kuusia ja kuinka käytössä oleva analyysimalli toimisi eri alueilla ilman kalibrointia. Sen lisäksi tutkittiin itse puustoa. Tutkimuksessa todettiin, että joka alueelle täytyy tehdä oma kalibrointi kaavoille, joita laskuissa käytetään. Kuusien mittauksista kuitenkin saadaan tuloksia, joita voidaan käyttää vertailuna Suomen kuusiin. Kuviossa 7 nähdään oksan halkaisija senttimetreinä pystyakselilla ja puun pituus latvasta alkaen metreinä vaakakselilla. Plusmerkillä on merkattu mittausarvoja, vihreällä jatkuvalla viivalla on kaavalla laskettu arvio oksan koosta, sekä sinisellä katkoviivalla on merkitty laskettu arvio ± 1 keskihajonnasta. Kuviossa 7a on tulokset vanhasta puusta, jonka on 52 vuotta vanha, ja kuviossa 7b on nuoren puun tulokset, jonka on 25 vuotta vanha. (Loubère, Saint-Andrè, Hervè, & Vestøl 2004)



Kuvio 7. Ranskassa mitattujen kuusien tuloksia. (Loubère 2004)

Kuviosta 7a nähdään, että suurin oksan koko on viiden ja kuuden senttimetrin välillä, lisäksi nähdään millä kohtaa puuta oksa sijaitsee. Nuoremassa puussa kuviossa 7b suurin oksa jää noin kolmeen senttimetriin. Vaikka tässä ei verrata rungon halkaisijaa, nähdään, että oksan koko ei ylitä kuutta senttimetriä edes vanhassa puussa. Tutkimuksen mukaan voidaan arvioida, että alueen kuusien oksan koko on maksimissaan keskihajonnan ylärajalla.

Tätä raporttia varten tehtiin tutkimus, jossa selvitettiin Laukaan alueella olevien puiden runko-oksa-suhdetta, ymmärtääksemme paremmin puun rakennetta. Tutkimuksessa mitattiin kolmea puulajia: koivua, kuusta sekä mäntyä. Jokaisesta lajista mitattiin kaksikymmentä eri puuta. Rungon halkaisijan mittaukseen käytettiin mittasaksia, jotka näkyvät kuviossa 8.



Kuvio 8. Mittasaksi (Tree n.d.)

Halkaisija mitattiin viiden senttimetrin korkeudelta. Mittauksessa poikettiin DBH-mittausmenetelmästä, koska katkaisulaitteella pyritään katkaisemaan puu mahdollisimman läheltä maata, jotta saadaan maksimipituus puulle. Paksuin oksa mitattiin työntömitalla mahdollisimman läheltä puun runkoa, eli tyvihalkaisijamitalla kuten Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa. Paksuinta oksaa mitatessa käytettiin neljän metrin tikkaita, maksimi mittauskorkeus oli noin kuusi metriä. Mittauksessa ei huomioitu

kuolleita tai lahoja oksia vaan vain oksat, joissa oli elävät lehdet. Kuolleet oksat jätettiin huomioimatta koska niiden katkaisuun vaadittu voima on elävää oksaa pienempi. Kaikki mittaukset toteutettiin yhden viikonlopun aikana, joten sää sekä kasvuvaihtukset mittauksiin ovat olleet minimaaliset. Taulukossa 1 näkyy mitä mittauksessa selvisi, mittausalueella koivulla oli suurin runko-oksa suhde, suhdearvo r oli 0,22. Kuusi sekä mänty olivat arvoltaan vain 0,18 ja 0,17 r . Tulokset kaikista mitatuista puista löytyy liitteestä 11.

Taulukko 1. Rungon ja oksan paksuussuhde

Laji	Määrä	Halkasija väli (cm)	Suurin oksa (cm)	Suurin suhde (r)	Pienin suhde (r)	Keskiarvo (r)
Koivu	20	7-19	6,4	0,43	0,13	0,22
Kuusi	20	7-20	3,0	0,25	0,12	0,18
Mänty	20	7-18	3,2	0,23	0,13	0,17

Kaikkien tutkimuksien sekä tulosten kanssa täytyy huomioida sijainti sekä puiden yksilöllisyys. Arvot tehdystä tutkimuksesta Laukaan alueella ovat keskiarvoja, joihin löytyy poikkeuksia. Puut voivat olla hyvin erilaisia alueittain, joten kaikki tulokset tässä raportissa antavat tietoa, jolla voidaan suunnitella laitteet sopivaksi käyttöolosuhteisiin sekä huomioida mahdolliset maksimi puunkoot, joita käytössä voi tulla vastaan.

5.2 Leikkausvoima

Puun runko on osa, jota käytetään eniten paperi- sekä sahateollisuudessa sen koon ja rakenteen takia. Energiakäytössä kuitenkin voidaan käyttää kaikkia puun osia juurista oksiin. Puun täytyy olla määrämittäiseksi leikattu ja karsittu logistiikan sekä tuotannon vaatimien mittojen mukaan. Puuta käsitellään kahdella tavalla metsässä; rungon kaato ja katkaisu halutun mittaiseksi sekä oksien poisto rungosta. (Piesala 2011, 26, 34.; Ilvesniemi, Hartman, Hytönen, Lauren, Kaila, Kantola, Kiikkilä, Kremsa, Kubin, Lindgren, Lindroos, Moilanen, Murto, Nieminen, Nieminen, Penttilä, Piispanen, Saarsalmi, Smolander, Tamminen, & Ukonmaanaho 2012)

Puun leikkaus voidaan toteuttaa käytännössä kahdella eri päätavalla: sahaamalla moottorisahan tapaisella ketjuterällä tai puristamalla puu poikki terällä tai terillä. Sahan etu on sen nopeus sekä sen kyky katkaista hyvin tehokkaasti paksu puu ilman suurta voiman tarvetta. Sahakatkaisulaitteisto on kuitenkin monimutkainen sekä kallias toteuttaa, kertoi Nokan pääsuunnittelija. Puu voidaan vaihtoehtoisesti puristaa poikki terällä tai terillä. Puristuksen etuna on sen yksinkertainen rakenne, helppo käyttö sekä huolto. Tämän kaltaisessa katkaisussa suurin haitta on suuri voiman tarve, jotta puu saadaan katkaistua täysin. Tässä raportissa keskitytään puun katkaisuun terillä puristamalla, sen laitteiston edullisemman hankintahinnan vuoksi. Vaadittu voima, jolla katkaistaan joko puun runko tai oksa rungosta, on riippuvainen katkaistavan kohteen halkaisijasta. Mitä suurempi halkaisija, sitä suurempi voima vaaditaan katkaisuun. Huomioitavaa on, että kyseessä on puun poikkisyinen katkaisu, jolloin vaadittu voima on suurempi kuin jos puuta halottaisiin sen syyn suuntaisesti, kuten halkomakoneella tai kirveellä. Tavoitteena on kyky katkaista 15 cm halkaisijaltaan puu ja karsia 4 cm oksa. 15 cm puun katkaisuun teroittamattomalla terällä vaadittu laskennallinen voima on 247,4 kN.

Katkaisuvoima voidaan laskea puun leikkauslujuuden kautta. Taulukossa 2, sarakkeessa 9, on annettu eri puulajien leikkauslujuuksia, jotka ovat arvio maksimileikkauslujuudesta. Leikkauslujuudet voivat luonnossa poiketa näistä, koska puissa on yksilöllisiä eroja. Laskuissa on käytetty maksimiarvoa, jotta voidaan tarkistella haastavinta vaihtoehtoa ja arvioida suurin tarvittava leikkausvoima.

Taulukko 2. Puiden ominaisuuksia (Puuaineen n.d.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Koivu	460-				75	37	34		12	2,2		14,2	1,5	
	600-	0,6	5,3	7,8	144	50	134	6,9						4,8
	800				152	98	256		14	2,7		16,2	2,7	
Kuusi	300-				48	34	21	1,5	3,9		7,2	1,4	4,0	
	430-	0,3	3,6	7,8	76	49	88	2,7	6,6	1,2	3,2	10,8		
	640				133	79	240	3,9	11,8		21,0	1,8	5,3	
Mänty	300-				40	34	34	1,0	6,0	1,3	2,5	6,8	0,6	
	490-	0,4	4	7,7	98	54	102	2,9	9,8	1,9	4,0	11,8		5,1
	860				202	92	192	4,3	14,0	2,4	7,2	19,7	2,6	
Puna- pyökki	490-				73	40	56	6,9	6,4	2,7		9,8		5,1
	680-	0,3	5,8	11,8	121	61	132		7,8		7,2	15,7	1,9	
	880-				206	97	177	10,5	18,6	4,0		17,7		5,4
Tammi	390-		4,0	7,8	73	47	49	2,5	5,9			9,0	3,8	
	650-	0,4			97	62	88	3,9	10,8	3,4	6,6	12,0		3,9
	930		4,6	10,0	115	69	177	9,4	12,7			12,2	6,1	
Mahonki	410-				64	28			8,8			7,4		
	550-	0,3	3,0	4,2	83	49		2,5		1,8	3,6			
	900				128	72			10,6			9,3		

1 Tilavuuspaino	kg/m ³	8 Vetolujuus syitä vastaan kohtisuoraan	MPa
2 Kutistumisprosentti syiden suunnassa	%	9 Leikkauslujuus	MPa
3 Kutistumisprosentti säteen suunnassa	%	10 Brinell-kovuus syitä vastaan kohtisuoraan	MPa
4 Kutistumisprosentti tangentin suunnassa	%	11 Brinell-kovuus syiden suunnassa	MPa
5 Taivutuslujuus	MPa	12 Kimmokekerroin	MPa
6 Puristuslujuus syiden suunnassa	MPa	13 Vesiliukoisuus	%
7 Vetolujuus syiden suunnassa	MPa	14 pH-arvo	

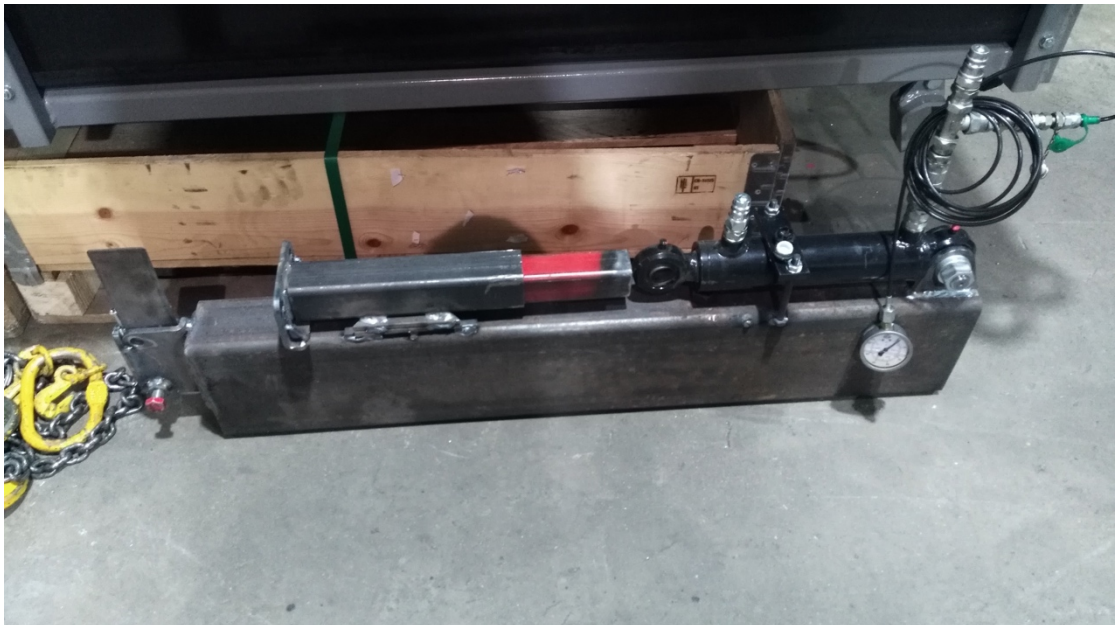
Testaus aloitettiin laskemalla vaadittu leikkausvoima puun katkaisuun lattaraudalla, jota ei ole teroitettu. Terävän leikkuuterän teoreettinen laskenta on hyvin aikaa vievää, joten opinnäytetyön aikarajoitteen takia sitä ei ollut mahdollista toteuttaa. Päädyttiin siten seuraavaan ratkaisuun, jossa lasketaan yksinkertaisella menetelmällä teroittamattoman lattaraudan leikkausvoima, jonka jälkeen verrataan tuloksia testipenkistä saatuihin tuloksiin. Testipenkissä leikataan sekä teroittamattomalla että teroitettulla lattaraudalla ja tästä voidaan verrata teoreettista laskettua leikkausvoimaa käytäntöön, ja nähdä kuinka paljon tehokkaampi teroitettu terä on. Laskennalliset tulokset ovat taulukossa 3. Tulokset ovat laskettu käyttäen kaavaa:

$$\tau = \frac{F}{A}, \text{ jossa } \tau \text{ on leikkauslujuus, } F \text{ on leikkausvoima ja } A \text{ on leikkaus pinta-ala}$$

Taulukko 3. Puu teoreettinen leikkausvoima

Halkaisia (mm)	Pinta-ala (mm ²)	Leikkauslujuus (Mpa)	Leikkausvoima (N)	kN
20	314,15927	14	4398,2297	4,40
30	706,85835	14	9896,0169	9,90
40	1256,63706	14	17592,9189	17,59
80	5026,54825	14	70371,6754	70,37
120	11309,73355	14	158336,2697	158,34
150	17671,45868	14	247400,4215	247,40
160	20106,19298	14	281486,7018	281,49
200	31415,92654	14	439822,9715	439,82

Laskuissa selvisi, että teoreettinen leikkausvoima on lineaarisesti nouseva puun halkaisijaan nähden, eli halkaisijan noustessa myös vaadittu leikkausvoima nousee. Testipenkki rakennettiin siten, että sillä pystyy halkomaan puuta eri terillä. Kuviossa 9 näkyy rakennettu testipenkki. Teränä oli 8 mm paksu lattarauta. Leikkausvoimaa mitattiin painemittarilla, josta laskettiin katkaisusylinterin tuottama voima.



Kuvio 9. Leikkausvoima mittaava testipenkki

Testaus toteutettiin siten, että samalle puukappaleelle tehtiin kaksi leikkausta, teroitamaton ja teroitettu. Leikkaus tehtiin ensin teroitetulla terällä, koska sen vaikutus

puun muodonmuutokseen oli pienempi. Sen jälkeen leikattiin teroittamattomalla terällä 10 cm etäisyydellä ensimmäisestä leikkauksesta. Tavoitteena oli aina leikata kohdasta, jossa ei ollut oksaa ja joka oli lähes saman kokoinen halkaisijaltaan. Testipenkistä saadut tulokset vahvistivat teoreettisen laskentaosuuden tulokset teroittamattoman lattaraudan suhteen, joten voidaan olettaa, että tulokset ovat luotettavia. Teoreettisessa laskennassa 75 mm halkaisijaltaan olevan puun leikkausvoimaksi tuli 61,85 kN ja testipenkissä leikatun 75 mm halkaisijaltaan olevan puun leikkausvoimaksi tuli 57,68 kN. Ero tuloksissa on alle 7 %, joka on lähes mitätön ja todennäköisesti tulee tuoreen puun leikkauslujuuden erosta laskennalliseen arvoon verrattuna. Leikkauslujuuden mittaus ei ollut mahdollista ilman vaadittuja mittauslaitteita. Testauksen kannalta se olisi ollut tärkeää, jotta tulokset olisivat olleet tarkemmat. Nähdään kuitenkin, että teoreettinen tulos on lähellä käytännön tulosta. Testaus myös osoitti teroittamattoman ja teroitettun lattaraudan vaatiman leikkausvoiman eron. Taulukossa 4 on eri mitattujen puulajien keskiarvotulos prosentteina teroittamattoman ja teroitettun leikkausvoiman välillä. Liitteessä 1 löytyvät kokonaistulokset leikkausvoimaa mittaavasta testipenkistä.

Taulukko 4. Teroittamattoman ja teroitettun leikkausvoiman ero

Puu laji	Ero (%)
Koivu	51,33
Kuusi	48,48
Mänty	42,35
Keskiarvo	47,35

Testissä selvisi, että terävä leikkauspinta voi vaatia jopa yli 50 % vähemmän voimaa kuin tylsä leikkauspinta. Halkaisijaltaan 75 mm oleva oksa leikattiin teroittamattomalla lattaraudalla, joka vaati 57,68 kN voimaa katkaisuun. Teroitetulla terällä 75 mm oksan katkaisuun meni vain 33,93 kN, joka on 41,18 % vähemmän voimaa. Teroituksella on siis todella suuri merkitys puun leikkuussa ja vaaditun leikkausvoiman vähentämisessä. Varsinaisia leikkausvoimatuloksia käytettiin sekä katkaisu- että karsinta-voiman arviointiin. Tulokset ovat kuitenkin vielä puutteelliset ja tuloksien keruuta

olisi tarpeen vielä jatkaa, jotta ne olisivat todella luotettavat. Tulokset jäivät kesken, koska testipenkin omistama yritys teki konkurssin ja täten ei ollut enää mahdollisuutta suorittaa lisätestejä. Saadut tulokset ovat kuitenkin lähellä muita tehtyjä leikkausvoimatestejä. Ranskan Clermont yliopistolla tehdyssä tutkimuksessa 80 mm halkaisijalta olevan oksan katkaisu vaati 33,0 kN:n voimaa 8 mm paksulla terällä, joka on hyvin verrattavissa työssä tehtyyn tutkimukseen (Dargnat, Devemy, Fauroux, Pellet, Hatton, Perriguet, Goubet, Chebab, Bouzgarrou, Gagnol & Gogu 2014). Täytyy kuitenkin huomioida, että puulaji sekä leikkausolosuhteet olivat erilaiset kummassakin testissä. On olemassa useita Leikkaustestejä, joissa leikkausvoimat ovat samaa suuruusluokkaa kuin tässä opinnäytetyössä toteutetussa testissä.

Laskelmien ja testien jälkeen saatiin katkaisu- ja karsintavoimat suunnittelua varten. 15 cm puun katkaisuvoimaksi teroitettulla terällä vaaditaan noin 117 kN. 4 cm oksan karsintaan vaadittu katkaisuvoima on hieman yli 8 kN. Arvot on laskettu taulukko 3:n leikkausarvoista, jotka on kerrottu teroitettun ja teroittamattoman leikkausvoiman eron keskiarvolla 47,35 %, jotta saadaan arvio teroitettun terän vaaditusta leikkausvoimasta. Suunnittelussa käytetään näitä arvoja maksimiarvoina, johon sekä katkaisu- että karsintalaitteen on kyettävä.

6 Tuotekehitys

Business dictionary:n mukaan tuotekehitys tarkoittaa sellaisten tuotteiden luomista, joilla on uusia tai eri ominaisuuksia, jotka tarjoavat uuden tai lisäedun käyttäjälle (Product development N.d). Tarkoituksena on siis saada tuotettua lisäarvoa tai hyötyä käyttäjälle tuotekehityksen kautta.

6.1 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehityksen läpiviemiseksi on tärkeää suorittaa prosessi hallitusti. Laajojen kokonaisuuksien toteuttaminen on lähes mahdotonta ilman etukäteen määritettyjä vaiheita tai tavoitteita. Tätä kutsutaan työskentelymetodiikaksi. (Pahl & Beitz 1986) Tuotekehitysprosessiin on monia ratkaisuja ja malleja, kuten Cooperin stage-gate-malli sekä Pahlin ja Beitzin suunnitteluprosessimalli.

Cooperin malli perustuu niin sanottuun stage-gate-malliin, eli vaihe-portti malliin. Tällä menetelmällä jaetaan tuotekehitysprosessi hallittuihin osiin, jotta se on helposti seurattavissa. Vaiheesta seuraavaan pääseminen edellyttää, että mennään portin läpi. Portin läpi pääsemiseksi täytyy vaadittujen kriteerien ensin täytyä. Tällaisella mallilla voidaan hyvin seurata prosessin etenemistä sekä hallinnoida kuluja. Vaiheita sekä portteja on aina tarpeen mukaan kuitenkin siten, että ne alkavat ideointivaiheella ja päättyvät seurantavaiheeseen. Prosessi on suoraviivainen ja joissain tapauksissa rajoittava malli, varsinkin jos täytyy palata takaisin edelliseen vaiheeseen. (Cooper 2008)

Pahlin ja Beitzin suunnitteluprosessimallissa on neljä vaihetta: esitutkimus, luonnostelu, suunnittelu sekä viimeistely. Pahl ja Beitz (Pahl 1986, 34) kuvaavat suunnittelu-prosessiin vaaditut edellytykset, jotta saavutetaan paras mahdollinen lopputulos seuraavasti:

- on määritettävä tavoitteet
- on osoitettavat rajoitukset
- on hylättävä ennakkoluulot
- on etsittävä vaihtoehtoja
- on arvesteltava vaihtoehdot
- on tehtävä päätöksiä

Nämä kohdat muodostavat alustan, jonka päälle voidaan aloittaa rakentamaan suunnitelmaa sekä tuotekehitystä. (Pahl 1986)

Lisäksi täytyy ottaa huomioon halutun tuotteen realistinen toteutettavuus sekä sen vaatima aika. Tuotekehitysprosessin jokainen vaihe voi kestää tunteja, päiviä tai jopa kuukausia. Projektin suuruuteen nähden on käytetyn ajan oltava kohtuullinen, jotta voidaan toteuttaa hyväksyttävä lopputulos. (Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Verho 1985)

Tämä opinnäytetyö pohjautuu Pahlin ja Beitzin suunnitteluprosessimalliin. Malli antaa joustavuutta joka vaiheessa muuttaa sekä muokata hieman suuntaa tarvittaessa, vaikkakin suunta sekä vaiheet ovat tarkkaan määritetty. Itse tuotteen lopullista toteutusta, luonnetta sekä tarvittuja vaiheita on vaikea alussa tietää. Cooperin malliin

olisi ollut liian haastava määrittää vaiheet sekä portit työn muuttuvien vaiheiden takia. Cooperin malli on parempi, jos toimintamalli sekä prosessin vaiheet ovat jo tiedossa. Pahlin ja Beitzin tuotekehitysprosessi etenee loogisesti, antaen tilaa luovudelle, mutta luoden kuitenkin struktuurin, jota seurataan.

6.1.1 Esitutkimus

Esitutkimusvaiheessa tavoitteena on kerätä informaatiota. Mitä laajempi ymmärrys ja käsitys aihealueista, jotka liittyvät tulevan tuotteen kehitykseen on, sitä paremmat edellytykset ovat mahdollisiin ongelmanratkaisuihin sekä lopputulokseen. Tärkeintä tässä vaiheessa on huomioida tekniset vaatimukset ja halutut toiminnot, koska ne määrittävät lopullisen tuotteen. On ymmärrettävä myös, mitkä standardit ja määräykset vaikuttavat lopputulokseen, jotta ne voidaan huomioida tuotekehitysprosessin aikana. Esitutkimusvaiheen suurin tuotos projektin lopputulosta ajatellen on vaatimuslista. Kun vaatimuslista on kunnossa ja ottaa huomioon toimeksiantajan vaatimukset, voidaan listaa käyttää seuraavien vaiheiden tarkistukseen. Vaatimuslista on työkalu, jolla saadaan määritettyä ominaisuudet sekä toiminnot, jotka ovat tärkeimmät tuotteen toimivuuden kannalta. (Pahl 1986)

6.1.2 Luonnostelu

Airilan ja muiden (1985, 17) mukaan tässä vaiheessa kehitettävälle tuotteelle yritetään löytää vaihtoehtoisia ratkaisuperiaatteita. Tämän ideoinnin toteuttamiseen voidaan käyttää apuvälineitä, kuten aivoriittä. Tarkoitus luonnosteluvaiheessa on tuottaa mahdollisimman paljon ideoita, joilla esitetty ongelma voidaan ratkaista. Luonnostelun tuotoksena on hahmotelmia, ei valmiita piirustuksia tai yksityiskohtaisia suunnitelmia. Ennakkoluulot ovat varsinkin luonnosteluvaiheessa monesti rajoittava tekijä, kuten Pahl ja Beitz edellä listasivat. Täytyy olla avoin kaikille ajatuksille ja vastan jälkeen, kun on riittävästi luonnosteltu, voidaan ruveta poistamaan tuotoksia, jotka eivät sovi ongelman ratkaisuun. Jatkokehittävän luonnoksen valitsemiseen on työkaluja, kuten painotettu arviointitaulukko. Taulukossa on asetettu kriteerit ja jokainen luonnos arvioidaan antamalla arvosana. Kriteerit ovat painotettu, jotta valinnassa tärkeimmät kriteerit vaikuttavat enemmän. Arvosanat lasketaan yhteen ja paras luonnos valitaan jatkokehitykseen. (Pahl 1986)

6.1.3 Suunnittelu

Suunnittelu, eli konstruointi, on usein aikaa vievin sekä mahdollisesti haastavin vaihe tuotekehitysprosessia, koska luonnostellusta ideasta on saatava toimiva kokonaisuus. Ennen varsinaista suunnitteluvaiheen aloitusta on syytä palata esitutkimuksessa tehtyyn vaatimuslistaan sekä tietoperustaan tarkistamaan, että valittu luonnos täyttää toimeksiantajan vaatimukset ja vastaa vaatimuslistaa. Kyseessä on ongelmaratkaisu-vaihe. Tavoitteena on huomioida kaikki mahdolliset epäkohdat, jotta lopputulos on toimiva. Suunnittelun aikana voidaan suorittaa testejä todentamaan, onko valittu luonnos toimiva ratkaisu. Testit voivat olla esimerkiksi lujuuslaskuja, pienoismalleja, prototyyppejä tai vaikka tietokonesimulointeja. Jos todetaan valitun luonnoksen olevan toteuttamiskelvoton, on palattava luonnosteluvaiheeseen. Suunnitteluvaiheessa luonnoksesta tehdään toimiva. (Pahl 1986)

Suunnitteluvaiheessa on eri menetelmiä, joilla voidaan ohjata, minkä tyyppinen tuote tehdään. Design for manufacturing and assembly, eli DFMA on suunnittelumenetelmä, jolla pyritään suunnittelemaan osat ja tuotteet siten, että ne ovat tarkoituksenmukaisinta valmistaa ja koota. (Design 2016)

6.1.4 Viimeistely

Pahl ja Beitz ovat määrittäneet viimeistelyn osaksi konstruointia, jossa täydennetään teknisen kehitelmän kokoonpanorakenne lopullisilla määräyksillä, jotka määrittävät kaikkien yksittäisosien mitoitus, muotoa, työaineksia sekä pinnanlaatua. Määräyksissä myös harkitaan valmistus- ja käyttömahdollisuudet ja lopulliset kustannukset sekä tehdään sitovat piirustukset ja muut asiakirjat kehitelmän konkreettista toteuttamista ja hyödyntämistä varten.

Viimeistely on vaihe "jossa teknisen kehitelmän kokoonpanorakenne, täydennetään lopullisilla määräyksillä, jotka koskevat kaikkien yksittäisosien muotoa, mitoitus, pinnanlaatua ja työaineksia, ja jossa harkitaan valmistus- ja käyttömahdollisuudet sekä lopulliset kustannukset ja laaditaan sitovat piirustukset ja muut asiakirjat kehitelmän aineellista toteuttamista ja hyödyntämistä varten." (Pahl & Beitz 1986, 458.)

Viimeistelyssä luodaan se pohja, jonka päälle voidaan rakentaa tuotteen tuotanto sekä myynti. Tässä tulisi arvioida ja selvittää tarkasti tuotteen vaatimat valmistuskriteerit, kustannukset myyntiä varten sekä valmistettavuus. Asiakirjat luodaan siksi, että tuote pohjautuu toimiviin ratkaisuihin, ja että on olemassa ohjeet sen valmistukseen ja käyttöön. Viimeistelyvaiheessa voidaan vielä tehdä muutoksia ja optimointeja tuotteelle, jotta se olisi parempi joko kustannuksiltaan tai käyttötehokkuudeltaan.

6.2 Menetelmät

Vaatimuslistan tarkoitus on tarkkaan eritellä, mitkä ovat toimeksiantajan vaatimukset tuotteelle. Lista voidaan eritellä kiinteät vaatimukset (kv), vähimmäisvaatimukset (v) sekä toiveet (t). Vaatimuslista ohjaa suunnittelua antamalla rajat, joiden sisällä täytyy pysyä. (Huhtala, Makkonen, Ojanen & Rusanen 1987, 40 - 42)

Benchmarking on menetelmä, jossa tuotetta verrataan vastaavaan tuotteeseen tai sitä verrataan tuotteiden ominaisuuksien perusteella. Tällä vertailumenetelmällä saadaan tuloksia, jotka kertovat tuotteen kyvystä kilpailla markkinoilla. Mittareina käytetään yleensä laatua, aikaa sekä hintaa. Kyseisillä mittareilla saadaan mitattua vertailukelpoisia tuloksia, joiden kautta vertailu toteutetaan (Roy 2005). Benchmarkingin kautta voidaan verrata lopputuotetta markkinoilla oleviin tuotteisiin ja käyttäen edellä mainittuja mittareita saadaan arvio tuotteen tulevasta kilpailukyvystä markkinoilla.

Prototyypointi on prosessi sekä ajattelutapa, jolla luodaan prototyyppi. Prototyyppi on SFS 9241-210 standardin mukaan "tuotteen tai järjestelmän tai sen osan malli, jota voidaan käyttää, vaikkakin rajoitetusti, analysointiin, suunnitteluun ja arviointiin" (SFS-EN ISO 9241-210 2010, 14). Prototyypillä on mahdollista luoda edullisesti ja nopeasti eri tarkoituksia varten tuote, jolla voidaan todeta tuotteen käytettävyys, toimivuus tai muita ominaisuuksia. Tavoitteena on säästää kustannuksissa tuottamalla halvempi vaihtoehto, jonka toimivuus voidaan todeta, jottei tarvitse tuottaa valmista tuotetta, joka todetaan käyttökelpottomaksi. Prototyyppi voidaan rakentaa monella eri tapaa, joista yksi on paperiprototyypointi. Paperiprototyypit ovat paperipohjaisia luonnoksia, joilla luodaan suunniteltu rajapinta (Linek 2015). Paperi on helposti muo-
toiltava sekä halpa materiaali, johon on helppo tulostaa ja luonnostella kuvia sekä

tekstiä, ja sen etu on nopea testaus sekä muutos aika. On mahdollista tuottaa sekä testata idea minuuteissa ja sen kustannukset ovat käytännössä käytetyn paperin hinta. Testauksilla saadaan tuloksia, jotka auttavat suunnittelussa. Prototyyppi voi myös olla suunniteltu kone kokonaisuudessa. Tavoitteena on löytää kaikki ongelmat ennen tuotteen tuotantoon panna, säästää aikaa sekä rahaa. Ongelmat voivat olla tuotteen valmistuksessa, kokoonpanossa tai käytössä. Prototyypin rakentamisen aikana voidaan havaita ongelmat ja tehdä vaaditut muutokset niihin, jotta ne ovat tehokkaita tuottaa ja käyttää. (Jokinen 1999, 98)

7 Valmistusmenetelmät

Yleisimmät konepajan valmistusmenetelmät ovat leikkaus, taivutus, hitsaus sekä koneistus. Valmistusmenetelmät riippuvat tietenkin konepajan toimialueesta, konekannasta ja vaadituista työvaiheista. On paljon erikoismenetelmiä, joita usein tarvitaan erikoiskappaleiden valmistuksessa. Tällaiasten kappaleiden valmistus hoidetaan yleensä alihankintana. Tässä opinnäytetyössä käytetyt valmistusmenetelmät ovat toimeksiantajan konekannan sekä alihankkijoiden käytössä olevat valmistusmenetelmät. Tuotteen valmistus tulisi olla myös mahdollisimman kustannustehokas, mikä oli huomioitava myös valmistusmenetelmissä.

Valmistusmenetelmien hintojen on oltava selvillä, kun aletaan miettimään, mitä työmenetelmiä voidaan käyttää. Tietämällä kustannukset etukäteen voidaan suunnittelussa ottaa ne huomioon. Osien suunnittelu on tehokkaampaa, kun yritetään tuottaa edullista tuotetta, kuin tarkkailla kustannuksia joka vaiheessa. Taulukko 5 kuvaa eri valmistusmenetelmien tuntityöhintoja.

Taulukko 5. Valmistusmenetelmien hintoja (Piironen 2013)

VALMISTUSMENETELMÄ	€/h
Kaasuleikkaus	70
Plasmaleikkaus	80
Laserleikkaus	100
Levytyökeskus	100
Sahaus	45
Särmäys	45
Levyleikkuri	45
Poraus	45
Mankelointi	45
Putkentaivutus	45
Tasokoneistus	50
Sorvaus	50
Hitsaustyö	45
Karuselli/automaattisorvi	70
Aarpora	80
Monikarainen koneistuskeskus	120

On huomioitava kuitenkin suunnittelun kokonaisuus eikä vain tarkkailtava yksittäisten valmistusmenetelmien hintoja. Esimerkiksi voi tulla edullisemmaksi käyttää kalliimpaa leikkausmenetelmää, jos leikkausmenetelmän tarkkuudella voidaan poistaa lisätyöstövaiheita.

7.1 Leikkaus

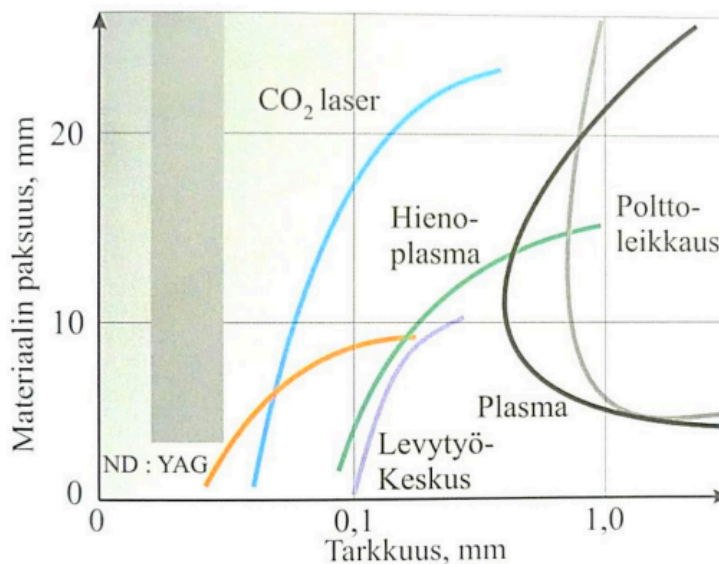
Metallimateriaalin leikkaus voidaan toteuttaa eri tavoin. Teknologian tuomien uudistuksien kautta päästään suurempiin tarkkuuksiin, tehokkaampaan työstöön sekä nopeampiin leikkausaikoihin. Riippuen vaaditusta läpäisyvyvyydestä ja -tarkkuudesta voidaan käyttää pääosin kolmea eri leikkaustapaa: poltto-, vesi- tai laserleikkaus.

Polttoleikkaus on vanhin leikkausprosessista. Sen yksinkertaisuus sekä prosessina, kalustossa sekä kulutusosissa tekee siitä myös edullisen. Polttoleikkauksella voidaan leikata jopa 1200 mm paksua teräsmateriaalia. Leikkausmenetelmä on kuitenkin hidas, esimerkiksi 25 mm paksuisessa teräsmateriaalissa leikkausnopeus on vain 500 mm minuutissa. Etuna polttoleikkauksessa on kuitenkin se, että siinä voidaan liittää

useita poltinpäitä leikkausliikkeeseen, jolla taas voidaan leikata samaa muotoa useampia kerrallaan. (Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä n.d.)

Vesileikkauksessa käytetään paineistettua vettä leikkaamiseen. Veden sekaan voidaan lisätä leikkausta parantavaa materiaalia, kuten hienoa hiekkaa, tehokkaampaa leikkausta varten. Vesi paineistetaan jopa 400 MPa, joka pakottaa veden suuttimesta ulos jopa kaksi kertaa ääntä nopeammin (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2011, 389). Leikkaustarkkuus voi olla jopa laserleikkausta tarkempi, koska leikattu reuna voi jäädä tasaisemmaksi. Toinen etu vesileikkauksessa laseriin verrattuna on, ettei leikkauksessa esiinny lämpövääristymiä. (Mikä n.d.) Vesileikkaus on kuitenkin kallein leikkausprosessista, joten sen käyttö on oltava perusteltua, esimerkiksi jos yhdellä leikkauksella voidaan säästää myöhempiä työstövaiheita.

Laserleikkaus käyttää veden sijan lasersädetä leikkausvoiman lähteenä. Lasersäde leikkaa materiaalin kuumentamalla polttopisteen niin kuumaksi, että materiaali sulaa, palaa tai höyrystyy. Usein laserleikkausta käytetään ohutlevyleikkauksessa. Leikkauspaksuudessa voidaan kuitenkin saavuttaa jopa 32 mm:n läpäisy. Laserleikkaus ei ole nopea leikkausprosessi paksuilla materiaaleilla, mutta se on kuitenkin hyvin tarkka. Leikkauspinta on tasainen, jonka vuoksi saadaan aikaan hyvin pieniä reikiä tarvittaessa. (Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä n.d.) Eri leikkausmenetelmien leikkaustarkkuuksia on vertailtu kuviossa 10.



Kuvio 10. Leikkausmenetelmien vertailu (Matilainen 2011, 201)

Laserilla on mahdollisuus päästä jopa 0,05 mm tarkkuuteen levyleikkeissä, kun polttoleikkeillä taas tarkkuus on hieman alle 1 mm. Vesileikkuun railokoko on Ihalaisen mukaan noin 0,08 mm tai suurempi. Vesileikkuujälki voi olla parempi kuin laserilla, joten sillä voidaan päästä parempaan tarkkuuteen. Jos yhdellä leikkeellä on mahdollista suorittaa useampi työvaihe, saattaa siitä tulla edullisempi osa.

7.2 Särmäys

Särmäys on tapa taivuttaa leikkeitä haluttuun kulmaan. Särmäyksessä käytetään hydraulikkavoimaa taivutuksessa. Metallia painetaan erimuotoisia leukoja vasten hydraulisylinterillä, jotta kappale taipuu haluttuun kulmaan. Taivutettava materiaali ja muoto riippuvat särmäyskoneesta ja sen tuomista rajoitteista. Rajoittavia tekijöitä ovat hydraulisylinterin tuottama voima, materiaalin vahvuus sekä haluttu taivutus kulma ja sen säteen koko. Sylinterikoko määrittää, minkä paksuista kappaletta voidaan taivuttaa; mitä paksumpi materiaali, sitä suurempi voima tarvitaan sylinteriltä. (Ihalainen 2011, 268-274.)

7.3 Hitsaus

Eri kappaleiden liittäminen toisiinsa voidaan toteuttaa monella keinolla, mutta jos halutaan pysyvä liittäminen, se tehdään hitsaamalla. Hitsaamisen etu on, että kaksi eri kappaletta voidaan liittää toisiinsa siten, että ne ovat rakennetasolla sama kappale. Hitsi on hyvin kestävä ja pitävä liitosmenetelmä. Hitsausmenetelmiä on monenlaisia ja niiden käyttö riippuu hitsattavasta materiaalista ja olosuhteista. Konepajateollisuudessa käytetyimmät hitsausmenetelmät ovat MIG-MAG ja TIG-TAG. (Ihalainen 2011, 281-318.)

Sarjatuotetuissa artikkeleissa hitsauksessa tärkeä työkalu on hitsausjigi. Hitsausjigi on rakenne, joka pitää hitsattavia osia paikoillaan, jigi on ohjaustyökalu. Jigin tarkoitus on tuoda toistettavuutta, tarkkuutta ja vaihdettavuutta tuotantoon. (Henriksen 1973) Hitsausjigin tarkkuus on riippuvainen sen valmistustarkkuudesta. Nokan ATV-linjan päähitsaajan mukaan, kun jigi on valmistettu sadasosan millimetrin tarkkuudella, voidaan hitsattu tuote saada kymmenesosa millimetrin tarkkuuteen.

7.4 Koneistus

Koneistus on lastuavaa työstöä, jossa kappaleesta, eli aihioista poistetaan materiaalia lastuilla, kunnes jäljellä oleva kappale on halutussa muodossa. Koneistus on todella laaja käsite, sisältäen monia työstölaitteita. Konepaja ympäristössä päätoimiset laitteet ovat sorvi, jyr sijä sekä pora. (Machining 2015.)

Sorvilla tuotetaan pyörähdyssymmetrisiä osia kuten akseleita tai holkkeja. Sorvin toimintaperiaate perustuu työstettävän kappaleen pyörimiseen eikä työkalun terän pyörimiseen kuten porauksessa tai jyr sinessä. Kappale kiinnitetään sorvin leukoihin, jonka jälkeen kappaletta pyöritetään poistaen työkalulla materiaalia kappaleen pinnasta. (Wright 2000, 9-12.)

Jyr simellä taas tuotetaan kappaleita, jotka eivät ole pyörähdyssymmetrisiä tai ovat muuten monimuotoisia kappaleita kuten esimerkiksi moottorilohko. Toiminta perustuu työkalun terän pyörimiseen. Kappaletta liikutetaan pöydällä ja terällä poistetaan kerroksittain kappaleesta materiaalia. (Wright 2000, 14-18). Poraus yksinkertaisuudessaan on reikien tekoa. Poraus eroaa jyr sinessä siten, että kappaletta ei voida liikuttaa terän alla. Porauksessa terässä on vain kaksi leikkauspintaa, jotka ovat terän päässä. (Wright 2000, 12-13.)

8 Standardit

Standardit ovat eri tahojen asettamia ohjeita ja suosituksia. Ne eivät ole lakeja, mutta tuotteet, jotka mukautuvat standardeihin on helpompi saada hyväksytyä myyntiä varten. Suomen Standardisoimisliitto, eli SFS on Suomessa taho, joka vastaa standardien luomisesta. (Standardi 2007)

8.1 Koneturvallisuusstandardi

SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus on standardi, johon kaiken konesuunnittelun tulisi pohjautua. Koneturvallisuusstandardi käsittelee yleiset suunnitteluperiaatteet sekä riskien arvioinnin ja pienentämisen (SFS-EN ISO 12100 2012). Standardeihin rakennetun tuotteen etu on sen mahdollisuus vedota laatuun, koska se täyttää standardin vaatimukset. Tuote on tällöin turvallisempi.

Yleisiä suunnitteluperiaatteita on käsitelty koneturvallisuusohjeessa, jotta suunnittelijalla on riittävä tieto suunnitella koneita, jotka ovat turvallisia käytössä. Yleisperiaatteita on käyty standardissa selostamalla soveltamisala ja käsittelemällä keskeiset termit, jotta suunnittelija ymmärtää mitä standardin mukaan vaaditaan. Riskianalyysin tai standardin mukaan riskin arviointi tehdään:

- a) määrittämällä koneen raja-arvot, jossa määritetään tarkoitettu käyttö sekä arvioidaan ennakoivasti väärinkäyttö
- b) tunnistamalla vaarat sekä mahdolliset vaaratilanteet
- c) arvioimalla tunnistettujen riskien suuruus
- d) arvioimalla riskin merkitys ja päätetään, onko riskin pienentäminen tarpeellista.

Riskinarviointiprosessissa saadaan tietoa, jotta voidaan tehdä päätös, onko mahdollinen riski suuruudeltaan sellainen, että on tehtävä muutoksia riskin pienentämiseksi. Riskien pienentäminen on arvioinnin sijaan toimintaa, jossa poistetaan vaara tai pienennetään sitä suoja-toimenpiteiden avulla. Tällä tarkoitetaan sitä, että kone suunnitellaan siten, että vaaraa ei ole. Jos konetta ei saada vaarattomaksi, käytetään suoja-toimenpiteitä kuten suojausta, eristämistä tai varomerkkejä, jotta vaaratilanteita ei tule. Tarkemmat ohjeet riskien pienentämiseen sekä käytettäviin prosesseihin löytyy koneturvallisuusohjeesta SFS EN ISO 12100. (SFS-EN ISO 12100 2012.)

8.2 CE-merkintä

CE-merkintä on valmistajan ilmoitus siitä, että tuote täyttää sitä koskevat Euroopan unionin vaatimukset (CE-merkintä 2016). Kyseessä on siis valmistajan vastuulla oleva merkintä. Valmistajan itse täytyy tarkistaa tuotteen CE-merkintäkelpoisuus sekä luovata se.

CE-merkinnän tuotteeseen laittaminen edellyttää, että tuotteessa on huomioitu seuraavat asiat:

- tarkistettu sen täyttävän vaaditut direktiivit ja tuotestandardit
- varmistettu tuotekohtaiset vaatimukset
- tarkistettu vaatiiko tuote tyyppihyväksynnän
- testattu ja tarkistettu tuotteen yhdenmukaisuus

- laadittu ja asetettu saataville kaikki tekniset dokumentit
- lisätty CE-merkki ja laadittu EU vaatimustenmukaisuusvakuutus

Jos edellä mainitut asiat ovat kunnossa voidaan tuotteeseen laittaa CE-merkintä. Merkintä ei ole laatumerkki vaan se on etupäässä viranomaisia varten. Merkitty tuote saa vapaan liikkumisoikeuden Euroopan talousalueella. Väärinkäyttö voi aiheuttaa tuotteen poiston markkinoilta tai jopa sakon. Tärkeitä kohtia dokumentoinnissa ovat riskianalyysi, ohjekirja sekä tuotekilpi, joka ilmoittaa valmistajan, valmistusvuoden ja -paikan, tuotteen tyyppinumeron ja CE-merkin. (CE-merkintä 2016.)

9 Karsinta- ja katkaisulaitteen suunnittelu

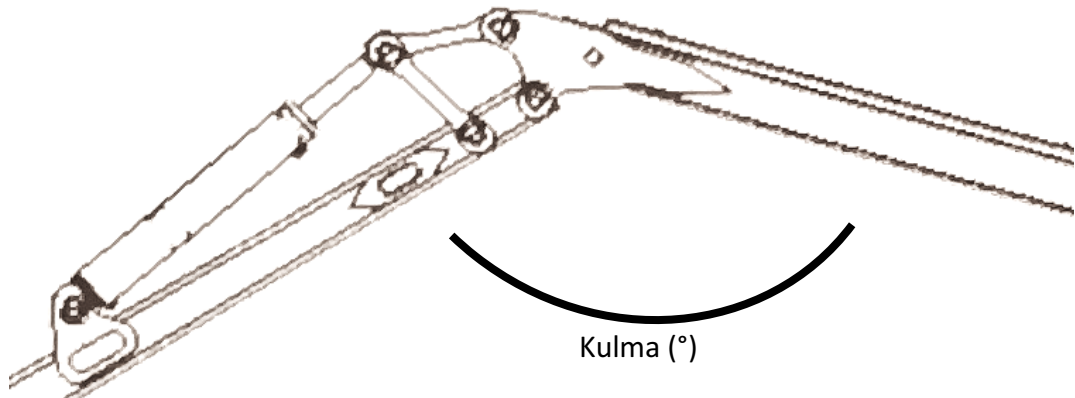
9.1 Esitutkimus

Esitutkimuksella luodaan pohja, jonka päälle tuotetta ruvetaan rakentamaan, joten on siis hyvin tärkeää, että esitutkimusvaiheessa yritetään huomioida mahdollisimman monia ongelmia, joita voi luonnostelun, suunnittelun sekä viimeistelyn aikana ilmaantua. Ensimmäinen tehtävä toimeksiantajan kanssa oli luoda vaatimuslista. Vaatimuslista määrää, minkä tavoitteiden on täyttyttävä työssä. Lisäksi työn joka vaiheessa voi verrata vaatimuslistaa toteutettuun työhön. Taulukossa 6 oleva vaatimuslista kuvaa ominaisuudet jotka olivat toimeksiantajan kannalta tärkeimmät.

Taulukko 6. Vaatimuslista

Kategoria	Merkki	Vaatimuslista	Arvo
KV=kiinteä vaatimus, VV=vähittäisvaatimus, T=toivomus			
Voimat			
	VV	Puun katkaisu halkaisia	max. 15 cm
		Koura	
	KV	- Nostovoima	720 kg (1 m x 0.85 m puomista)
	KV (VV)	- Puristusvoima	35,34 kN (nykyinen)
		Karsija	
	VV	- Puristus	Jousivoimalla (2-4 kN)
	T	- Terään kohdistuva leikkausvoima	~18kN (4 cm oksa)
		Katkaisu	
	T	- Katkaisuvoima	132,28 kN (15 cm puu, ei terävä)
Mekaniikka			
	KV	Hydraulikäyttö - mönkijä	180 Mpa (Työpaine) 10 l/min (17. 6 l/min G en 2)
	KV	Puun leikkaus	Terä
	kV	Oksan leikkaus	Terä
Geometria			
		Koko	
	VV	- Koura (auki)	50 cm
	KV	- Karsia (auki)	max. 20 cm
		Paino	
	T	- Koura	Mah. Kevyt - 50 kg max
	T	- Karsia	-
		Terien irroitus	
	KV	- Koura	1 ruuvi, hyd. Letkut
	KV	- Karsia	pikakiinnitys
Käyttö			
	T	Olemassa oleva venttiilipyötä/ohjaus	
Materiaalit			
	VV	Kulutuskestävä	
Turvallisuus			
	VV	Konedirektiivin mukainen turvallisuus	
Kustannukset			
	KV	Valmistushinta	Vastaavaa halvempi (kilpailu kyky.)
Valmistus			
	T	Valmistettavissa Nokalla ja alihankkijoilla	
Tarkastus			
Asennus			
	KV	Jälkiasennettava	
	KV	Hydrauli - jo olemassa olevien linjojen käyttö	
Kunnossapito			
	T	Helppo (rasvaus, puhdistus ja teroitus)	
Ergonomia			
Kuljetus			
Muut			

Tuotteen suunnittelun kannalta suurin rajoittava kiinteä vaatimus oli hinta. Tuotteen myyntihinta tulee olla vastaavia laitteita halvempi, jotta tuotteella on kilpailukykyä markkinoilla. Paino-optimointi vaati myös paljon pohdintaa, koska jokainen ylimääräinen kilo kuormainpuomin päässä vaikuttaa käytettävyyteen vähentämällä puomin



Kuvio 12. Puomin varsi kiinnitys

Lasku puomin maksimivoimasta koukistusliikkeessä löytyy liitteestä 6. Laskennallinen maksimi on hieman yli 4 kN kun puomi oli suora, eli kuviossa 12 esitetty kulma oli 180°. Teoreettinen voima laskettiin pelkästään 180° kulmalla, koska se on suurin mahdollinen voima, jonka puomin koukistusliike voi tuottaa. Puomin kulman pienenessä myös puomin päässä oleva maksimivoima pienenee, koska sylinterin ja tukivarren kulma suurenee. Suurempi kulma sylinterin ja tukivarren välissä johtaa siihen, että voima ei kulje suoraan vaan kulman kautta, joka taas heikentää voimaa. Puomin teoreettinen maksimikoukistusvoima laskettiin, jonka jälkeen testattiin käytännön maksimikoukistusvoima, jolla puuta voidaan vetää puomin suuntaisesti. Puomin vetokykyä testattiin eri asennoissa. Metsäperävaunun puomi sidottiin vaakaan ja vaakaa sidottiin pylväaseen (kuvioissa 13 ja 14), josta tulokset ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. Metsäperävaunun puomin koukistusvoima

Puomin koukistusliike		
Kulma (°)	Koukistusvoima (kg)	Koukistusvoima (N)
90	630 - 600	6180 - 5886
60	380 - 300	3728 - 2943
20	220 - 200	2158 - 1962
Puomin jatke		
Jatke (suora liike)	630 - 580	6180 - 5690

Laskennallinen maksimi on pienempi kuin käytännön kokeilussa saadut tulokset. Virhe voi johtua vaa'asta, joka oli sidottu kuvion 14 mukaisesti tai siitä, että mittauksessa oli muitakin muuttujia, kuten kiinnityskulman vaihtelu sekä perävaunu, joka liikkui taaksepäin. Laskussa ei myöskään huomioitu kouraa ja sen kulman vaikutusta tuloksiin. Suurin virhe aiheutui iskumaisista liikkeistä koneen käytössä, jotka tuottivat todellista voimaa suurempia tuloksia.

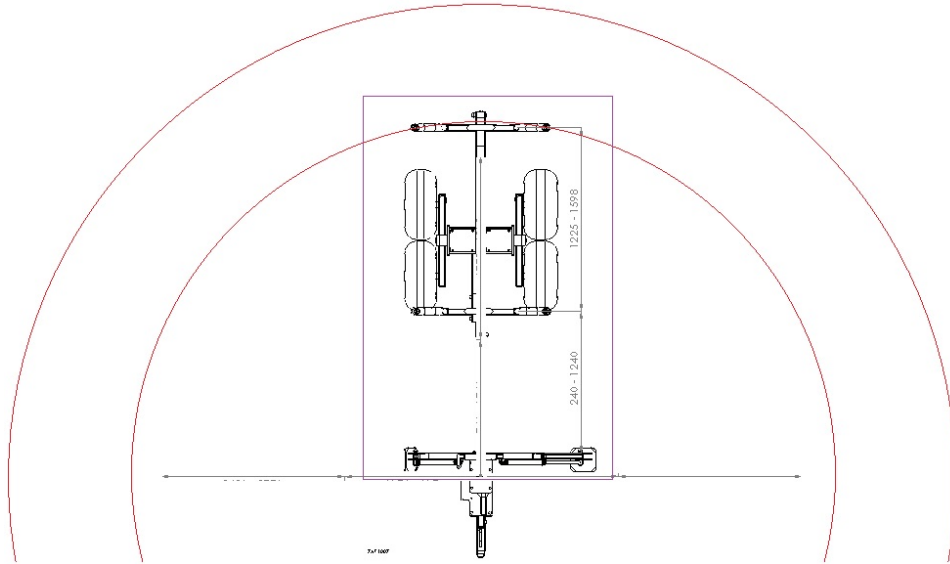


Kuvio 13. Puomin koukistusvoiman testaus

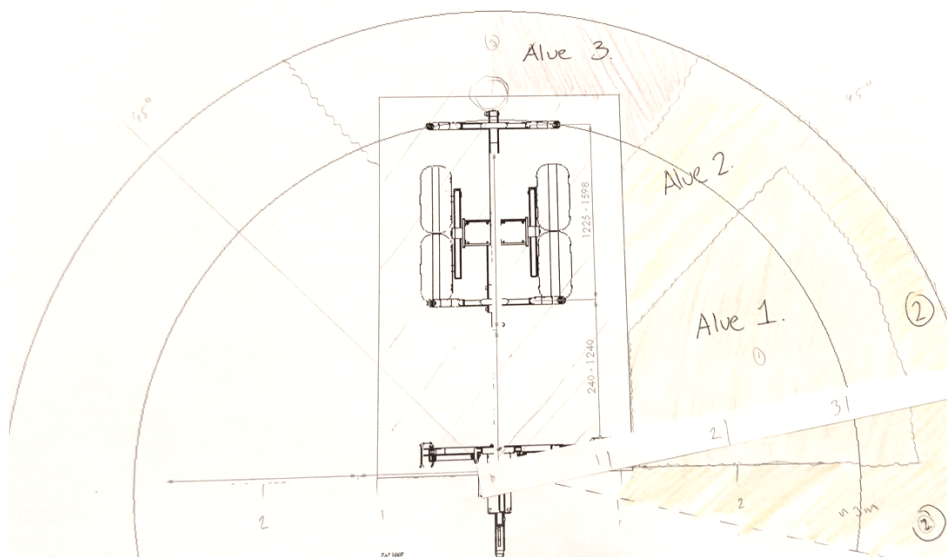


Kuvio 14. Kouran kiinnitys vaakaan

Metsäperävaunun geometrisia rajoitteita tarkasteltiin Solidworks ohjelmistossa (kuvio 15) sekä paperiprototyypillä (kuvio 16). Rajoitteiden tarkastelun tarkoituksena oli selvittää, mikä on paras sijainti karsintalaitteelle sekä mikä on puomin ulottuvuus metsätyöskentelyssä.



Kuvio 15. Puomin käytettävyystarkastus



Kuvio 16. Paperiprototyyppi puomin toiminta alueesta.

Kuviossa 16 merkatut alueet on numeroitu 1-3, jossa 1 on paras työalue ja vastavasti 3 huonoin. Alueet on arvioitu työturvallisuuden, näkyvyyden, kouraimen nostotehon sekä ulottuvuuden perusteella. Kärryn vierestä on paras työskennellä, koska kuljettajalla on paras näkyvyys tekemästään työstä, joka parantaa työturvallisuutta.

9.2 Luonnostelu ja konsepti

Konseptivaiheessa karsinta- ja katkaisulaite jakautui erillisiin laitteisiin. Laitteiden jako johtui hintavaatimuksesta sekä painon rajoittamisesta puomissa. Karsiva ja katkaiseva koura olisi ollut teknisesti kallis toteuttaa sekä näistä lisäominaisuuksista johdun kourassa heikentyisi kuormaus- ja nostokyky. Koura haluttiin säilyttää ilman muutoksia sen asiakassuosion ja kestävyden takia, joten karsinnan ja katkaisun piti olla erillisiä lisävarusteita, jotka voidaan kiinnittää olemassa oleviin tuotteisiin.

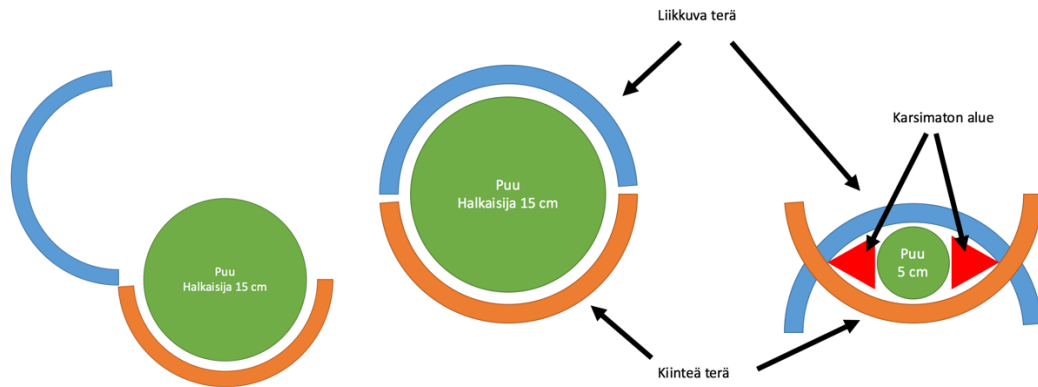
Karsintalaitteen konseptointi aloitettiin hakemalla ja tutkimalla mahdollisimman monia tapoja irrottaa oksa puunrungosta. Puuteollisuudessa harvestipää on hyvin tehokas, mutta kallis ja painava. Tällaisesta laitteesta ATV sovellettu versio ei ole kustannustehokas, joten monimutkaiset laitteet hylättiin heti niiden valmistuskustannuksien takia. Vaikka pienenergiapuukourat ovat huomattavasti edullisempia kuin harvesteripäät, ne ovat myös liian monimutkaisia toteuttaa, joka nostaa hintaa. Tavoitteeksi siis jäi valmistaa mahdollisimman yksinkertainen laite, jotta sen valmistuskustannukset olisivat pienet. Taulukko 8 on painotettu arviointitaulukko, jossa verrataan karsintalaitteen sijoitusta. Vaihtoehtoja olivat kouraan kiinnitettävä, kourasta ja kärrystä täysin irrallinen, kärryssä kiinni erillisellä puomilla oleva tai kärryn perässä kiinteänä oleva karsintalaite.

Taulukko 8. Karsintalaitteen painotettu arviointitaulukko

Valintakriteerit:	Painoarvo	Ratkaisuehdotelma							
		Kourassa		Siirrettävä		Erillis puomi		Kärryssä	
		AS (1-4)	Painotettu AS	AS (1-4)	Painotettu AS	AS (1-4)	Painotettu AS	AS (1-4)	Painotettu AS
Paino (Kevyt)	10 %	1	0,1	2	0,2	3	0,3	4	0,4
Siirettävyyys	10 %	4	0,4	3	0,3	2	0,2	1	0,1
Käytettävyyys	20 %	4	0,8	1	0,2	1	0,2	3	0,6
Turvallisuus	5 %	4	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Käytännöllisyys	5 %	4	0,2	2	0,1	2	0,1	2	0,1
Valmistettavuus	15 %	1	0,15	1	0,15	2	0,3	4	0,6
Kustannus	20 %	1	0,2	2	0,4	2	0,4	4	0,8
Huollettavuus	10 %	3	0,3	3	0,3	2	0,2	4	0,4
Tilantarve	5 %	2	0,1	1	0,05	1	0,05	3	0,15
	1,00								
Kokonaispisteet (paras 1 - huonoin 4)	sijoitus		2,45		1,9		1,95		3,35
Jatkokehitys?			2		4		3		1
			EI		EI		EI		KYLLÄ

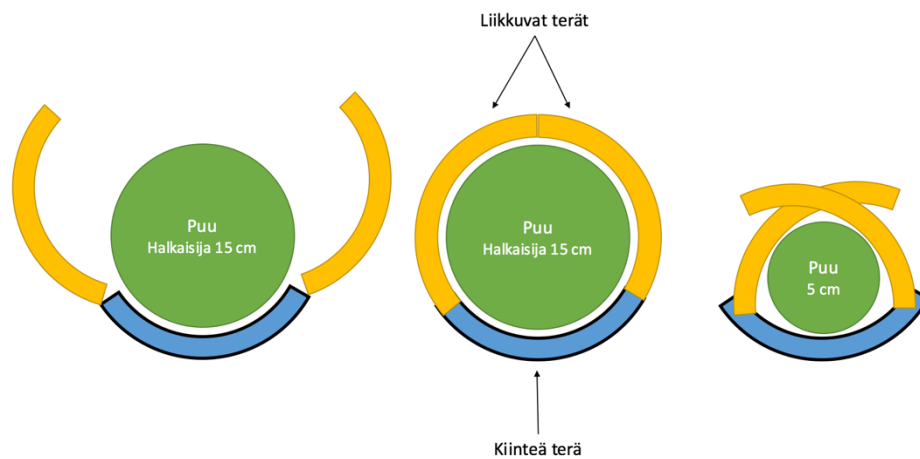
Taulukon valintakriteerit ovat painotettu toimeksiantajan vaatimuslistasta saatujen kriteerien kautta. Tuotteen käytettävyyys sekä hinta ovat tärkeimmät tuotteelle, joten näiden painotus on 40%. Hinnan täytyy olla mahdollisimman pieni, jotta se menestyy markkinoilla ja käyttäjän täytyy pystyä käyttämään tuotetta helposti sekä intuitiivisesti. Valmistettavuuden on myös oltava hyvä, jotta se on kustannustehokas tuottaa. Paino, siirrettävyyys sekä huollettavuus ovat tärkeitä tekijöitä tuotteen käytössä. Loput kriteerit on huomioitava, koska ne vaikuttavat laitteen kokonaisuuteen, vaikkakin niillä on pieni painoarvo.

Karsintalaitteen sijainnin jälkeen täytyi miettiä terien määrää sekä niiden toimivuutta. Terien tulisi myötäillä puuta koko ajan siten, että rungon ja terien väliin ei jää reikiä. Optimaalinen supistus karsinta-aukossa olisi kameran iirksen kaltainen. Iirksen toimintatapa kuitenkin estää sen käytön, koska iiristä ei voida aukaista yhdeltä sivulta päältä lastausta varten. Puu täytyisi syöttää iirksen läpi, jonka jälkeen se täytyisi irrottaa kourasta ja tämä aiheuttaa ylimääräisiä työvaiheita, joka heikentää käyttöä. Terien tulee olla sellaiset, jotka liikkuvat siten, että ne on myös mahdollista avata puun lastausta varten. Jos siirrytään monimutkaisesta supistuksesta mahdollisimman yksinkertaiseen, voidaan käyttää vain kahta terää; yksi kiinteä ja toinen liikkuva. Kuvio 17 kuvaa ongelmaa, joka tulee tämän kaltaisessa konfiguraatiossa.



Kuvio 17. Karsinta kahdella terällä

Karsintaterien ollessa tyvestä 15 cm halkaisijalta olevalle puulle sopivat, ne eivät enää ole latvalle sopivat. Kun puu vedetään karsintaterien läpi, halkaisija pienenee ja puuta jää karsimatta. Karsimaton puu ei ole hyväksyttävää loppukäsittelyssä. Oksan tyngät voivat aiheuttaa ongelmia muissa prosessilaitteissa tai puun käsittelyn aikana. Tästä syystä luonnostelussa päädyttiin kolmiteräjärjestelmään, kuten kuviossa 18 on kuvattu.



Kuvio 18. Kolmiteräkarsintajärjestelmä

Katkaisulaitteen konseptointi alkoi katkaisuterän toimintatavan valinnalla. Oli neljä eri mahdollisuutta toteuttaa katkaisuliike, jossa terät saadaan piiloon leikkaustoiminnan jälkeen: linkkuveitsi, saksi, giljotiini sekä ratassaksi. Näiden neljän lisäksi mietit-

tiin myös kiinteää terää sekä sahaa. Kiinteän terän suurin ongelma oli, kun kouraa ha-
luttiin käyttää kuorman lastaukseen ja purkuun, jolloin terän olisi pienentänyt las-
taustilaa, mutta suurempana huolena oli kouran kestävyys. Kouraa ei oltu suunni-
teltu katkaisupuristusta varten, joten sen rakenteet eivät olisi kestäneet ilman muu-
toksia. Kouran sylinteri ei myöskään ollut tarpeeksi voimakas. Sahakatkaistu hylättiin
kustannuksien takia, se on sekä kallis valmistaa, että käyttää.

Linkkuveitsiterästä esimerkki on nähtävissä kuviossa 4, jossa on linkkuveitsikat-
sulla toimiva Biojack energiakoura. Paperiprototyypillä tarkastettiin terien mittakaa-
vaa sekä rajoittavia tekijöitä kouran kyljessä. Kuviossa 19 on paperiprototyyppi sak-
sileikkauksesta. Paperiprototyyppi paljasti tärkeän ongelman; teriä ei olisi saanut täy-
sin piiloon kuormauksen yhteydessä niiden liitoskohdan takia. Ratassaksikatkaistu on
saman tapainen kuin kuviossa 19 esitetty saksileikkauksikatkaistu, poiketen ainoastaan
voimansiirrossa terien välissä. Saksileikkaus toimii varsilla jotka ovat sylinterissä kiinni
ja ratassaksi toimii kahdella rattaalla, joista toinen on kiinni sylinterissä, joka tuottaa
liikkeen. Giljotiinikatkaistu on nimensä mukainen, jossa on tasainen terä, joka liikkuu
lineaarisesti katkaisten puun.



Kuvio 19. Saksileikkaus paperiprototyyppi

Painotetulla arviointitaulukolla arvioitiin edellä mainittujen leikkaustapojen toimintaa. Valintakriteerien painotus taulukossa 8 on vaatimuslistan sekä käyttöominaisuuksien kautta jaettu taulukossa 9 esitettyihin arvoihin.

Taulukko 9. Leikkausterän painotettu arviointitaulukko

Valintakriteerit:	Painoarvo	Ratkaisuehdotelma							
		Linkkuveitsi		Saksi		Giljotiini		Ratassaksi	
		AS (1-4)	Painotettu AS	AS (1-4)	Painotettu AS	AS (1-4)	Painotettu AS	AS (1-4)	Painotettu AS
Paino (Kevyt)	20 %	4	0,8	1	0,2	3	0,6	2	0,4
Halkisukyky	15 %	1	0,15	3	0,45	4	0,6	2	0,3
Käytettävyys	12 %	4	0,48	2	0,24	3	0,36	1	0,12
Turvallisuus	5 %	4	0,2	2	0,1	3	0,15	1	0,05
Käytännöllisyys	5 %	3	0,15	2	0,1	3	0,15	1	0,05
Valmistettavuus	13 %	4	0,52	1	0,13	2	0,26	1	0,13
Kustannus	15 %	4	0,6	2	0,3	3	0,45	1	0,15
Huollettavuus	5 %	3	0,15	1	0,05	4	0,2	1	0,05
Tilantarve	10 %	4	0,4	1	0,1	2	0,2	1	0,1
	1,00								
Kokonaispisteet	sijoitus		3,45		1,67		2,97		1,35
(paras 1 - huonoin 4)			1		3		2		4
Jatkokehitys?			KYLLÄ		EI		EI		EI

Taulukon painotus on perustettu vaatimuslistaan. Paino oli kaikkein kriittisin tekijä, täten painotuksessa päädyttiin 20 %:n painosta, jotta puomin nostokyky ei heikkene. Vaatimuksien mukaan halkaisukyky sekä kustannukset olivat toimeksiantajalle tärkeät tekijät, joten niille on annettu sama painoarvo. Näistä kolmesta tekijästä koostuu 50% tuotteen painotuksesta. Tuotteen oli oltava valmistettava, käytettävä sekä vietävä pienin mahdollinen tila. Näistä koostuvat seuraavaksi tärkeimmät painotukset. Jos tuote on työläs valmistaa, se ei ole kustannustehokas. Käyttäjälle on oltava helppoa omaksua katkaisulaiteen käyttö eikä se saa vaikuttaa olemassa olevan kouran toimintakykyyn. Loput valintakriteerit saavat 5 % painoarvon, niiden oltua vain toiveita tai mainintoja vaatimuslistassa.

Katkaisulaitteen valintaan suurin vaikuttava tekijä oli paino, koska leikkausyksikkö tulee kiinni kouraan ja vaikuttaa puomin nostokykyyn, joten leikkauslaitteen täytyi olla mahdollisimman kevyt. Kaikista leikkaustoiminnoista yksinkertaisin on myös kevyin. Linkkuveitsikatkaistu valittiin leikkaustavaksi sen pienimmän painon sekä yksinkertaisen toiminnan takia. Etu tässä valinnassa oli myös se, että linkkuveitsileikkauksen valmistushinta on pienin. Linkkuveitsikatkaistu vaatii 20 % vähemmän runko-osia kuin

muut, kun laskussa ei huomioida ruuveja, pultteja, nippoja tai hydraulikomponentteja.

Lisätietoa katkaisulaitteeseen saatiin tuotannossa olemassa olevasta katkaisukourasta, joka oli tarkoitettu traktoriperävaunuihin. Kyseisessä kourassa katkaisu toteutettiin 90 mm sylinterimännällä. Sylinteristä saadulla 114 kN voimalla pystyi katkaisemaan halkaisijaltaan 20 cm rungon. Katkaisukyky on todettu testauksissa sekä käytössä.

9.3 Suunnittelu

9.3.1 Karsintalaite

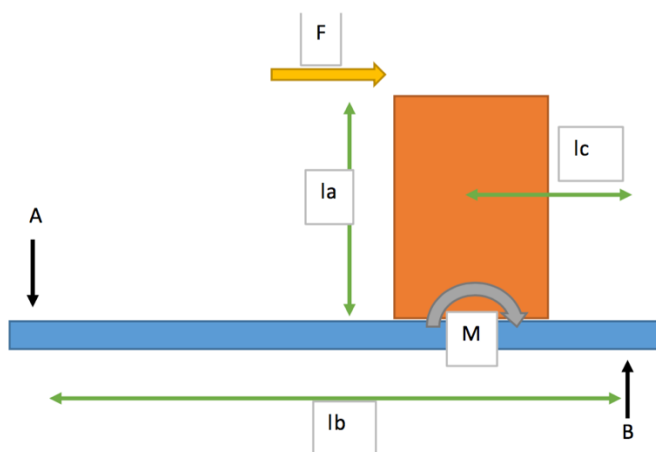
Koska karsintalaite tulee kiinni metsäperävaunun perään, paino ei ollut kriittisin tekijä suunnittelussa, vaan pystyttiin keskittymään kestävyteen sekä kykyyn karsia mahdollisimman ohutta puuta.

Toimeksiantajalla oli jo olemassa klapien tekoa varten laite, jossa oli karsintaterät. Terät olivat todettu toimiviksi sekä kestäviksi. Karsintaterät olivat soveltuvat tähän laitteeseen ja täten pystyttiin välttämään osanimikkeiden lisäämistä tietokantaan. Uusien nimikkeiden tekemistä kannattaa välttää ja mikäli mahdollista, hyödyntää olemassa olevia osia suunnittelussa. Tällä voidaan keventää tietokantaa sekä tuotannossa olevien osien määrää, joka vaikuttaa suoraan varastointi- ja valmistuskustannuksiin. Suunnittelussa hyödynnettiin myös olemassa olevia holkkeja sekä tappeja.

Karsintalaitteen suunnittelussa tarkasteltiin lujuuslaskennan kautta kriittisimmät rakennekohdat. Suurin rasitus kohdistuu yleensä liikkuville sekä heikoimmille materiaali vahvuudella oleville osille, riippuen voiman suuruudesta sekä läheisyydestä kriittiseen kohtaan. Tällaisiksi kohdiksi arvioitiin terärakenne sekä keinurunko niiden materiaali vahvuuden ja liikkeiden takia. Mahdollisia tarkastelukohteita olisi lukuisia, mutta kaikkien tarkastelu ei ollut mahdollista annetussa ajassa.

Suunnittelussa karsintaterien asettelu oli tärkeää, jotta saatiin mahdollisimman tasainen supistus karsinta-aukossa. Terien etäisyys toisistaan oli ennalta määritetty aikaisemmasta laitteesta. Muuten aikaisempaa laitetta tai sen mittoja ei voitu käyttää,

koska toimintaperiaate oli täysin erilainen. Karsintaterien liike määräytyy vakaajatangoista. Vakaajatangon tarkoitus on liikuttaa teriä vastakkaisiin suuntiin, jotta terien väliin jäävä aukko pienenee. Karsintalaitteen kestävyyttä tarkistettiin terien, rungon sekä kannatuspalkin osalta. Teriin kohdistuu suuria voimia, kun puuta vedetään laitteesta läpi, joten oli tärkeää varmistaa niiden kestävyys.



Kuvio 20. Karsintaterän lujuuslasku

Holkki, johon terä kiinnitetään, tarkistettiin, koska se ottaa vastaa suuren väännön kusun terään kohdistuu oksan leikkuuvoima. Tämän laskun avulla määräytyi karsintalaitteessa käytettävä materiaali (kuvio 20). Puomin koukistus- tai nostovoima on maksimissaan 6 kN, se kerrottuna kolmen turvakertoimella, saatiin voima F , joka on 18 kN. Turvakerroin on arvioitu mahdollisen maksimi iskuvoiman kautta, joka voisi käytössä esiintyä. Voimasta F aiheutuu 5,35 kNm vääntömomentti terän ja holkin liitoskohtaan. Liitoskohdan kestävyys taataan kiinnittämällä terä holkkiin kahdesta kohdasta 10 mm levyllä, siten että holkki kulkee levyjen läpi. Terä, vahvike levyt ja holkki hitsataan yhtenäiseksi kaikilta puolilta, ja laskussa oletetaan, että terä ja holkki ovat kuin valettu yhtenäinen kappale. Tukikohtiin A sekä B tulevat kannatus voimat, jotka siirretään runkoon liukulaakereilla. A kohdan laakerille tuleva voima on 13,2 kN ja B laakerille 38,4 kN, mutta A kohtaan vastakkaiseen suuntaa, kuten nuolet osoittavat, joiden laskut ovat liitteessä 4. Kohdan A voima on alaspäin, koska terä pyrkii liikkumaan kuvassa myötä päivää, joten kuvassa oleva sininen akseli, eli holkki, pyrkii nou-

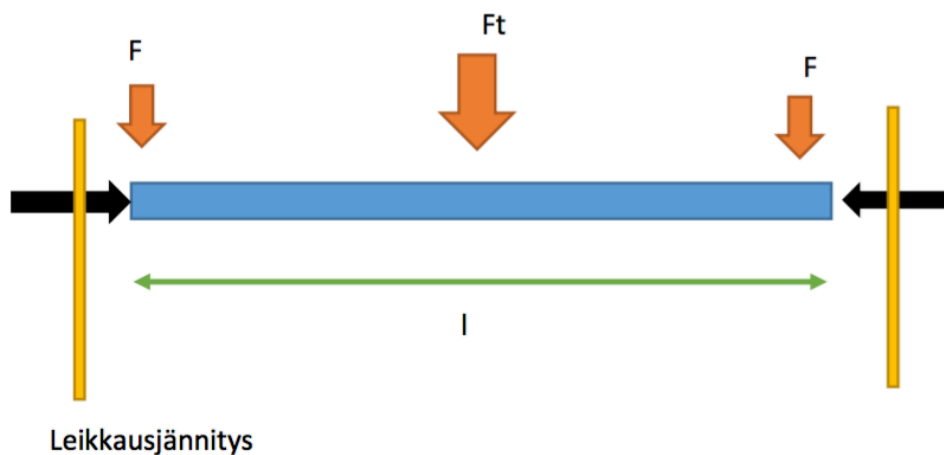
semaan vasemmalta puolelta ja laskemaan oikealta puolelta. Kohdat A ja B vastustavat tätä liikettä. Näistä tukivoimista selvitettiin mikä laakeri kestää kyseiset voimat sekä kovan ja likaisen käyttöolosuhteen. Laakeriksi valitaan D&E WB802 sen korkean kuormituskestävyyden takia, valmistaja lupaa 280 N/mm^2 pintapaineen keston. Kohdan B laakerille kohdistuu suurempi voima, joten sen laakerin pintapaine tarkastettiin ja sen pintapaine on $1,9 \text{ N/mm}^2$. Laakeri kestää monikertaisesti kummassakin kohteessa lasketun voiman. Valmistajan mukaan laakeri kestää kovia kuormia sekä iskukuormia, joita tulee laakerin käytön aikana paljon. Laakeri myös soveltuu likaisiin olosuhteisiin, joissa karsintalaitetta tullaan käyttämään. (Tuote-esite n.d.) Holkin myötöraja laskettiin kiertomomentin sekä taivutusvastuksen kautta. Oletuksena laskussa oli, että holkin sisälle tulee akselitanko, jonka ympäri terät pääsevät liikkumaan, joten holkki on käytännössä umpitankoa. Alla oleva kaava kertoo materiaalin vaatiman minimi myötörajan, taivutusjännityksen muodossa, jotta se kestää tietyn taivutusmomentin, kun tiedetään materiaalin taivutusvastus.

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Tässä tapauksessa, 50 mm halkaisijalta olevan tangon taivutusvastus, W , on $12,272 \times 10^3 \text{ mm}^3$ ja taivutusmomentti, M , on aikaisemmin laskettu $5,35 \text{ kNm}$, josta saadaan taivutusjännitykseksi $435,6 \text{ MPa}$. Valitun materiaalin myötöraja tulisi olla suurempi kuin laskettu taivutusjännitys. Holkiksi sekä sen sisälle meneväksi tangoksi valittiin Ovako 550 pyörötanko, jonka myötöraja on 500 MPa . Materiaali valittiin koska se oli vahvin tankomateriaali, joka oli Nokalla käytössä, vaikka materiaalin myötöraja onkin hieman liian lähellä laskettua taivutusjännitystä. Koska kyseessä on kuitenkin pahin mahdollinen laskennallinen kuormitusvoima terälle, jota ei pitäisi koskaan normaali käytössä tulla, todetaan Ovako 550 toimivaksi materiaaliksi. Kuormitushistoriaa on vaikea arvioida kuormien suurien vaihtelujen takia, mutta staattisella laskulla voidaan kuitenkin arvioida väsymyskestävyyttä kuormituskertoimen kautta. Jos käytössä todetaan liiallista muodonmuutosta kyseisessä kohdassa, tulee se vaihtaa vahvempaan materiaaliin.

Terärungon ja keinurungon välille tulevien tappien kesto tarkastettiin laskemalla tappeihin kohdistuva leikkausjännitys, joka on kuvattu kuviossa 21. Lasku on kriittinen,

koska painava puu voi pudota rungon päälle ja näiden tappien on kestävä isku ilman taipumaa, jotta laite pysyy toimintakunnossa.



$$\tau = \frac{F}{A} \quad \tau \quad 18,21853 \text{ Mpa}$$

Kuvio 21. Tapin leikkausjännitys

Tähän on suunniteltu 25 mm halkaisijan tappi, joka on valmistettu Ovako 550 pyörötangosta. Voima F_t on noin 18 kN, tämän on arvioitu siten, että rungon päälle pudotetaan 300 kg puu. Voima jakautuu kahteen osaan, koska on kaksi tappia, jotka otavat voiman vastaan, mikäli puu putoaa keskelle. Ovako 550 myötöraja on 500 MPa ja pudotetusta puusta aiheutuva leikkausjännitys, joka kohdistuu yhteen tappiin, on vain 18 MPa (liite 5). Yksi tappi kestää yli 25 kertaisen leikkausjännityksen. Tuotannossa oli jo käytössä 30mm tappi, joka oli sopiva tähän tarkoitukseen, joten käytettiin olemassa olevaa tappia nimikkeiden vähentämiseksi.

Kaikki levyleikkeet, jotka tulivat runkorakenteisiin, tilattiin polttoleikkeinä. Syy polttoleikkeisiin on hitsaustarkkuus sekä leikehinta. Koska kaikki rakenteet hitsataan yhteen, oli jätettävä kaikkiin osiin väljyydet, jotta kappaleet saatiin sovitettua yhteen. Tarkemmista leikkeistä ei olisi ollut hyötyä, koska hitsaustarkkuus on noin 2-5 mm, joten leikkeiden väljyydellä saadaan säätövara hitsaukseen. Väljien leikkeiden avulla saadaan asetettua holkit ja akselit hitsausjigiin helposti, jonka jälkeen hitsausjigi määrää osien tarkan asettelun.

Karsintalaitteen kunnossapito on huomioitu rasvauksen sekä puhtaanapidon kannalta. Rasvanipat ovat sijoitettu siten, että ne eivät ole vaarassa käytön aikana, mutta silti helposti käsiteltävissä. Liikkuvien terien nipat ovat sijoitettu holkkien alapuolelle maksimisuojan takia. Keinuliikkeen akselin sekä vakaajatangon nipat on suojattu leikemuodolla. Levyleikkeen muoto antaa suoraan nipalle suojan, joka on kuvattu kuviossa 22. Suurin etu on työvaiheiden minimointi. Aikaisemmissa tuotteissa, kuten kourassa, on hitsattu lisäholkki suojaamaan nippaa ja tästä aiheutuu kaksi lisävaihetta: holkin valmistus sekä hitsaus.



Kuvio 22. Nippasuoja

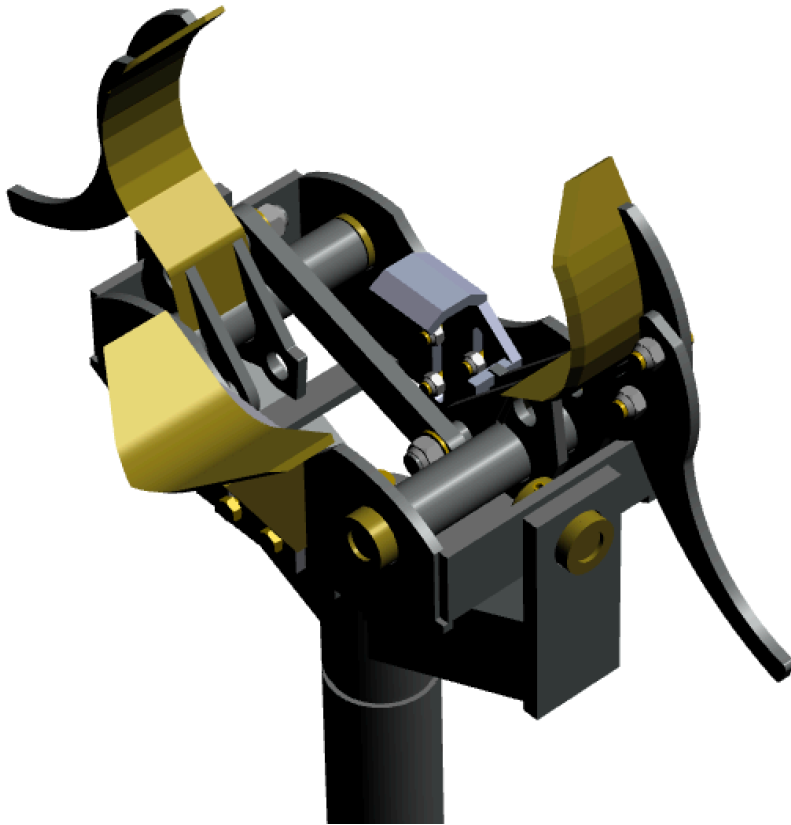
Leikkeiden muodosta aiheutuva lisähinta on käytännössä nolla. Vakaajatangossa polttoleikkauspituutta tuli lisää alle 80 mm. Noin pieni lisä on olematon, koska levy polttoleikataan. Tätä voidaan verrata kourassa olevaan vakaajatankoon, jossa on työvaiheita kolme lisää. Sahalla leikataan tanko, johon hitsataan päihin holkit liukulaakereita varten ja lisäksi hitsataan nipan suojarenkaat. Taulukossa 10 on hintavertailu karsintalaitteen ja kouran vakaajatangosta, osissa on sama toiminta, mutta valmistus on toteutettu eri tavoin. Työstöajat sisältävät asetusajat ja materiaalihintoja. Nippojen sekä laakereiden koneistuksia ei ole huomioitu, koska ne ovat lähes samat.

Taulukko 10. Vakaajatanko hintavertailu

Työvaihe	Tuntihinta (€/h)	Karsija (työstöaika, min)	Koura (työstöaika, min)
Polttoleikkaus	70 €	15 min	-
Sahaus	45 €	-	10 min
Hitsaus 1	45 €	-	10 min
Hitsaus 2	45 €	-	10 min
Hinta Yhteensä (€)		17,50 €	22,50 €

Polttoleikkauksella toteutettu levyleike on 5€ halvempi tuottaa kuin hitsattu rakenne, lisäksi leike säästää tarvittavia nimikkeitä, jolla saadaan vähennettyä varastointi-, alihankinta- sekä tuotantokuluja.

Optimoimalla sekä osia, että kokoonpanoa saadaan tuotettua kustannustehokkaampi tuote. Suunnittelua tarkkailtiin DFMA-perustein jatkuvasti. Polttoleikkattujen osien osalta tämä toteutettiin käyttämällä mahdollisimman paljon pyöristettyjä kulmia, jotta leikkuussa voidaan minimoida koneen liikkeen pysähtyminen. Toinen oleellinen ja tietoinen päätös oli käyttää melkein kaikissa levyosissa saman paksuista levymateriaalia. Tällä voidaan nopeuttaa leikkeiden tekoa, koska materiaalia ei tarvitse vaihtaa, mikä vaikuttaa suoraan leikkeen hintaan asetusajan ollessa pienempi. Levyosia tulee kahdella eri paksuudella karsintalaitteeseen, 10 mm sekä 16 mm. Syy tähän on, että vakaajatangon laakeri on 15 mm pitkä, joka oli pienin laakeripituus. Yksittäisen osan kohdalla etu on muutama sekunti, mutta tuotteen elinkaaren aikana säästö voi olla useita satoja tunteja. Osat pyrittiin rakentamaan itseohjautuviksi, jotta hitsaajan asetus aika saadaan minimoitua. Kokoonpanon parantamiseksi optimoitiin kokoonpantavien osien määrää. Kaikkien osien asennus tapahtuu helposti eikä vaikeita koteiloita, joihin ei pääse työkaluilla käsiksi, ole. Karsintalaitteen avoin rakenne näkyy kuviossa 23.



Kuvio 23. Karsintalaite

Suunnittelussa vältettiin kaikkia koteloita ja koloja, joihin kerääntyä roskaa. Poistamalla rungosta kiinteä pohja roskat voivat vapaasti pudota maahan ja tämä parantaa käyttöä vähentämällä huoltoa tai työkatkoksia roskien aiheuttamista tukoksista. Käyttäjä on laitteen käytön aikana turvallisella etäisyydellä, ohjaamossa tai ATV:n kyydissä, jolloin käyttö on turvallista, eikä siitä aiheudu vaaraa käyttäjälle. Laitteen kotelointi olisi vaikeuttanut käyttöä huomattavasti tai tehnyt siitä jopa käyttökelvottoman eikä sillä olisi ollut vaikutusta turvallisuuteen, koska käyttäjä on turvallisen etäisyyden päässä.

Koteloiden minimoinnista aiheutuu riski käyttäjälle, liikkuvat osat ja terävät reunat ovat paljaina, joten käyttäjä voi saada haavan tai jäädä puristuksiin. Tuotteen ohjeituksessa täytyy tehdä selväksi tuotteen turvalliset käyttötavat.

Karsintalaitteen käyttöä on hyvin vaikea arvioida sen muuttuvan dynaamisen kuormituksen takia. Staattisilla laskuilla voidaan arvioida yksittäisiä hetkellisiä maksimikuor-

mia ja rakenteen kestoja sen suhteen. Karsintalaitteen käyttökohteen takia sen vastaanotettavat iskut ovat monimuotoisia ja koko ajan voimaltaan muuttuvia. Jos halutaan tarkkaa tietoa iskukuormituksista, olisi tämä mitattava antureilla käytön aikana. Vain tarkkailemalla jälkikäteen laitetta käytössä mittausantureilla saadaan todenmukainen kuva sen kuormituksesta. Statiikan laskuilla on yritetty huomioida maksimikuorma, joka rakenteisiin kohdistuu. Käyttöikä voidaan arvioida näillä staattisilla laskuilla ja arvioimalla isku määrät käytön aikana. Perus käytössä maksimikäyttö vuodessa on 6 500 puuta, ja oksia voi olla yli 50 puuta kohti, jolloin karsintalaitteen teriin voi tulla yli 325 000 yksittäistä iskuja vuodessa. Kymmenen vuoden käyttöikä aikana voi siis karsintalaitteeseen kohdistua yli kolme miljoonaa iskuja. Iskut ovat hyvin eri laatuista ja kuormittavat karsintalaitetta vaihtelevasti, vain pieni osa iskuista on lasketun maksimin tapaisia.

Teoreettisesti olisi mahdollista tarkistella kuormituskestävyyttä materiaalien Wöhler-käyrien perusteella, mutta tämä tarkastelu on vaikea tehdä ilman kuormitushistoriaa, koska ei tiedetä mitkä ovat todelliset iskuvoimat, jotka laitteeseen kohdistuvat. Työssä on arvioitu iskujen määrää, mutta aikataulun ja resurssien takia ei ole mahdollista tutkia kuormitushistoriaa, joten todellista kestoikää ei ole mahdollista laskea luotettavasti. Jos käytetään aikaisemmin lasketun terään kohdistuvan maksimikuorman arvoa Wöhler-käyrässä, siten että oletetaan että jokainen isku on maksimaalinen eli 19 kN-voimainen, tulisi karsintalaitteesta suuresti ylimitoitettu eikä se olisi enää kustannustehokas.

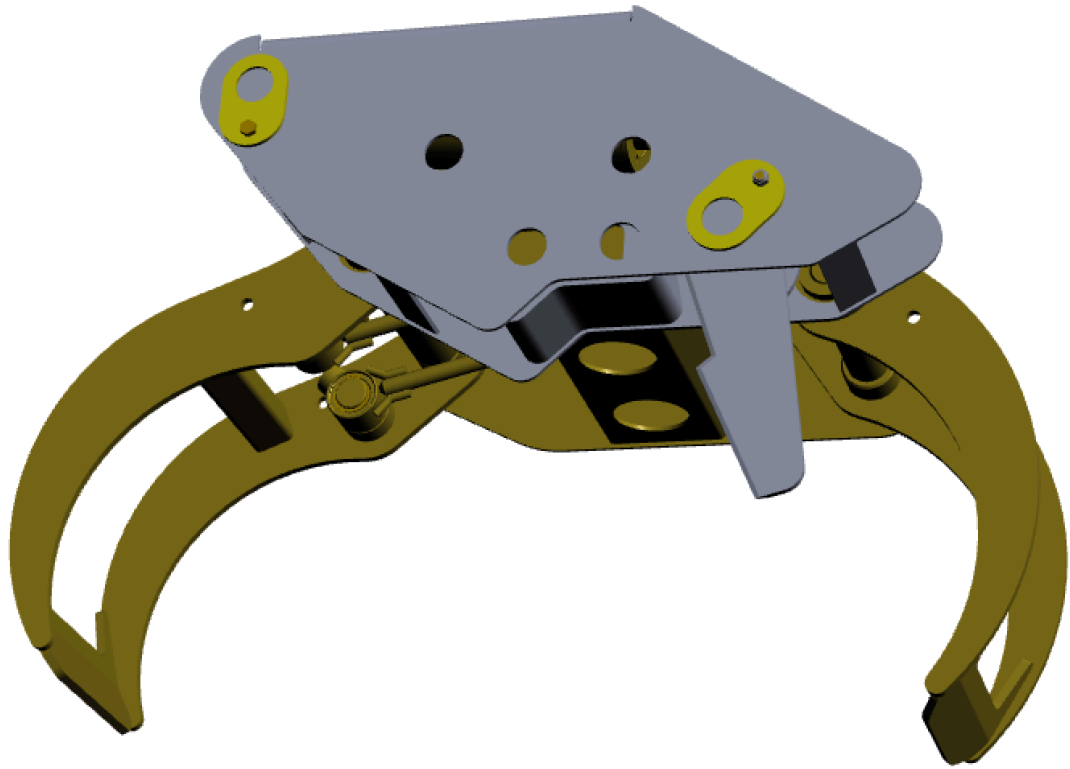
9.3.2 Katkaisulaite

Päinvastoin kuin karsintalaitteessa, katkaisulaitteen tärkein huomioitava tekijä suunnittelussa oli paino, erityisesti painon optimointi. Esitutkintavaiheessa vähimmäisvaatimus, joka oli 15 cm:n halkaisukyky katkaisulaitteelta, ohjasi suunnittelua. Katkaisuliikkeen sylinteriksi valittiin 80 mm mäntä ja 50 mm varsi. Sylinterin tuottama voima on 90,48 kN. Voima on vaatimuslistan tavoitetta pienempi, koska terän geometriaa ja rakennetta hyväksikäyttäen saadaan vipuvarren kautta terälle vaadittu katkaisuvoima. Työntöliikkeessä on yli 60 % suurempi voima kuin vetoliikkeessä, joten työntöliikettä käytetään puun katkaisussa. Isolla varsikoolla saadaan nopeutettua leikkausterän avausnopeutta sekä varmistettua ettei varsi nurjahda työntöliikkeessä.

Työntöliike kestää noin 5,6 s ja vetoliike noin 3,4 s, aikoihin vaikuttaa pumpuntuotto. Ajat on laskettu 10 l/min tuotolla ja 180 baarin paineella, ja sylinterin iskupituus on 185 mm. Sylinterin nurjahdusvoima myös tarkastettiin. Sylinteriin täytyisi kohdistua yli 1970 kN voima, jotta se nurjahtaa. Sylinteri kestää sekä sylinterin tuottaman voiman, että puusta aiheutuvan vastusvoiman. Liitteestä 2 löytyy sylinterin nurjahduslasku. Sylinterin nurjahdus tarkastettiin, koska kyseessä on erikoisosa, joka tehdään mittatilaustyönä.

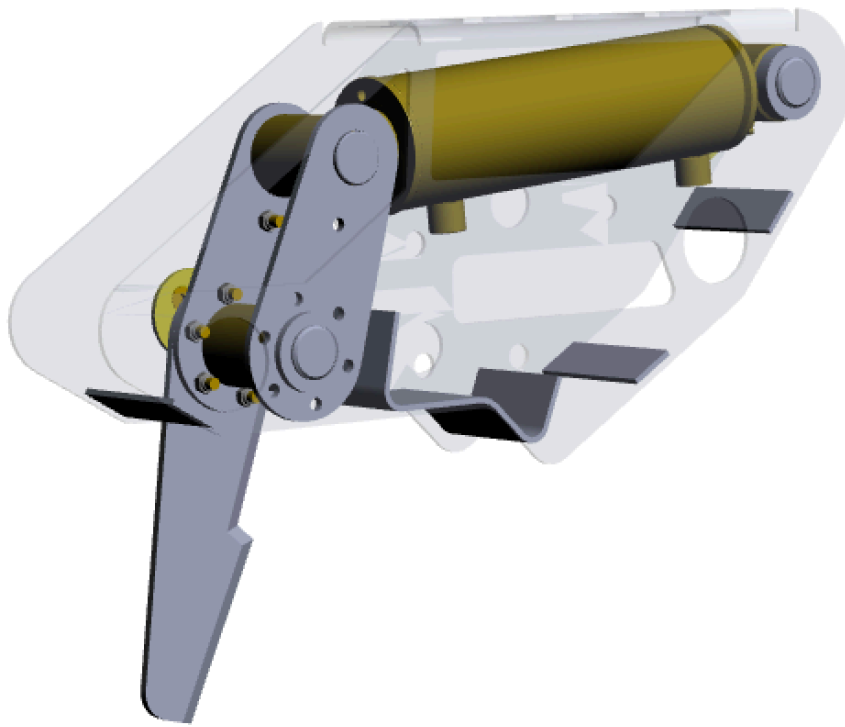
Rungon levyleike suunniteltiin laserileikattavaksi ja tällä pystyttiin vähentämään sekä työvaiheita että osien määrää. Leikkeen tarkkuuden ollessa 0,05-0,1 mm välillä, saadaan akselitapit sovitettua suoraan leikkeisiin tuleviin reikiin ilman lisätyöstöä riittävällä tarkkuudella, ettei niihin jää väljyyttä, joka ajan myötä hajottaisi rakenteita. Katkaisulaitteessa pyrittiin tekemään sama kuin karsintalaitteessa, eli käyttämään mahdollisimman vähän eri paksuisia levyaineita. Siinä on kahta eri vahvuista levyainemateriaalia, 4 mm ja 6 mm. Syy kahteen materiaalipaksuuteen on liikkuvien osien kestävyys, terä sekä tukivarsi eivät olisi olleet tarpeeksi kestäviä 4 mm materiaalista.

Rungon levyosa suunniteltiin ottamaan kaikki leikkuusta aiheutuvat voimat vastaan ja tällä vältetään voimien siirtymistä kouraan. Tämä on tärkeää, koska kouran runkorakenne ei ole valmistettu ottamaan vastaan puristusvoimia. Jos kouran runkoon kohdistuisi liikaa voimia, ne voisivat heikentää tai jopa rikkoa kouran. Voimien eristäminen toteutettiin rakentamalla katkaisulaitteesta erillinen moduuli, joka saadaan pulttiliitoksella kiinni kouran toiseen sivulevyyn. Katkaisulaitteen reunat, jotka vastaavat puuta leikkausliikkeessä tulevat vähintään 5 mm kouran reunoja pidemmälle. Ylityksellä varmistetaan, ettei leikkauksesta aiheutuvia voimia johdu kouran runkoon. Oli mahdotonta suunnitella katkaisulaite siten, ettei se vaikuttaisi kouran poimintapinta-alaan. Pinta-ala kuitenkin minimoitiin ja muotoiltiin niin, että sillä on vähäinen vaikutus kouran käyttöön (kuvio 24).



Kuvio 24. Koura ja katkaisulaite

Koura on kovassa käytössä ja kolhiintuu, joten tästä johtuen katkaisurunko on suunniteltu myös suojaamaan kaikkia komponentteja. Pelkästään terä on esillä avatussa asennossa. Tärkein ja myös kallein osa, sylinteri, on rungon sisällä siten, että vain katkaisutapahtuman aikana sylinterivarsi on paljaana liikkeen keskivaiheessa. Sylinterin suojausta ei ole tässä tapauksessa, koska koura on voimakkaasti kiinni puussa ja tällöin koura ei liiku eikä ole vaaraa, että sylinterivarsi osuu mihinkään. Ainut syy täydellisen suojauksen vähentämiseen on paino. Poistamalla runkorakenteesta sylinterivarren täydellinen suojaus säästetään noin 1,2 kg kokonaispainosta. Jokainen poistettu gramma katkaisulaitteesta parantaa käytettävyyttä sekä tehokkuutta.

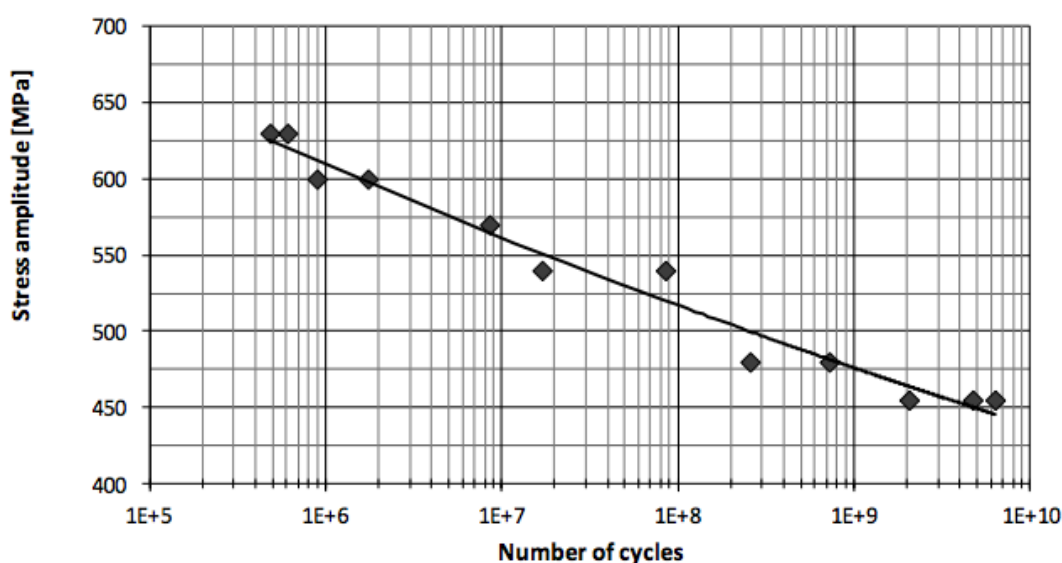


Kuvio 25. Katkaisulaiteen sisärakenteet

Käytön kannalta oli tärkeää suunnitella irrotettava terä. Terä on kuluva osa, jota täytyy sekä teroittaa, että välillä vaihtaa uuteen. Irrotettava terä on puhtaasti asiakaslähtöinen lisäominaisuus, jolla saadaan parannettua huollettavuutta, tuotettua edullisempia varaosia sekä mahdollistettua erilaisten terien käyttö katkaisulaitteessa. Irrotettavan terän liitoskohta täytyi mitoittaa kestämään suurta sylinterivoimaa. Liitos toteutettiin kuudella ruuvilla, joka on nähtävissä kuviossa 25. Ruuvien tuottama liitosvoima varsipalan ja terän välille ei ole tarpeeksi suuri, jotta pelkkä kitka pitäisi palat yhdessä sylinterin maksimi voimantuottilanteessa. Sylinteri tuottaa 56 kN voiman liitoskohtaan, mutta ruuvien tuottama kitkavoima on vain 12,7 kN. Tästä johtuen tarkastettiin myös yksittäisen ruuvin leikkausvoima. Yksittäinen ruuvi kestää noin 39,5 kN leikkausvoimaa, joten kuusi ruuvia kestää yli 230 kN. Tavoitteena olisi, että kitkavoima pitäisi liitoksen yhdessä liukumatta, mutta pienen tilan takia ei ollut mahdollista käyttää suurempia ruuveja tuottamaan suurempaa kitkavoimaa levyjen väliin. Ruuvit kestävät kuitenkin yli kaksinkertaisen leikkausvoiman sylinterin maksimi-tuotosta, joten liitos kestää pahimmat ääritilanteet. Olisi mahdollista myös lisätä

kiilapala liitokseen, joka ottaisi vastaan leikkausvoiman ruuvien sijaan. Tämä voisi olla yksi jatkokehityskohta.

Katkaisulaiteen käyttö on karsintalaitteeseen verrattuna hyvin tasainen ja ennustettava. Katkaisulaitteeseen kohdistuu vain sen sylinterin tuottama voima ja puun vastustus katkaisuun. Tästä voidaan arvioida sen käyttöikä ja kesto helpommin kuin karsintalaitteesta. Laitteen ollessa käytössä kymmenen vuoden aikana, jos käsitellään 65 000 puuta ja katkaisuja yhtä puuta kohti tulee 3 - 10, on se käyttöikänsä aikana 195 000 - 650 000 katkaisua. Suurin rasitus koituu terälle katkaisulaitteessa. Terä on Hardox 500, josta ei ollut suoraa Wöhler-käyrää, mutta se on verrattavissa Hardox 400 Wöhler-käyrään.



Kuvio 26. Hardox 400 Wöhler-käyrä (Ulewicz, Novy, Mazur, & Szataniak, 2014)

Kuviossa 26 näkyy Hardox 400 Wöhler-käyrä testattuna 20 kHz. Katkaisulaiteen käyttö on hyvin hidas verrattuna käyrän rasitustaajuuteen. 650 000 katkaisun aikana, eli syklin aikana, pienenee myötöraja 625 MPa 575 MPa:n. Kymmenen vuoden käyttöikänsä aikana tämä on hyvin pieni muutos, ja kestää hyvin sylinterin tuottaman maksimivoiman leikkaustilanteessa ylittämättä terän minimimyötörajaa puristuksessa, joka on 69,8 MPa. Lasku tästä on liitteessä 7.

9.4 Viimeistely

Suurin tuotos viimeistelyssä oli piirustukset. Piirustuksien lisäksi tuli dokumentointia, kuten kustannusarvio ja riskianalyysi. Piirustukset tuotettiin kaikista osista sekä kokoonpanoista. Karsintalaitteesta tuli yli 30 osa-, osakokoonpano- sekä pääkokoonpanopiirustusta. Katkaisulaitteen ollessa yksinkertaisempi siitä tuli vain 15 piirustusta. Kummankin laitteen piirustukset ovat täydelliset sisältäen materiaalivalinnat sekä kokoonpanoissa osaluettelot ja mitoitus, jotta ne voidaan tuottaa. Poikkeuksena on kuitenkin kolme kaarevaa osaa, joissa on päämitat, mutta ei kaarevien pintojen mitoitusta, koska levyt tulevat levyleikkeinä, jotka leikataan DXF-tiedoston perusteella. Näitä kolmea osaa ei mitoitettu täydellisesti resurssien säästämisen takia, lähinnä ajallisista syistä johtuen. Kustannusarvio kuuluu viimeistelyosioon, mutta tässä raportissa sitä käsitellään tulokset-osiossa.

Riskianalyysissä selvitettiin tuotteen käytöstä aiheutuvia riskejä ja niiden vakavuuksia. SFS EN ISO 12100 Koneturvallisuusstandardin mukaan on estettävä tai minimoitava riskejä ensisijaisesti, jonka jälkeen vasta varaudutaan varo-tarroihin tai ohjeisiin. Koteloimalla kaikki laitteet voidaan estää tapaturmia, mutta laitteiden käyttö ja huolto vaikeutuvat huomattavasti, jonka lisäksi paino nousee haitallisiin lukemiin. Karsintalaitteessa liikkuvat osat ovat rungon sisällä, jolla voidaan estää suurin osa leikkautumis- ja puristumisvaaroista. Terät ovat täysin esillä, josta aiheutuu suurin vaara käyttäjälle. Ei ollut kuitenkaan mahdollista suojata teriä järkevästi niin, ettei niistä aiheutu vaaraa ja että ne olisivat myös toimivat. Tässä tapauksessa oli turvaututtava varoitustarroihin sekä selkeään ohjeistukseen. Koneiden käytössä on aina riskejä, varsinkin kun suuria massoja, kuten puita, käsitellään, joten näitä riskejä ei voida millään täysin minimoida tai estää. Tässä tapauksessa oli myös määrättävä käyttäjälle varoalue laitteen ympärille. Nokan tukkikärryn puomissa on 15 m vaara-alue. Karsintalaitteen ollessa kärryn perässä kiinni voitiin määrätä sama vaara-alue kuormaimelle. Riskianalyysitaulukko karsintalaitteelle, jossa on huomioitu mahdollisimman monia riskejä ja niiden ratkaisut, on liitteessä 9.

Katkaisulaitteessa oli myös samoja ongelmia riskien poistamisessa. Oli mahdoton poistaa niitä kaikkia laitteen käytössä, varsinkin puun kaatotilanteessa. Riskien pie-

nantäminen suoritettiin ohjeistuksella sekä varoitustarroilla. Katkaisulaite on kiinnitettynä kouraan, jolloin se ei ole käyttäjän ulottuvilla laitetta käytettäessä ja tämä estää leikkautumisvaaran terästä tai liikkuvista osista. Katkaisulaite on myös koteloitu eri tavalla kuin karsintalaite sen toimintaperiaatteen takia. Suurimmat riskikohdat ovat, kun terä on liikkeessä, ja kun sylinteri on avaus- tai kiinni-liikkeessä ja varsi ei ole suojattu. Mikäli kummankaan liikkuvan osan väliin laitetaan mitään, on suuri leikkautumis- ja puristumisvaara. Kummankin laitteen riskit rajoittuvat pitkälti leikkautumis- ja puristumisvaaraan, joista voi aiheutua haavoja, mustelmia, murtumia tai ääritapauksissa ruumiinosien leikkautumista. Laitteista ei aiheudu normaaleissa käyttöolosuhteissa kuulovaaraa tai vaaraa silmille. Asiallisien suojarusteiden käyttöä, kuten kuulosuojausta sekä suojalaseja suositellaan aina laitteiden käytössä ja huollossa. Täytyy kuitenkin huomioida myös kaikki mahdolliset vaarat huoltotilanteessa. Huollossa kummatkin laitteet tulee olla varmistetussa huoltotilassa. Karsintalaitteen täytyy olla lukittu, ettei sen jousi laukea ja katkaisulaitteen voimalähde sammutettuna. Katkaisulaitteelle on myös riskianalyysitaulukko, joka löytyy liitteestä 10.

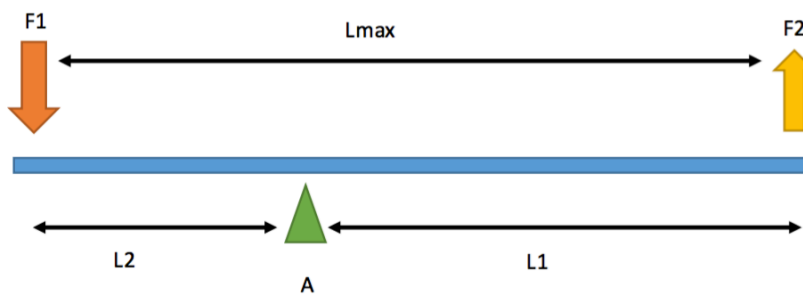
Tuotteen vienti markkinoille vaatisi CE-merkinnän. Tässä opinnäytetyössä sitä ei laadittu, joten se jää vielä toteutettavaksi. CE-merkintää varten vaaditaan täydellinen ohjekirja myyntimaan kielellä sekä tuotekilpi. Tämä on huomioitava kaikissa tuotteissa, joita viedään markkinoille. CE-merkintä on sekä opinnäytetyön aiheen rajauksen ulkopuolella, että toimeksiantajan tehtävänä vasta, kun tehdään päätös viedä tuote markkinoille.

Opinnäytetyön joka vaiheessa tuotetta verrattiin vaatimuslistaan, mutta etenkin viimeistelyvaiheessa. Ovatko suunnitellut tuotteet täyttäneet vaatimuslistan vaatimukset? Tässä tapauksessa ovat. Karsintalaitetta voidaan käyttää traktorikärryissä ja sillä voidaan karsia jopa 25 cm halkaisijaltaan oleva puu. Karsintalaite on helppo ja nopea kiinnittää perävaunun runkoon kolmella ruuvilla, eikä se vaadi käyttöä varten mitään ulkoista voimalähdettä. Katkaisulaite muuttui hieman alkuperäisestä ajatuksesta, mutta täyttää kuitenkin kaikki vaatimukset. Laitteen paino on vain 26 kg eikä sen liittäminen vaadi mitään lisähydrauliikkaa.

Karsintalaitetta optimoitiin poistamalla laserputkileikkausosa rungosta sen hinnan takia. Laserleikattu putki muutettiin yksinkertaiseksi sahaukseksi. Vaihdoilla vähennet-

tiin kalliita alihankintakustannuksia tuottamalla työ Nokka Oy:n sisäisesti. Samalla vähennettiin eri materiaalitarpeita vaihtamalla pystyrungon putkipalkki samaan ne-
liöputkeen, kuin sahattavat osat.

Karsintalaitteen ollessa perävaunun perässä, saatiin lisätuna ATV:n vetokoukkuun tulevan nuppipainon väheneminen. Parempi tasapaino perävaunussa parantaa ajettavuutta sekä ATV:hen kohdistuvaa rasitusta. Riippuen onko kärry minimimitassa tai jatkettu aisajatkeella, vähenee nuppipaino lyhyenä melkein 40 kg ja pitkänä yli 25 kg. Kuviossa 27 on statiikkalaskun kuvio voimien vaikutuksesta ja niiden etäisyyksistä, ja liitteestä 3 löytyvät täydelliset laskut.



Kuvio 27. Aisapainolaskun vapaakappalekuva

10 Tulokset

Karsinta- ja katkaisulaitteen suunnittelun osalta työstä suoriuduttiin aikataulussa sekä toimeksiantajan vaatimuslista täyttäen tai jopa ylittäen. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella energiapuun katkaisu- ja karsintalaitte täydellisillä työpiirustuksilla siten, että tuote on mahdollista viedä markkinoille. Työssä onnistuttiin tuottamaan kaikki mallit, tarkistamaan osittain niiden toimivuutta sekä tarkistamaan tuotannon kanssa, että kaikki osat ja osakokoonpanot on mahdollista tuottaa piirustuksien perusteella.

10.1 Benchmarking

Tuotteen markkinoille vienti jää nähtäväksi, koska yritys, jonka olisi ollut tarkoitus tuottaa laitteet, on hakeutunut konkurssiin. Tästä syystä ei ollut mahdollista keskustella tuotteen kilpailukyvyistä, sen paikasta markkinoilla tai yrityksen halusta viedä tuotetta markkinoille. Benchmarkingin kautta on tutkittu katkaisu- ja karsintalaitteen ominaisuuksia pakettina markkinoilla oleviin, joka näkyy taulukossa 11.

Taulukko 11. Benchmarking-vertailu

Ominaisuus	Katkaisu- ja karsintalaite paketti	Biojack 110 Energiapuukoura	Farmikko 200 – 110 Karsiva energiapuukoura
Modulaarinen	Kyllä	Ei	Ei
Paino	88kg (yhteensä)	59 kg	110 kg
Kouraan tuleva lisäpaino	26 kg	-	-
Katkaisu	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Karsinta	Kyllä	Ei	Kyllä
Katkaisukyky	15 cm	12 cm	20 cm
Katkaisu asennus	Kiinnitetään Kouraan ruuveilla	Kouran tilalle	Kouran tilalle
Karsinta suoraan perävaunuun	Kyllä	Ei	Ei
Hintavertailu	X €	1996 €	~6000 €

Benchmarking vertailu ei ole täysin luotettava, koska katkaisu- ja karsintalaite pake-
tille ei ole laskettu katetta. Jos pakettia myytäisiin samaan hintaan kuin Biojack 110
energiakouraa, olisi paketilla katetta noin 25 % prototyypin valmistuskustannuksien
päälle. Suuremmissa erissä valmistushinta olisi pienempi, joten katetta voisi olla jopa
yli 30 %. Katkaisu- ja karsintalaite paketti tarjoaa ominaisuuksia, jotka eivät ole saata-
villa Biojack kourassa.

Katkaisu- ja karsintalaitteen etu on sen modulaarisuus, se voidaan asentaa mihin tahansa kouraan ja metsäperävaunuun. Se ei ole siis rajoitettu toimintojen tai valmistajan tuotteen ominaisuuksiin. Huomioitavaa on, että tuote on kuitenkin suunniteltu Nokka Forest Pron käyttöön, jolloin käyttö muissa laitteissa ei välttämättä ole yhtä tehokasta. Puun käsittelyvaiheita tulee myös vähemmän toteutetulla ratkaisulla, puu voidaan kaataa ja samalla otteella viedä karsintaan. Karsittua sopiva mitta koura siirretään karsintalaitteen lähelle ja katkaistaan puu, joka tippuu suoraan perävaunun kyytiin. Karsintaa jatketaan samalla otteella kuin katkaisussa. Karsittu puu tulee suoraan perävaunuun ilman ylimääräistä kuormausta tai turhia otteita kouralla. Tämä työvaihe ei ole mahdollinen millään muulla tällä hetkellä markkinoilla olevalla tuotteella.

10.2 Valmistettavuus

Karsintalaite on valmistettavissa. Tuotteesta tehtiin prototyyppi, joka on todiste tuotteen valmistettavuudesta. Tämä ei tietenkään kerro sen kustannustehokkuudesta tai toimivuudesta. Karsintalaitteen kaikki levyleikkeet olivat polttoleikkeitä ja osien toleranssit olivat polttoleikkeen mukaiset. Suunnitellut osat sopivat yhteen oikeilla väljyyksillä. Hitsausaumoille oli jätetty riittävästi tilaa ja osat oli mahdollista kasata. Prototyypin teossa ei ollut hitsausjigiä, joka olisi tehostanut valmistusta ja parantanut tarkkuutta. Hitsausjigi on apuväline, joka jää jatkokehitykseen sekä karsinta- että katkaisulaitteelle.

Katkaisulaitteen valmistettavuutta on arvioitava mallien ja piirustuksien perusteella. Hydraulisyylinteri on alihankintaosa, joka tuotetaan mittatilaustyönä männän- ja varren halkaisijan sekä asennus- ja iskupituuden perusteella. Sylinterin toimivuus ja valmistettavuus on tarkastettu Pematic Oy:n pääsuunnittelijalta.

Katkaisulaitteen muut osat kuten leikkeet, osto-osat ja koneistusosat on mahdollista valmistaa. Levyleikkeet tulevat alihankinnasta. Loput osat valmistetaan Nokka Oy:n toimesta, kuten särmäykset, sorvaukset sekä hitsaus. Holkki- ja tappiosat ovat tuotannossa olevia osia, jotka ovat käytössä muissa laitteissa, mutta olivat sopivia katkaisulaitteeseen. Nokka Oy:n pääsuunnittelija ja ATV-linjan hitsaaja kumpikin uskoi-

vat, että katkaisulaite on hyvin valmistettavissa Nokan konekannalla lukuun ottamatta levyleikkeitä. Osat ovat saman kaltaisia, kuin ATV-metsäperävaunun kourassa ja valmistettu samoista materiaaleista sekä paksuuksista, joten tuotetta on mahdollista valmistaa.

10.3 Kustannusarvio

Kustannusarvio on toteutettu laskemalla prototyypin tuottamisen kustannukset. Erä-koko on yksi kappale, josta muodostuu kalliimpi tuote kuin että sitä tuotetaan suurempi sarja yhdellä kertaa. Suuremmalla eräkoolla yksittäisien osien kustannukset pienenevät paljousalennuksen takia, koska yhdelle osalle tulee esimerkiksi vähemmän asetusaikaa. Tässä on myös huomioitava, että kaikki hinnat ovat yksittäiskappaleiden hintoja yksityishenkilöille, yritykset ostavat suurempia määriä osia kerralla ja ne ovat solmineet hintasopimuksia osatoimittajien kanssa, jolloin yrityksen ostokustannukset ovat pienemmät kuin yksityishenkilöllä.

Karsintalaitteen kustannukset jakautuvat neljään osaan: levy- ja putkiosat, osto-osat, koneistus ja hitsaus sekä kokoonpano ja maalaus. Suurin menoerä oli levyleikkeet, joiden osuus kokonaishinnasta oli noin puolet. Putki- ja osto-osista, hitsauksesta ja koneistuksesta sekä kokoonpanosta ja maalauksesta koostui toinen puolisko hinnasta, ja jokaisen osuus oli noin kolmasosa puolikkaasta. Katkaisulaitteen hinta koostui myös samasta neljästä osasta kuin karsintalaitteella. Katkaisulaitteella kuitenkin osto-osista tuli suurin kustannus. Tilaustyönä tehdystä sylinteristä aiheutui suurin yksittäinen osuus kokonaishinnasta, joka oli siitä melkein puolet. Muut osat, kuten levyleikkeet ja osto-osat sekä työt, muodostivat toisen puoliskon hinnasta. Katkaisu- ja karsintalaitteen täydelliset kustannusarviot löytyvät liitteistä 12 ja 13.

Katkaisu- ja karsintalaitteen yhteishinta on X €, josta katkaisulaite on 55% ja karsintalaite 45%. Tämä hinta on yksittäiskappalehinta, joka on kalliimpi kuin sarjatuotanto. Kymmenen kappaleen erässä yhteishinta katkaisu- ja karsintalaitteelle olisi noin 7-10 % pienempi. Suuremmalla sarjakoolla voidaan päästä suurempiinkin säästöihin tuotteiden kustannuksissa. Kummankin laitteen kustannuksia on myös mahdollista pienentää jatkokehityksellä ja optimoinnilla, sekä kalleimpien osien kustannuksia pie-

mentämällä. Karsintalaitteen prototyypin tuottaminen ja kustannusarvio katkaisulaitteesta ovat kustannuksiltaan pienemmät kuin tällä hetkellä mitkään markkinoilla olevat laitteet, joissa on samanlaisia toimintoja.

10.4 Prototyypin testaus

Opinnäytetyöhön saatiin sisällytettyä karsintalaitteen prototyypin rakennus ja testaus. Testaus tuotti hyviä tuloksia, ja todisti karsintalaitteen tuotettavuuden sekä toimivuuden. ATV-metsäperävaunun kuormaimessa on riittävästi tehoa karsimaan jopa 4 cm halkaisijaltaan olevia oksia, joka täyttää vaatimuslistassa annetun tavoitteen. ATV-metsäperävaunu jaksaa myös käsitellä suurempia puita kuin arvioitiin. Tavoitteena oli karsia vähintään 15 cm halkaisijaltaan olevia puita, mutta testeissä onnistuttiin karsimaan jopa 22 cm halkaisijaltaan olevia puita. Kuviossa 28 karsitaan 15 cm halkaisijaltaan olevaa koivua.



Kuvio 28. Puun karsinta prototyypillä.

Myös leikkausjälki oli hyvin tasainen ja runkoa myötäilevä. Testausvaiheessa karsintalaitteesta puuttuivat teräjouset, jolla terät painuvat puun runkoa vasten, joten terät painatettiin kuormaliinalla. Tästä johtuen terät eivät painata tarpeeksi kovasti, kun rungon halkaisija pienenee ja runkoon jäi pieniä oksan tynkiä. Ratkaisu tähän on jousten lisääminen. Prototyypin rakentamisessa ei kuitenkaan voitu hankkia jousia Nokka Oy:n joutuessa konkurssiin. Katkaisulaitteen periaatteellinen toiminta testattiin myös ja todettiin toimivaksi. Kun kourassa olisi katkaisulaite, voitaisiin katkaista

runko läheltä karsijaa ja runko tippuisi suoraan käreyn, joten erillistä lastausta ei tarvita. Tämä lisää työtehokkuutta, koska erillinen lastausvaihe poistetaan kokonaan. Puun kaato, karsinta ja automaattinen lastaus ovat hyvin nopeita toimenpiteitä, kuitenkin tarkkaa aikavertailua ei voida tehdä, koska katkaisulaitetta ei ole. Arviolta katkaisu- ja karsintalaitetta käytettäessä voidaan yksi puu saada käreyn alle minuutissa (kuviot 29 ja 30), rasittamatta selkää tai käyttämättä ruumiillista voimaa ollenkaan. Käsin tehtynä moottorisahalla samaan tehtävään voi mennä jopa 5 minuuttia ja työ on hyvin fyysistä. Kuviossa 31 näkyy, kuinka läheltä puunrunkoa laite karsii.



Kuvio 29. Kuusi ennen karsintaa



Kuvio 30. Kuusi karsittuna



Kuvio 31. Karsintalaitteen katkaisujälki

Opinnäytetyön alussa jäivät tarkistamatta kouran tarkat kuormausominaisuudet, kuten mikä on pienin puu, jota koura pitää tiukasti paikoillaan. Testauksessa huomattiin, että kouraan jää kuuden senttimetrin aukko. Tästä johtuen kouralla ei voi vetää karsintalaitteen läpi kuutta senttimetriä ohuempaa puuta. Karsintalaite kuitenkin kykenee karsimaan jopa halkaisijaltaan kolme senttimetriä olevan puun. Jotta kouraa voidaan käyttää näin pieniin puihin, täytyisi siihen olla lisäpalat.

Iso ongelma, jota ei laskettu ollenkaan oli keskirunkoisen kärryn kestävyys, kun karsija on perävaunun perässä ja puuta vedätetään sen läpi. Testauksissa ilmeni, että jatkettavan keskirunkoisen perävaunun runko taipuu siten, että jatketta ei saa enää lyhyeksi. Putkipalkki taipuu hieman, jonka jälkeen jatkeen liikkuminen rajoittuu. Taipunut runko-osa näkyy kuviossa 32.



Kuvio 32. Perävaunun taipumakohta

Yksi ratkaisu tähän on lisätä vahvike rungon tai jalan taipumakohtaan ottamaan kuorma vastaan. Ongelmaa ei kuitenkaan esiinny, kun kääryä ei ole jatkettu, koska tukijalat ottavat tällöin taivutuksen vastaan ja runko on kaksinkertainen. On siis suositeltavaa käyttää Nokan Forest Pro Gen 2-runkoversiota karsintalaitteen käytössä sen tukevamman rungon takia. Ongelma täytyisi tarkistaa myös traktorien perävaunuissa ennen tuotteen laajempaa käyttöä.

11 Pohdinta

Toimeksiantajalta saatu palaute työn joka vaiheessa oli hyvin positiivista. On harmillista, että ei ole mahdollista nähdä päätyvätkö tuotteet markkinoille, ja kuinka ne siellä pärjäisivät. Tämä erikoinen tilanne huomioiden työ täytti toimeksiantajan vaatteen, pysyi alussa määrätyn rajauksen sisällä ja saavutti asetetut tavoitteet.

Kokonaisuus on hyvin monipuolinen. On suoritettu kvantitatiivisia tutkimuksia, hankittu lähtötietoja laskuilla ja mittauksilla sekä tuotettu prototyyppi testaukseen. Suomessa ei ollut yhtään julkaistua tutkimusta oksien ja runkojen suhteesta tai suurimman oksa koosta. Työ myös tuotti Nokka Oy:lle tietoa heidän omista laitteista joita ei ollut ennen kerätty kuten, kuormaajan koukistuskyvystä sekä laskennallisesti että mittauksella ja kääryn perässä olevan painon vaikutusta perävaunun aisapainon.

Työ eteni suunnitelman mukaisesti ja pitkälti aikataulussa. Aikataulusta poikettiin vain loppuvaiheessa, kun oli mahdollista valmistaa prototyyppi. Tästä johtuen aikatauluun tuli noin kuukausi lisää. Aikataulusta poikkeaminen kuukaudella nähtiin kuitenkin tarpeelliseksi, kun huomioidaan, kuinka paljon lisätietoa prototyypin valmistuksesta sekä testauksesta saatiin. Prototyypin testaustuloksista saatiin tietää laitteen valmistettavuus, käyttö ja toimivuus sekä tarkka kustannusarvio. Työn suurin saavutus oli prototyypin valmistus sekä testaus. Siinä nähtiin hyvin ongelmat ja esteet, jotka oli huomioitu suunnittelussa, mutta myöskin ne, joita ei osannut millään arvioida etukäteen. Työssä onnistui myös hyvin DFMA-käytännön toteutus, suunnittelun aikana tehtiin koko ajan yhteistyötä tuotannon ja kokoonpanon kanssa, jotta osat sekä kokonaisuudet ovat mahdollisimman hyvin toteutettavissa käytännössä.

Tutkimustyö olisi ollut tärkeä tehdä ennen suunnittelua, jotta lähtötiedot suunnitteluun olisivat olleet tarpeeksi kattavat. Kiireisen aikataulun takia oli aloitettava kehitys- ja suunnittelutyö ennen kuin tutkimusta oli toteutettu. Asioita ei ollut mahdollista toteuttaa suunnitellun aikataulun mukaisesti vaan ne piti tehdä yrityksen tuotannon aikataulun ympärillä, jonka takia osa tutkimuksesta tehtiin vasta suunnittelun aloittamisen jälkeen. Virhelähteitä on myös tarkkailtava ja eliminointava. Työssä virhettä aiheutui laskuihin ja tutkimuksiin epätarkoista mittauksista. Virheiden poistamiseen olisi vaadittu tarkempia mittausrakenteita tai testausmenetelmiä. Joissain vaiheissa oli tehtävä suunnittelupäätöksiä, jotta työ etenee ja jälkikäteen tarkistaa olivatko päätökset kannattavia. Optimointia ja jälkitarkastusta olisi myös voinut tehdä paljon enemmän, mutta tiukka aikataulu sekä yrityksen konkurssiin ajautuminen ei sitä mahdollistanut käytännössä ollenkaan.

Jatkokehitys olisi kuitenkin mahdollista aloittaa optimoinnilla. Tärkeä tutkimuksen kohde ennen käyttöä olisi varmistaa metsäperävaunun rungon kestävyys karsintalaitteen käytössä, että perävaunun runko kestää karsintalaitteesta aiheutuvat väännöt. Mahdollisia muutoksia tähän voisi olla vahvistettu runko, jalka tai tuki kannattamassa heikointa kohta tai erillinen kärry, jossa karsija on. Erillisellä kärryllä olisi mahdollista eristää kaikki karsintalaitteesta tulevat voimat muista laitteista. Edellä mainituilla muutoksilla olisi mahdollista tehostaa karsintalaitteen toimivuutta lisäämättä rasitusta metsäperävaunuun. Karsintalaitte voisi toimia paremmin kuormaajalla, jonka

liike on lineaarinen. ATV-perävaunun kuormaaja toimii koukistusliikkeellä ja tästä aiheutuu ongelmia käytössä, koska puu ei liiku karsijaan nähden suorassa linjassa ja voi jumittua tai jäädä kiinni. Karsintalaitteen rungon keinuminen olisi myös hyvä lukita ja jousittaa siten, ettei puun ole mahdollista mennä linkkuun pystysuunnassa. Jousien sijaan voisi olla mahdollista käyttää pidempää etuterää, joka vakauttaisi käyttöä antaen puun rungolle pidemmän matkan, jolta se on tuettu.

Katkaisu- ja karsintalaitteen kokonaisuutta voisi myös tarkastella käyttäjän hyvinvoinnin kannalta. Olisi ollut hyvä vertailla rasiusta metsurilla, joka tekee kaiken työn käsin sekä metsurilla, joka tekee työn kyseisellä puunkäsittelylaitteistolla. Tällainen tutkimus voisi tuoda lisäarvoa laitteelle, tuomalla eri näkökulman laitteen tarpeellisuudesta ja sen edusta metsurille. Toinen jatkokehitysmahdollisuus olisi laitteiden käytön tutkiminen. Tutkimuksessa voitaisiin tarkastella tarkemmin kuormia sekä iskuja, joita laitteet ottavat vastaan. Tällä tiedolla saataisiin tarkempi kuva käytöstä ja väsymiskuormituksesta, joiden avulla voidaan paremmin arvioida käyttöikä ja vahvistaa laitteiden heikkoja kohtia, ja poistaa ylimitoitusta.

Eniten työtä vaikeutti tuotteen valmistavan yrityksen joutuminen konkurssiin. Tämä on kuitenkin realismia työelämässä sekä projekteissa. Se valmistaa hyvin huomioimaan mahdolliset ongelmat ja työtä muuttavat tai pysäyttävät tekijät. On tärkeä toimia tutkimustyössä johdonmukaisesti ja laatia aikataulu, jonka mukaan toimitaan. Puun leikkaustestistä tehtiin vain alku, loppuun jatkamisesta ei ollut sovittua aikaa, jonka takia jatkopäivää venytettiin. Lopulta lisättestaus jäi pois konkurssin takia ja tutkimuksen tulokset jäivät tämän takia puutteellisiksi. Vaikka tuloksia saatiin, on niiden luotettavuutta tarkasteltava kriittisesti. Suuremmalla otoskoolla olisi saatu luotettavimmat tulokset. Tueksi löytyi tutkimuksia, joissa tulokset olivat samaa suuruusluokkaa ja jolla voitiin validoida katkaisuvoiman tulokset hyväksyttäväksi työn käyttöön.

Lähteiden kriittinen arviointi on tärkeä, jotta tieto on luotettavaa sekä relevanttia. Tietoa haettiin monipuolisesti, käyttäen julkaisuja, tutkimuksia sekä vertaisarvoituja julkaisuja aina kun mahdollista, jotta suunnitteluun olisi laaja pohjatieto. Suoraa ja Suomeen relevanttia tietoa puiden oksien ja rungon välisestä suhteesta oli hyvin vaikea löytää. Oli käytettävä muulla tehtyjä tutkimuksia vertauksena. Vaikka tulokset olivat muualta, pidettiin niitä sekä luotettavina että relevantteina. Se antaa suuremman näkemyksen puista yleensä, mutta tärkeämpänä asiana oli tarkoitus suunnitella

markkinoille tuleva laite, joka olisi mahdollisesti päätyntä kansainvälisille markkinoille, joten tiedonhankinnassa on huomioitava myös kansainväliset puiden ominaisuudet.

Työn laajuus ja monipuolisuus kasvattivat ymmärrystä suunnittelun periaatteista ja käytännön toteutus toi esille haasteita, joita täytyy huomioida suunnittelutyössä. Työ avasi myös uusia tutkimus mahdollisuuksia aiheeseen liittyen. Prototyypin valmistus konkretisoi suunnitelman, arviointien ja käytännön yhteensovittamisen haasteita ja opetti suunnittelutyön monipuolisuutta.

Lähteet

- Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. 1985. Ko-
neen-osien suunnittelu 1. Porvoo: WSOY
- Alcorn, P., Pyttel, P., Bauhus, J., Smith, G., Thomas, D., James, R. & Nicotra, A. 2007. Effects of initial planting density on branch development in 4-year-old plantation grown *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus cloeziana* trees. *Forest Ecology and Management*. Viitattu 15.5.2017. https://www.researchgate.net/publication/222692551_Effects_of_initial_planting_density_on_branch_development_in_4-year-old_plantation_grown_Eucalyptus_pilularis_and_Eucalyptus_cloeziana_trees.
- Biojack 110. N.d. Biojack Oy. Viitattu 10.8.2017. <http://www.biojack.fi/110-energia-puukoura>.
- CE-merkintä. 2016. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Viitattu 3.6.2017. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/CE-merkki/>.
- Cooper, R. 2008. The Stage-Gate Idea-to-Launch Process – Update, What’s New and NexGen Systems. Reference Paper # 30. Stage-Gate International homepage. Viitattu 28.8.2017. http://www.stagegate.net/downloads/working_papers/wp_30.pdf
- Dagnat, G., Devemy, C., Fauroux, J., Pellet, H., Hatton, B., Perriguet, N., Goubet, D., Chebab, Z., Bouzgarrou, B., Gagnol, V. & Gogu, G. 2014. Determination and optimization of delimiting forces on hardwood harvesting heads. Clermont University, French Institute for Advanced Mechanics. Viitattu 15.5.2017. <https://www.formec.org/images/proceedings/2014/a216.pdf>.
- Design for Manufacture and Assembly (DfMA). 2016. Designing Buildings. Viitattu 11.8.2017. [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_for_Manufacture_and_Assembly_\(DfMA\)](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_for_Manufacture_and_Assembly_(DfMA)).
- Ergo Activeframe. N.d. Ponsse verkkosivusto. Viitattu 10.8.2017. <http://www.ponsse.com/fi/media-arkisto/kuvat/tuotteet/harvesterit/ergo-activeframe>.
- Henriksen, E. K. 1973. Jig and fixture design manual, Industrial Press.
- Hirsjärvi, S. Remes, P. Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi.
- Huhtala, V., Makkonen, T., Ojanen, T. & Rusanen, A. 1987. Konstruktitekniikka. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonon, P. 2011. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto.
- Iikkanen, P., Keskinen, S., Korpilahti, A., Räsänen, T. & Sirkiä, A. Energiapuuvirtojen valtakunnallinen optimointimalli. Liikennevirasto, liikennejärjestelmäosasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2011, 3. Viitattu 24.5.2017. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-25_energiapuuvirtojen_valtakunnallinen_web.pdf.
- Iittiläinen, P., Hyppölä, A., Kariniemi, A., Nieminen, T., Poikela, A., Ranta, R., Roininen, K., Rumpunen, H., Tolonen, H. & Äijälä, O. 2003. Korjuujälki harvennushakkuussa.

Metsäteho Oy. Helsinki. Viitattu 3.6.2017. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Korjuujalki_harvennushakkuussa_opas.pdf.

Ilvesniemi, H., Hartman, M., Hytönen, J., Lauren, A., Kaila, A., Kantola, M., Kiikkilä, O., Kremsa, J., Kubin, E., Lindgren, M., Lindroos, A., Moilanen, M., Murto, T., Nieminen, M., Nieminen, T., Penttilä, T., Piispanen, J., Saarsalmi, A., Smolander, A., Tamminen, P. & Ukonmaanaho, L. 2012. Energiapuun korjuun vaikutukset metsiin ja vesistöihin. Metla. Metlan Työraportti 240. Viitattu 18.8.2017. http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240_2_2.2.pdf.

Jokinen, T. Tuotekehitys. 1999. Helsinki: Tekijä ja Otatieto Oy.

Karsiva energiapuukoura. N.d. Farmikko Oy. Viitattu 10.8.2017. <http://www.farmikko.fi/tuotteet/energiapuukoura/energiapuukoura-200-110/>.

Kiira, T. & Mäkinen, P. 2016. TM koeajaa: Puolen miljoonan euron Ponsse Scorpion King -harvesteri. Tekniikan Maailma 6.11.2016. Viitattu 10.8.2017. <https://tekniikanmaailma.fi/muu-tekniikka/tm-koeajaa-puolen-miljoonan-euron-ponsse-scorpion-king-harvesteri/>.

Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsäteho Oy. Helsinki. Metsätehon raportti 187. 7.4.2006. Viitattu 3.6.2017. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_187.pdf.

Linek, S. B. & Tochtermann, K. 2015. Paper Prototyping: The Surplus Merit of a Multi-Method Approach. Forum: Qualitative Social Research, 16, 3. Viitattu 16.8.2017. <https://janet.finna.fi>, FQS.

Logistiikka ja liikenneväylät. N.d. Metsäteollisuus Ry. Viitattu 25.8.2017. <https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/logistiikka-ja-liikennevaylat/>.

Loubère, M., Saint-André, L., Hervé, J. & Vestøl, G. 2004. Relationships between stem size and branch basal diameter variability in Norway spruce from two regions of France. Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences, 2004, 61 (6), pp.525-535. Viitattu 15.5.2017. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00883784/document>.

Machining Operation and Types of Machining Tools. 2015. Engineering Articles 26.8.2015. Viitattu 16.8.2017. <http://www.engineeringarticles.org/machining-operation-and-types-of-machining-tools/>.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: teknova Oy.

Measurement of tree diameter. 2012. College of Agriculture, Food and Environment. University of Kentucky. Kentucky, USA. Viitattu 21.8.2017. <http://www2.ca.uky.edu/forestry/for250/measuring%20tree%20diameters.pdf>.

Metsäteollisuuden puunkäyttö. 2017. Luonnonvarakeskus. Viitattu 23.5.2017. <http://stat.luke.fi/metsateollisuuden-puun-kaytto>.

Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä. N.d. Esabin Osaamiskeskus. Viitattu 16.8.2017. <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>.

- Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunniteluoppi. Helsinki: WSOY.
- Pajuoja, H. & Hämäläinen, J. 2012. Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa. Metsäteollisuus, Metsäteho. Viitattu 3.6.2017. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Seminaari_2012_01_c_Pajuoja_Hamalainen_Kohti_tehokkaampaa_puuhuoltoa.pdf.
- Piironen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettävyyteen. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.7.2017. <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>
- Piesala, P. 2011. Puun monet mahdollisuudet. Suomen Metsäyhdistys ry. Viitattu 21.8.2017. <https://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/Puun-monet-mahdollisuudet-2011.pdf>.
- Pohjonen, V. 2017. Kotimaisen energiapuun käyttö helpottaisi velkaamme. Helsingin Sanomat 11.3.2017. Viitattu. 24.5.2017. <http://www.hs.fi/paivanlehti/11032017/art-2000005122356.html>.
- Puuaineen ominaisuuksia. N.d. Opetushallitus. Viitattu 17.8.2017. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/raaka-aineet/puuaineen_ominaisuuksia/index.html.
- Puun energiakäyttö. 2017. Luonnonvarakeskus. Viitattu. 24.5.2017. <http://stat.luke.fi/puun-energiakaytto>.
- Puun kokonaiskäyttö. 2017. Luonnonvarakeskus. Viitattu 15.5.2017. <http://stat.luke.fi/puun-kokonaiskaytto>.
- Puun käyttö. 2015. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto. Viitattu 30.5.2017. https://www.mtk.fi/metsa/puun_kaytto/fi_FI/puun_kaytto/.
- Puuntuottaja, P. 2015. Messuraportti: Koneagria 2015 metsäisillä silmillä. Puuntuottaja 21.10.2015. Viitattu 10.8.2017. <http://www.puuntuottaja.com/messuraportti-koneagria-2015-metsaisilla-silmilla/>.
- Product development. N.d. Business dictionary. Viitattu 31.5.2017. <http://www.businessdictionary.com/definition/product-development.html>.
- Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624. Viitattu 21.8.2017. <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532661/equations.pdf?sequence=1>.
- Roy, H. M. & Dugal, S. S. 2005. Benchmarking The Human Side Of The Business Enterprise. Emerald Group Publishing Limited. Viitattu 16.8.2017. <https://janet.finna.fi, ProQuest Ebook Central>.
- Saranpää, P. 2004. Puusta pintaa syvemmältä. Metsäntutkimuslaitos. Vantaa. Viitattu 17.8.2017. <http://www.metla.fi/tapahtumat/2004/va-tutkimuspaiva-03/pdf/3-Saranpaa.pdf>.
- SFS-EN ISO 9241-210. 2010. Ihmisen ja järjestelmän vuorovaikutuksen ergonomia. Osa 210: Vuorovaikutteisten järjestelmien käyttäjäkeskeinen suunnittelu. Helsinki:

Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 16.8.2017. <https://janet.jamk.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO 12100. 2012. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskien pienentäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 16.8.2017. <https://janet.jamk.fi>, SFS Online.

Standardi, mikä se on?. 2007. Datateknikka ja viestintä. Viitattu 21.6.2017. <http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/stand.html>.

Suomen metsävarat. 2016. Metsäyhdistys. Viitattu 15.5.2015. <http://www.smy.fi/forest-fi/metsatietopaketti/suomen-metsavarat/>.

Suometsien puunkorjuu. 2014. Metsäkeskus. Viitattu 3.6.2017. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/suometsien-puunkorjuu.pdf>.

Sähkösanasto. N.d. Paneliankoskenvoima. Viitattu 24.5.2017. <http://www.paneliankoskenvoima.fi/tuotteet-ja-palvelut-hyva-tietaa/sahkosanasto>.

Tietoa JAMKista. N.d. Vetovoimainen ja kansainvälinen korkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.9.2017. <https://www.jamk.fi/fi/Tietoa-JAMKista/>.

Tilastot. N.d. Metsäteollisuus. Viitattu 15.5.2017. <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/>.

Tree calipers. N.d. Stihl verkkosivusto. Viitattu 3.9.2017. http://static.stihl.com/upload/assetmanager/modell_imagefilename/scaled/zoom/05bf5e17f2564b548c806511afc20d51.jpg.

Tuote-esite Liukulaakeri WB802. N.d. D&E Bearing. Viitattu 23.8.2017. http://debearings.fi/wp-content/uploads/2016/08/WB802_Fin.pdf.

Ulewicz, R., Novy, F., Mazur, M. & Szataniak, P. 2014. Fatigue properties of the HSLA steel in high and ultra-high cycle region. *Production Engineering Archives* 4(3) 18 - 21. Viitattu 9.9.2017. http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-c0e97e87-6931-4d65-9fdd-a5296129e394/c/pea_2014__4_19-21.pdf.

Wright, P.K. & Trent, E. 2000. *Metal Cutting: Fourth Edition*. Elsevier Science. Viitattu 16.8.2017. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central.

Yritys. N.d. Historia. Nokka Oy. Viitattu 21.3.2017. <http://www.nokka.fi/yritys/>.

Liitteet

Liite 1. Puu leikkausvoima testipenkin tulokset

Puun katkaisu koe		20/06/17
Nokka Oy	Testaus tehty sisällä, lämpötila noin 20 astetta	Kevin Vainio

Sylinteri (mm):	60	Pinta-ala (mm ²):	2827,43
-----------------	----	-------------------------------	---------

HUOM: Puut tuoreita, vasta kaadettuja

Voiman laskukaava	$F_{työntö} = \frac{1}{4} \pi \times p \times d_m^2$
-------------------	--

Puu	Kappale	Terä	Halkaisia (mm)	Pinta-ala (mm ²)	Paine (Bar)	Sylinterivoima (N)	kN	% ero
Koivu	1	Tylsä	24	452,39	Ei katkennut	-	-	-
	1	Terävä	24	452,39	23	6503,10	6,50	-
	2	Tylsä	46	1661,90	150	42411,50	42,41	51,33
	2	Terävä	46	1661,90	73	20640,26	20,64	-
	3	Tylsä	80	5026,55	Ei katkennut	-	-	-
	3	Terävä	80	5026,55	146	41280,53	41,28	-
	4	Tylsä	108	9160,88	Ei katkennut	-	-	-
	4	Terävä	108	9160,88	228	64465,48	64,47	-
Koivun Keskiarvo erotus %								51,33

Puu	Kappale	Terä	Halkaisia (mm)	Pinta-ala (mm ²)	Paine (Bar)	Sylinterivoima (N)	kN	% ero
Kuusi	1	Tylsä	35	962,11	22	6220,35	6,22	-31,82
	1	Terävä	35	962,11	29	8199,56	8,20	-
	2	Tylsä	52	2123,72	147	41563,27	41,56	55,78
	2	Terävä	52	2123,72	65	18378,32	18,38	-
	3	Tylsä	75	4417,86	204	57679,64	57,68	41,18
	3	Terävä	75	4417,86	120	33929,20	33,93	-
Kuusen Keskiarvo erotus %								48,48

Jätetty pois tuloksista

Puu	Kappale	Terä	Halkaisia (mm)	Pinta-ala (mm ²)	Paine (Bar)	Sylinterivoima (N)	kN	% ero
Mänty	1	Tylsä	22	380,13	41	11592,48	11,59	21,95
	1	Terävä	22	380,13	32	9047,79	9,05	-
	2	Tylsä	38	1134,11	124	35060,17	35,06	47,58
	2	Terävä	38	1134,11	65	18378,32	18,38	-
	3	Tylsä	45	1590,43	143	40432,30	40,43	53,85
	3	Terävä	45	1590,43	66	18661,06	18,66	-
	4	Tylsä	55	2375,83	114	32232,74	32,23	45,61
	4	Terävä	55	2375,83	62	17530,09	17,53	-
	5	Tylsä	72	4071,50	Ei katkennut	-	-	-
	5	Terävä	72	4071,50	130	36756,63	36,76	-
	6	Tylsä	122	11689,87	Ei katkennut	-	-	-
	6	Terävä	122	11689,87	161	45521,678	45,522	-
Keskiarvo erotus %								42,25

Keskiarvo erotus %	47,35
---------------------------	--------------

Tylsä vs. Terävä

Liite 2. Sylinterinurjahduslasku

Nurjahdus lasku

Pituus	l_n	568 mm
Halkaisija	d	50 mm
Kimmokerroin	E	210 Gpa
	E	210000 N/mm ²

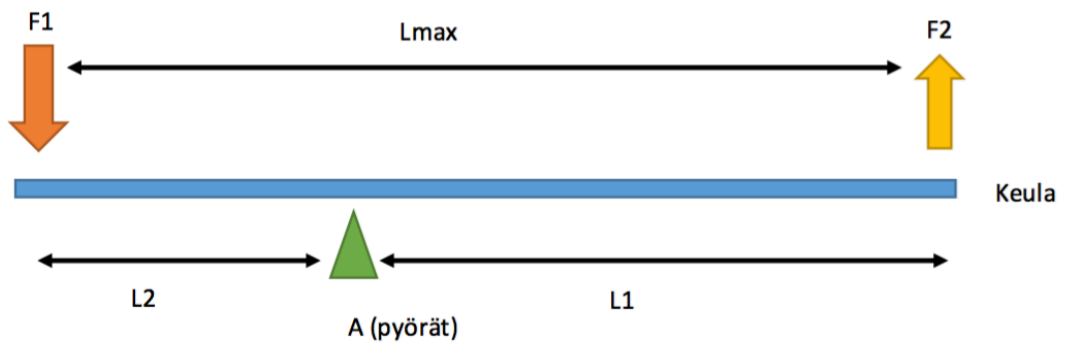
$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Neliömomentti	I	306796,1576 mm ⁴
---------------	-----	-----------------------------

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{l_n^2}$$

Nurjahdusvoima F_n		1970934,923 N 1970,934923 kN
----------------------	--	---------------------------------

Liite 3. Aisapainolasku



Lmax1	2895 mm	g	9,81 m/s ²
Lmax2	3895 mm	W1	62,44 kg
L1a	1778 mm	F1	612,5364 N
L1b	2778 mm	F2a	?
L2	1117 mm	F2b	?

Lyhyt aisaväli

$$F2a = \frac{F1 \times L2}{L1a}$$

F2a =	384,82 N
W2a =	39,23 kg

Pitkä aisaväli

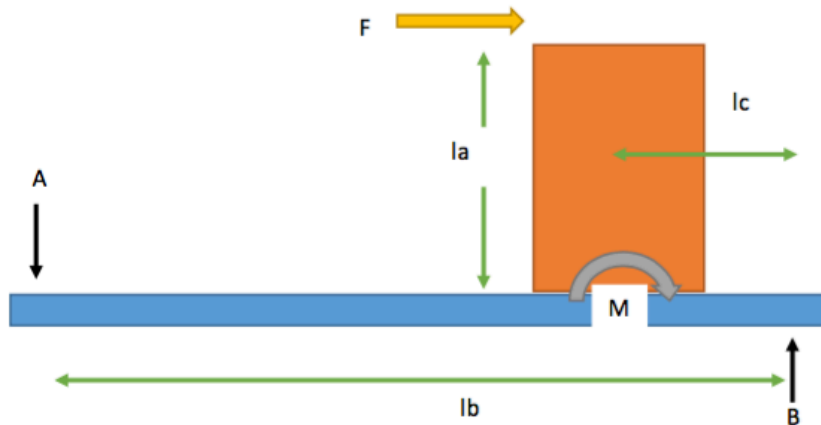
$$F2b = \frac{F1 \times L2}{L1b}$$

F2b =	246,29 N
W2a =	25,11 kg

Liite 4. Terään tuleva maksimimomentti

Terän rungon mitoitus

la	297 mm	terä - akseli väli
lb	202 mm	akseli väli
lc	37 mm	seinä - terän keskelle
d	50 mm	akseli halk.
F	18 kN	Voima



Pistemomentti akselille

$$M = F \cdot A \quad 5346000 \text{ Nmm}$$

$$A = \frac{-3M}{2l} \left(1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2\right)$$

$$l = lb \quad 202 \text{ mm}$$

$$a = lb - lc \quad 165 \text{ mm}$$

$$A \quad -13210,95 \text{ N}$$

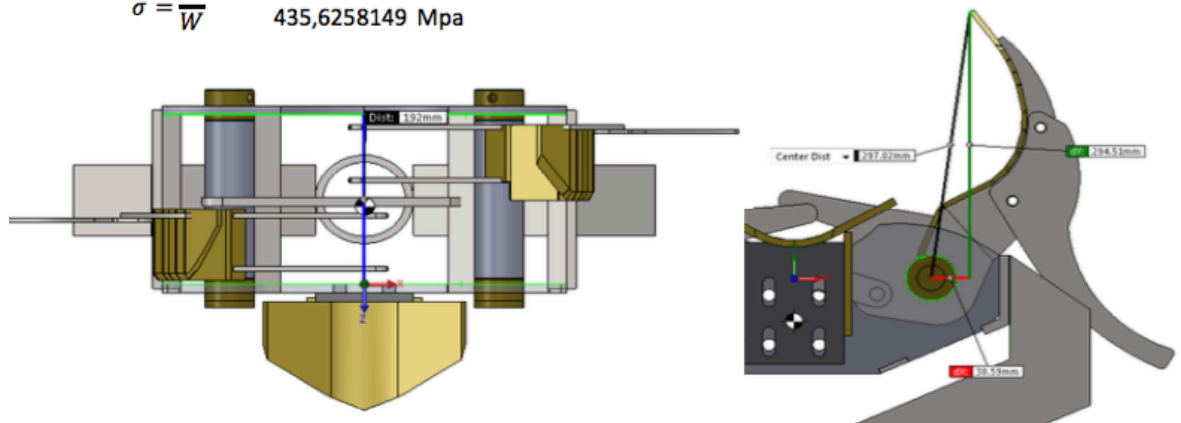
$$B \quad 38366,13 \text{ N}$$

Akseli

$$\text{Taivutusvastus} \quad 12272 \text{ mm}^3$$

$$12,272 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

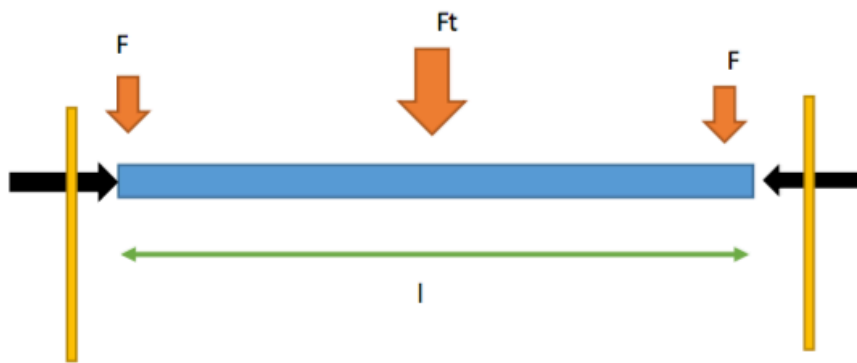
$$\sigma = \frac{M}{W} \quad 435,6258149 \text{ Mpa}$$



Liite 5. Karsintalaitteen runkotappien lasku

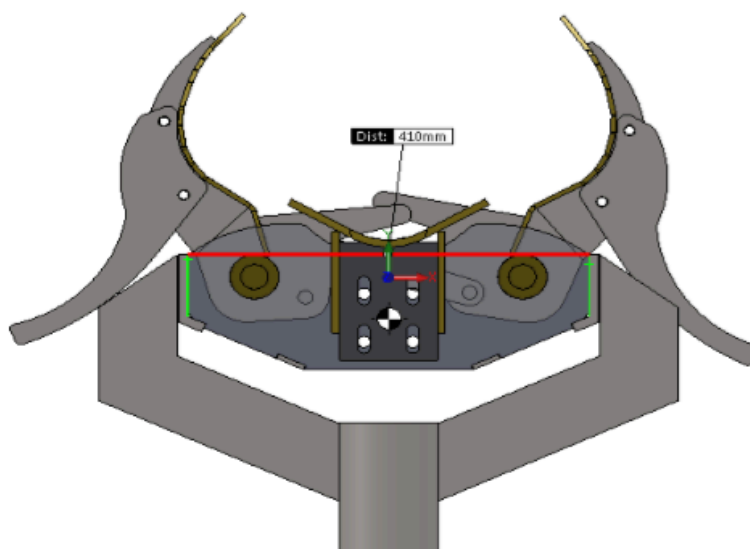
Keinu rungon mitoitus

Puun halk.	D	25 cm
Puun paino noin.	p	300 kg
	F _p	2943 N
Kuormain voima	F _k	6000 N
Kerroin	s	2
Kok. voima	F _t	17886 N
Voima/tappi	F	8943 N
Akseliväli	l	420 mm
Akselitappi	d	25 mm
Pinta-ala	A	490,9 mm ²



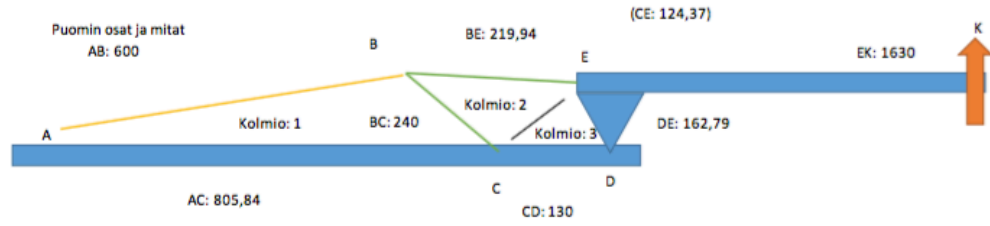
Leikkausjännitys

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \tau \quad 18,22 \text{ Mpa}$$



Liite 6. Puomin koukistusvoiman lasku

Puomin koukistus voima



Kulma laskut

Kolmio: 1

Side 1: 600 opposite angle: 26.228°
Side 2: 240 opposite angle: 10.182°
Side 3: 805.84 opposite angle: 143.59°
Total Area: 42736.774097722

Kolmio: 2

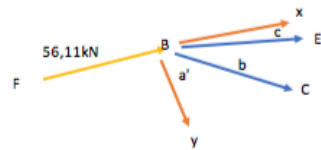
Side 1: 219.94 opposite angle: 65.565°
Side 2: 240 opposite angle: 83.449°
Side 3: 124.37 opposite angle: 30.986°
Total Area: 13587.667487867

Kolmio: 3

Side 1: 130 opposite angle: 51.75°
Side 2: 124.37 opposite angle: 48.704°
Side 3: 162.79 opposite angle: 79.546°
Total Area: 7949.8603485459

Voima laskut

F= 56,11 kN
a= 143,59 b= 30,986 c= 5,424
a'= 53,59 b'= 84,576 (a'+b) c'= 36,41 (b+c)



$$F_x=0; F \cdot C \cdot \cos(c') - E \cdot \cos(c) = 0$$

$$F_y=0; C \cdot \cos(a') + E \cdot \cos(b') = 0$$

$$C = \frac{-E \cdot \cos(b')}{\cos(a')}$$

$$F = C \cdot \cos(c') + E \cdot \cos(c)$$

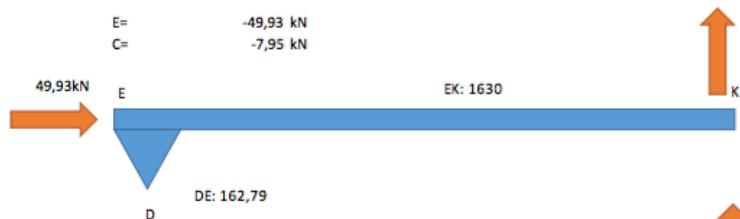
$$F = \frac{-E \cdot \cos(b')}{\cos(a')} \cdot \cos(c') + E \cdot \cos(c)$$

$$F = E \cdot \left(\frac{\cos(c) + \cos(b')}{\cos(a')} \cdot \cos(c') \right)$$

$$E = \frac{F}{\left(\frac{\cos(c) + \cos(b')}{\cos(a')} \cdot \cos(c') \right)}$$

cos(a')= 0,5936
cos(b')= 0,0945
cos(c) = 0,9955
cos(c')= 0,8048

E= -49,93 kN
C= -7,95 kN



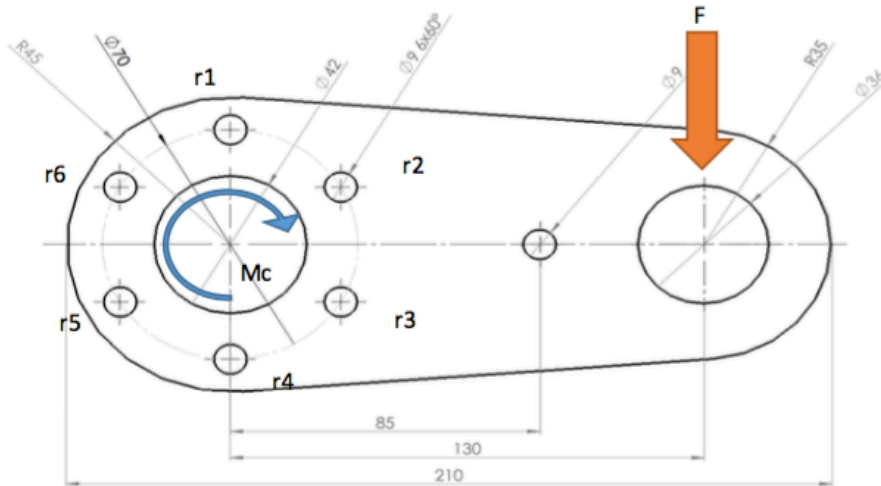
EK= 1630,0 mm
DE= 162,8 mm
d= 41,3 deg
DM= 122,3 mm
EJ= 107,4 mm
JK= 1522,6

Momentti M1= -6107198,8 Nmm (E*DM)
Voima K= -4011,1 N

Liite 8. Ruuviliitoksen laskenta

Ruuviliitos lasku

Ruuvi koko		M8	12,9
Ruuvi määrä	z	6	
Jako		6x60°	
Jako halkaisija	dt	70 mm	
Sylinterivoima	F	90,48 kN	



Momentti pituus	Lm	130 mm	
Vääntömomentti	T	11762,4 kNmm	$T=F*Lm$
	T	11762400 Nmm	

Ruuvi koordi	x (mm)	y (mm)
r1	0	35
r2	30,3	17,5
r3	30,3	-17,5
r4	0	-35
r5	-30,3	-17,5
r6	-30,3	17,5
Mc	0	0
F	0	130

Vääntömomentti $Q_k = T / (z * dt / 2)$

Q_k 56011,42857 N
56,01142857 kN

Allowable tensile strength during tightening

$$\text{Salittu vetojännitys } Q_m = (V_p \cdot R_{p0,2}) / (1 + 3 \cdot ((2 \cdot d_2 / d_0) \cdot (1.155 \cdot u_G + P / \pi \cdot d_2)))^2$$

Myötörajan hyötösuhde	V_p	0,9	
Venymisraja	$R_{p0,2}$	1080 Mpa	
Kylkihalkaisija	d_2	7,188 mm	
Nousu	P	1,25 mm	
Sydänhalkaisija	d_3	6,466 mm	
Jännitys pinta-ala	A_s	36,6 mm ²	
poikkileikkaus halk.	d_0	6,827 mm	$= (d_2 + d_3) / 2$
Kitkakerroin	$u_G = u_K$	0,1	
Kannan ulkohalkaisija	dk	13 mm	
Ruuvien reiän halk.	DB	9 mm	
Kesk. kitka halkaisija	D_{km}	11 mm	$= (dk + DB) / 2$

$$\text{Salittu vetojännitys } Q_m = 824,9382865 \text{ Mpa}$$

$$\text{Sallittu aksiaalivoima } F_m = 30192,74129 \text{ N} = Q_m \cdot A_s$$

$$\text{Kokonaiskieristysmomentti } M_a = (F_m / 2) \cdot (1,155 \cdot u_G \cdot d_2 + u_K \cdot D_{km} + (P / \pi \cdot ()))$$

$$M_a = 35145,88099 \text{ Nmm}$$

$$M_a = 35,14588099 \text{ Nm}$$

(koneen osien suunnittelu. Sivut: 220)

standardihajonta 0,074

$$\text{Lepokitka } u_0 = 0,493 \text{ teräs - teräs}$$

$$u_0 = 0,419 \text{ teräs - teräs}$$

$$u_0 = \text{hiekkapuhallettu}$$

$$\text{Kitkavoima } F_k = 12650,7586 \text{ N}$$

$$F_k = 12,6507586 \text{ kN}$$

EI RIITÄ MAKSIMI TILANTEESSA

Ruuvien leikkausvoima

$$F = A \cdot \tau$$

$$\text{Ruuvien leikkausjännitys } \tau = 1080 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pintaala } A = 36,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Leikkausvoima } F = 39528 \text{ N}$$

YKSI RUUVI KESTÄÄ MELKEIN 40 kN

$$6 \text{ Ruuvien leikkausvoima } F_{tot} = 237168 \text{ N}$$

Liite 9. Karsintalaitteen riskianalyysi

Karsintalaitteen Riskianalyysi					
Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Riskin suuruus (1-3)	Riskin todennäköisyys (1-3)	Johtopäätös riskin laadusta	Ratkaisu
Terien huolto tai teroitus	Haava	1	2	Ka 1,5	Varoitus tarrat, eri väri terillä kuin rungolla
Käden tai sormen laitteen liikkuvien osien väliin jääminen	Haava, mustelma, ruhjo, murtuma	1	2	Ka 1,5	Varoitus tarrat, merkitty käyttöetäisyys, ohjeistus
Laitteen asenuksesta aiheutuvat vaarat, esim: putoaminen, selän satuttaminen	Haava, murutuma, selän satuttaminen	1	1	Ka 1	Selkeät asennus ohjeet sekä varoitukset putoamis vaarasta, käytettän asenuksessa kärryn puomia
Jousi laukeaa huollossa tai jumituksen takia	Mustelma, haava, murtumia	1	1	Ka 1	Jousen lukitus mahdollisuus, ohjeistus kuinka toimitaan häiriötilassa
Karsintalaitetta käytetään liian läheltä	Osuma puusta tai oksasta aiheutuva vamma	3	1	Ka 2	Minimi käyttöetäisyys varoitus, ohjeistus sekä varoitus tarrat
Muulle alueella oleville aiheutuva vaara	Haava, mustelma, ruhjo, murtuma	2	2	Ka 2	Varoitus kyltit asutuksen lähellä, majakka valo ATV:ssä
Silmään lentävä pieni puu roska, tikku tai pala	Selmän ärsyntyminen, silmä vamma	1	1	Ka 1	Ohjeistettu käyttö etäisyys, silmä suojaus aina käytössä sekä huollossa

Liite 10. Katkaisulaitteen riskianalyysi

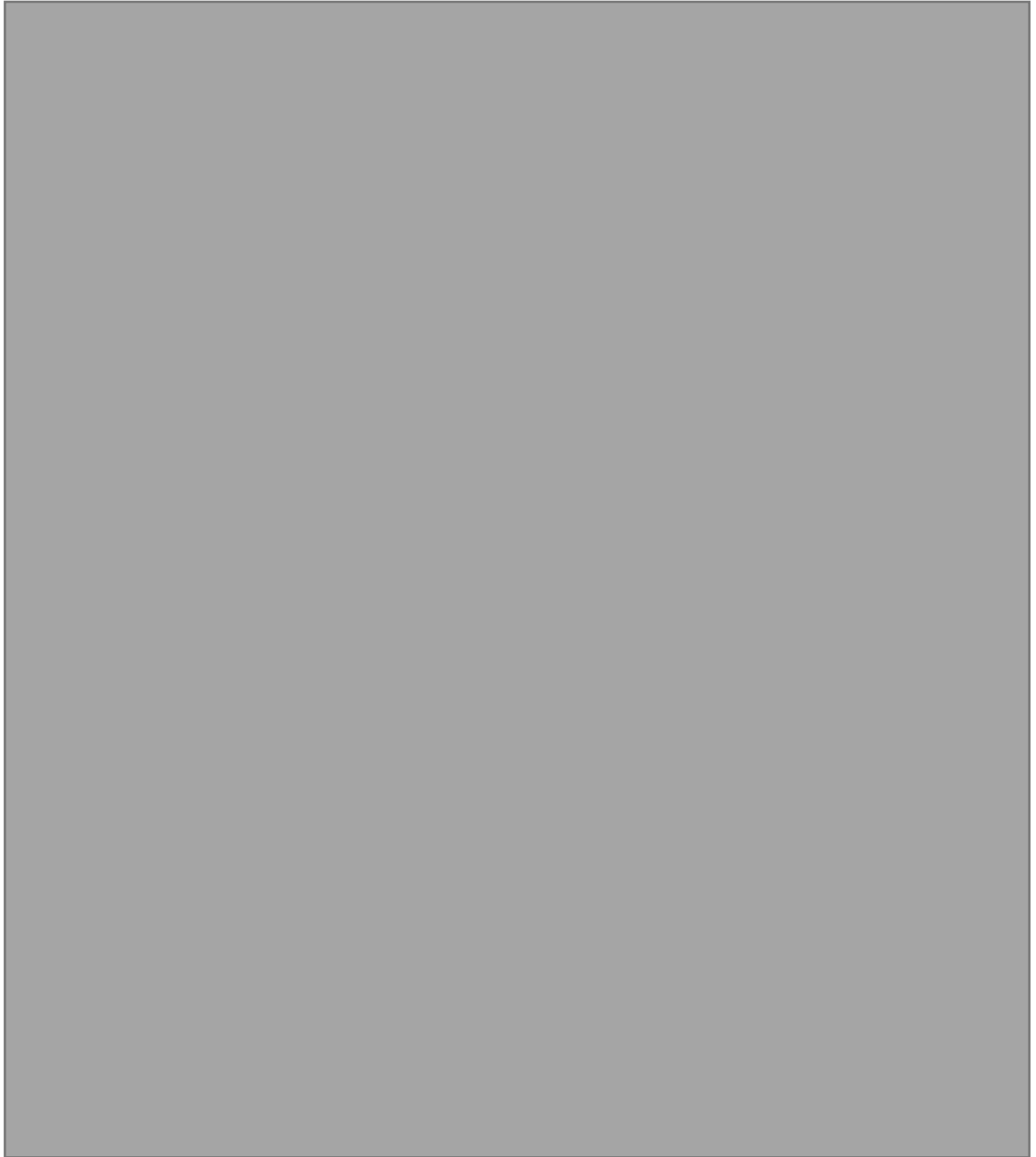
Karsintalaitteen Riskianalyysi					
Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Riskin suuruus (1-3)	Riskin todennäköisyys (1-3)	Johtopäätös riskin laadusta	Ratkaisu
Terien huolto tai teroitus	Haava	1	2	Ka 1,5	Varoitus tarrat, eri väri terillä kuin rungolla
Käden tai sormen laitteen liikkuvien osien väliin jääminen	Haava, mustelma, murtuma	1	2	Ka 1,5	Varoitus tarrat, merkitty käyttöetäisyys, ohjeistus
Laitteen asenuksesta aiheutuvat vaarat, esim: putoaminen, selän satuttaminen	Haava, murutuma, selän satuttaminen	1	1	Ka 1	Käytettän asenuksessa kärryn puomia
Huollossa tai jumiutuksen takia aiheutuva vaara	Mustelma, haava, murtuma	1	1	Ka 1	Koneikon sammutus ennen huoltoa.
Katkaisulaitetta käytetään liian läheltä	Osuma puusta tai oksasta aiheutuva vamma	3	1	Ka 2	Minimi käyttöetäisyys varoitus, ohjeistus sekä varoitus tarrat
Muille alueella oleville aiheutuva vaara	Haava, mustelma, murtuma	2	2	Ka 2	Varoitus kyltit asutuksen lähellä, majakka valo ATV:ssä
Silmään lentävä pieni puu roska, tikku tai pala	Selmän ärsyntyminen, silmä vamma	1	1	Ka 1	Ohjeistettu käyttöetäisyys, silmä suojaus aina käytössä sekä huollossa
Puu kaatuu päälle	Vakava vamma (murtuma) ääritapauksessa kuolema	3	2	Ka 2,5	ATV:n päälle turva kaari, oikea käyttöetäisyys

Liite 11. Puiden halkaisijoiden ja oksien mittaus

Koivu	Halkaisija	1 oksa	Paksuin oksa	Halkaisija-paksuin suhde
1	15	1,8	3,2	0,21
2	19	1,9	4	0,21
3	14	1,6	2,7	0,19
4	18	2,0	4	0,22
5	15	2,4	6,4	0,43
6	12,5	1,4	4,5	0,36
7	15	5	5	0,33
8	9,5	1,7	2,2	0,23
9	18	2,5	3	0,17
10	12	1,2	2,3	0,19
11	12	1,0	2,5	0,21
12	13	1,3	2,4	0,18
13	15	1,5	2,8	0,19
14	10	1,0	2,4	0,24
15	12	2,3	3,3	0,28
16	18	2,4	3,5	0,19
17	12	1,0	1,5	0,13
18	11	0,7	2,0	0,18
19	7	1,0	1,0	0,14
20	8	0,9	1,3	0,16
			AVERAGE	0,22
Kuusi	Halkaisija	1 oksa	Paksuin oksa	Halkaisija-paksuin suhde
1	17	1,7	3,0	0,18
2	10	0,5	2,5	0,25
3	20	2,0	4	0,20
4	14	1,5	2,5	0,18
5	15	0,5	3	0,20
6	16	0,5	3	0,19
7	12	1,2	2,5	0,21
8	14	1,2	2,8	0,20
9	12	0,4	2,1	0,18
10	8	0,6	2,0	0,25
11	14	0,5	1,8	0,13
12	14	0,7	2,2	0,16
13	16	1,0	2,5	0,16
14	7	0,4	1,4	0,20
15	17	1,1	2,5	0,15
16	10	0,4	1,5	0,15
17	14	0,6	2,0	0,14
18	9	0,8	1,2	0,13
19	11	0,6	1,3	0,12
20	12	2,1	3	0,25
			AVERAGE	0,18
Mänty	Halkaisija	1 oksa	Paksuin oksa	Halkaisija-paksuin suhde
1	12	2,5	2,5	0,21
2	16	2,0	2,0	0,13
3	15	2,0	3	0,20
4	17	1,6	2	0,12
5	15	2,0	3,0	0,20
6	16	1,5	2,5	0,16
7	12	1,0	1,5	0,13
8	16	1,7	2,0	0,13
9	14	1,5	2,8	0,20
10	11	0,8	2,3	0,21
11	16	1,4	2,4	0,15
12	13	0,9	1,7	0,13
13	8	0,6	1,8	0,23
14	7	0,6	1,2	0,17
15	18	1,8	3,0	0,17
16	16	1,0	3,2	0,20
17	11	1,1	2,2	0,20
18	15	1,5	2,9	0,19
19	13	1,3	2,3	0,18
20	15	1,3	2,7	0,18
			AVERAGE	0,17

Laji	Määrä	Halkaisija väli (cm)	Suurin oksa (cm)	Suurin suhde (r)	Pienin suhde (r)	Keskiarvo (r)
Koivu	20	7-19	6,4	0,43	0,13	0,22
Kuusi	20	7-20	3,0	0,25	0,12	0,18
Mänty	20	7-18	3,2	0,23	0,13	0,17

Liite 12. Karsintalaitteen kustannusarvio



Liite 13. Katkaisulaitteen kustannusarvio

