

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
Konetekniikan koulutusohjelma

Juuso-Petteri Herranen

**HARVESTERIN SAHALAIPAN JATKOTUTKIMUS JA  
TUOTTEISTAMINEN**

Työn tarkastajat:      Professori Juha Varis  
                                    TkT Kimmo Kerkkänen

Työn ohjaaja:              Toimitusjohtaja Petri Holopainen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT School of Energy Systems

Konetekniikan koulutusohjelma

Juuso-Petteri Herranen

### **Harvesterin sahalaipan jatkotutkimus ja tuotteistaminen**

Diplomityö

2015

46 sivua, 24 kuvaa, 4 taulukkoa, 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Juha Varis

TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: terälaippa, harvesteri, prototyyppi, tuotteistaminen

Keywords: saw bar, harvester, prototype, productizing

Tämän diplomityön tavoitteena oli saavuttaa Joensuun CNC-Machining Oy:n aloittama harvesterinlaipan kehitystyö loppuun. Kehitystyön oli aloittanut vuonna 2012 Teemu Tuominen omalla opinnäytetyöllään, joka keskittyi suunnittelua ja valmistusta rajoittavien patenttien selvittämiseen sekä laipan valmistuksessa käytettyjen materiaalien selvittämiseen. Kirjallisuuskatsauksen ja puutuvien tietojen hankinnan jälkeen tarkasteluun otettiin aiemmin valmistettu prototyyppi sekä rikkoutuneita käytettyjä laippoja. Näistä laipoista tehtiin havaintoja esille nousevista ongelmakohdista, joiden perusteella tässä työssä suunnitelmaa päivitettiin ja asetettiin vaatimukset uudelle prototyypille. Kokonaisuutensa suunnittelun jälkeen keskityttiin viimeistelemään osatoiminnallisuuksien yksityiskohdat. Suunnittelun tulosten perusteella valmistettiin laipasta prototyypisarja, joista kahdella suoritettiin todellista käyttöä vastaava koeajo. Koeajon aikana ja jälkeen laippojen käyttäytymisestä ja suorituskyvystä tehtiin havaintoja. Valmistuksesta ja koeajosta saaduilla tiedoilla laippamallia kehitetään kohti markkinakelpoista tuotetta ja tuoteperhettä kasvatetaan eri mallisilla laipoilla.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology

LUT School of Energy Systems

Department of Mechanical Engineering

Juuso-Petteri Herranen

### **Follow-up research and productizing of harvester saw bar**

Master's Thesis

2015

46 pages, 24 figures, 4 tables, 2 appendices

Inspectors: Professori Juha Varis

D. Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: saw bar, harvester, prototype, productizing

The aim of this Master of Science Thesis was to conclude the development work of harvester saw bar started by Joensuun CNC-Machining Oy. Development work had been started by Teemu Tuominen in 2012 as his own thesis work mainly focused on studying the existing patents that would set limitations to the design and manufacturing of the saw bar and also which materials should be used in it. My research started with a literature review and an acquisition of needed information. After this the existing prototype and some used commercial saw bars were closely studied. These saw bars provided information of the key problem areas in the design and this information was used to update the design in this thesis and to set a requirement list to the new prototype. First the overall structure was designed and after that the work shifted to finalize the sub-function details. With the results of this new saw bar design a prototype batch was manufactured and two of the prototype saw bars were tested in conditions mimicking the real use and conditions. Data from the behavior and performance of the saw bar was collected and recorded during the entire test. The information from the manufacturing phase and the tests will be used to improve the saw bar design towards a marketable product and the product family will be increased with multiple saw bar models.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on toteutettu Joensuun CNC-Machining Oy:lle vuosina 2013–2015. Työn teon aikana toimin yrityksessä suunnitteluinsinöörinä ja myöhemmin projekti-insinöörinä muissa laatuun ja kehittämiseen liittyvissä tehtävissä.

Kiitokseni haluan osoittaa ketään erittelemättä kaikille työn eteenpäin vientiin osallistuneille henkilöille. Ilman teidän asiantuntemustanne koneellisesta puunkorjuusta, metallien koneistamisesta sekä lämpökäsittelystä, tietoa eri materiaaleista sekä valmistuksen ammattitaitoa tämän työn toteuttaminen ei olisi ollut mahdollista.

Työni ohjaamisesta ja diplomityön kirjallisen osuuden neuvoista sekä kannustuksesta työn loppuun saattamiseen haluan kiittää ohjaajiani Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta, TkT Kimmo Kerkkästä ja professori Juha Varista.

Suurkiitokset haluan osoittaa myös vaimolleni, lapselleni, vanhemmilleni ja ystävilleni, jotka jokainen omalta osaltaan ovat olleet tukemassa ja kannustamassa minua tämän työn teossa. Ilman teidän tukeanne en olisi koulutusurallani päässyt näin pitkälle. Kiitos kaikille!

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO .....	8
	1.1 Työn tavoitteet ja rajaus .....	8
	1.2 Tutkimuksen toteutus .....	9
	1.3 Joensuun CNC-Machining Oy .....	9
2	TOIMINTAYMPÄRISTÖ .....	10
	2.1 Yleistä harvestereista .....	10
	2.2 Harvesteripää .....	11
	2.2.1 Harvesterilaippa .....	12
3	LÄHTÖTIEDOT JA TEORIA .....	14
	3.1 Käytetty kirjallisuus .....	14
	3.2 Teemu Tuomisen opinnäytetyö .....	14
	3.2.1 Voimassa olevat patentit .....	14
	3.2.2 Materiaalianalyysi .....	15
	3.2.3 Kovuusmittaukset .....	15
	3.3 Kovuusmittausten täydentäminen .....	16
	3.3.1 Mittaustulokset ja havainnot .....	16
	3.4 Aiemman prototyypin katselmointi .....	18
	3.5 Tuotevertailu .....	18
	3.6 Systemaattinen suunnittelu .....	19
	3.7 Koneistaminen .....	19
	3.8 Karkaisumenetelmät .....	20
	3.8.1 Suorakarkaisu .....	20
	3.8.2 Induktiokarkaisu .....	21
	3.8.3 Nitraus .....	21
	3.9 Käytettyjen laippojen kuluminen ja vauriot .....	22
4	UUDEN PROTOTYYPPI SUUNNITTELU JA VALMISTUS .....	27
	4.1 Laipan valmistukselliset ja toiminnalliset vaatimukset .....	28

4.2	Laipparunko .....	30
4.2.1	Materiaali .....	32
4.2.2	Kärkiuran pohjan pyöristys.....	32
4.2.3	Karkaisu .....	32
4.2.4	Induktiokarkaisu kärjelle ja kiskolle.....	33
4.3	Kärkiympä .....	33
4.3.1	Materiaalit.....	33
4.4	Koeajosuunnitelma.....	34
5	TULOKSET.....	35
5.1	Prototyypin vertaus vaatimusluetteloon.....	35
5.2	Koeajo kokoonpano .....	36
5.3	Koeajot.....	39
5.4	Käyttäjän kokemukset.....	41
5.5	Valmistuksen ja kokoonpanon näkökohdat .....	42
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
	LÄHTEET.....	45

## LIITTEET

- Liite 1. Koneistuskiinnittimen havainnekuva
- Liite 2. Kärkiympären rakennekuva

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### **Lyhenteet**

CAM	Computer-aided manufacturing (tietokoneavusteinen valmistus)
CNC	Computerized numerical control (numeerinen ohjaus)

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä käsitellään Joensuun CNC-Machining Oy:n kehityksessä olevaa harvesterin ketjuterän laippaa ja sen materiaaleihin, suunnitteluun sekä valmistukseen liittyviä näkökohtia. Tarkoitus on tarvittaessa varmentaa jo olemassa olevia tietoja sekä täydentää niitä uusilla mittauksilla ja tarkasteluilla.

Työ suoritetaan soveltaen systemaattisen suunnittelun kaavaa ja keinoja. Alussa asetetaan olemassa olevaan tietoon perustuen vaatimukset ja tavoitteet, jotka lopputuotteen halutaan täyttävän. Vaatimusten asettamisen jälkeen kartoitetaan soveltuvia menetelmiä ja rakenteita edellä mainittujen parametrien täyttämiseksi. Suunnitteluvaiheessa löydettyjä ratkaisuja hyödyntäen muodostetaan suunnitelma prototyypille. Viimeisessä vaiheessa prototyyppi testataan ja verrataan syntyneitä tuloksia alussa tuotteelle asetettuihin vaatimuksiin ja tavoitteisiin.

### 1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on muodostaa harvesterin terälaipan valmistukselle selkeä suunnitelma, jonka mukaisesti voidaan valmistaa toimiva prototyyppi versio laipasta ja testata sitä. Joensuun CNC-Machining Oy on jo tehnyt pienimuotoista tutkimusta valmistusta rajoittavista patenteista sekä mahdollisista käytettävistä materiaaleista. Yritys on myös aloittanut prototyypin valmistuksen näiden tietojen pohjalta, mutta yhtään kappaletta ei ole tehty valmiiksi asti.

Tarkoitus on varmistaa nämä jo aiemmin tehdyt suunnitelmat sekä täydentää tai muuttaa niitä tarpeen mukaan. Työhön sisältyvän suunnittelun merkittävimmät osa-alueet ovat:

- Tarvittavat rakenteelliset muutokset
- Materiaalivalinnat
- Valmistusmenetelmät
- Prototyypin suunnittelu, valmistus, testaus ja arviointi.



## 1.2 Tutkimuksen toteutus

Työn alussa suoritetaan kirjallisuuskatsaus ja tutustuminen aiempaan prototyypin sekä sen rakennetta perusteleviin kysymyksiin. Kirjallisuuskatsaus käsittää harvesterit yleisesti sekä löytyviltä osin harvesterilaippaan ja käyttöön liittyviä artikkeleita. Näin pyritään muodostamaan kokonaisvaltainen kuva laipan käyttöolosuhteista sekä valmistuksesta. Tietoa käyttöolosuhteista ja toiminnallisista vaatimuksista sekä kilpailevien laippojen ominaisuuksista kartutetaan haastattelemalla loppukäyttäjiä sekä harvesteripäiden suunnittelussa toimivia henkilöitä. Työssä tutkitaan myös loppuun kuluneita harvesterilaippoja ja niihin syntyneitä kulumia sekä vaurioita. Pohditaan näiden kulumien ja vaurioiden syntyyn johtaneita tapahtumaketjuja.

## 1.3 Joensuun CNC-Machining Oy

Joensuun CNC-Machining on vuonna 2007 Joensuussa perustettu CNC-koneistukseen erikoistunut metalliteollisuuden yritys (Kuva 1). Yritys työllistää 24 koneistuksen ammattilaista eri työtehtävissä. Toteutunut liikevaihto vuodelle 2014 oli noin 2,0 milj. euroa. Yritys tuottaa alihankintapalveluina asiakkailleen pääasiassa koneistusosia sekä osakokoonpanoja. Yleisimmät yrityksen asiakkaiden teollisuuden alat ovat metsäkoneiden sekä suurien kappaleenkäsittelylaitteiden valmistus.



**Kuva 1.** Joensuun CNC-Machining Oy:n toimitilat.

## 2 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi tehtäväympäristöä ja kerrotaan lyhyesti harvesterien ja hakkuupäiden kehityksestä. Harvesterilaipasta esitellään luonnosmallinen kuva ja pääperiaatteet toiminnasta.

### 2.1 Yleistä harvestereista

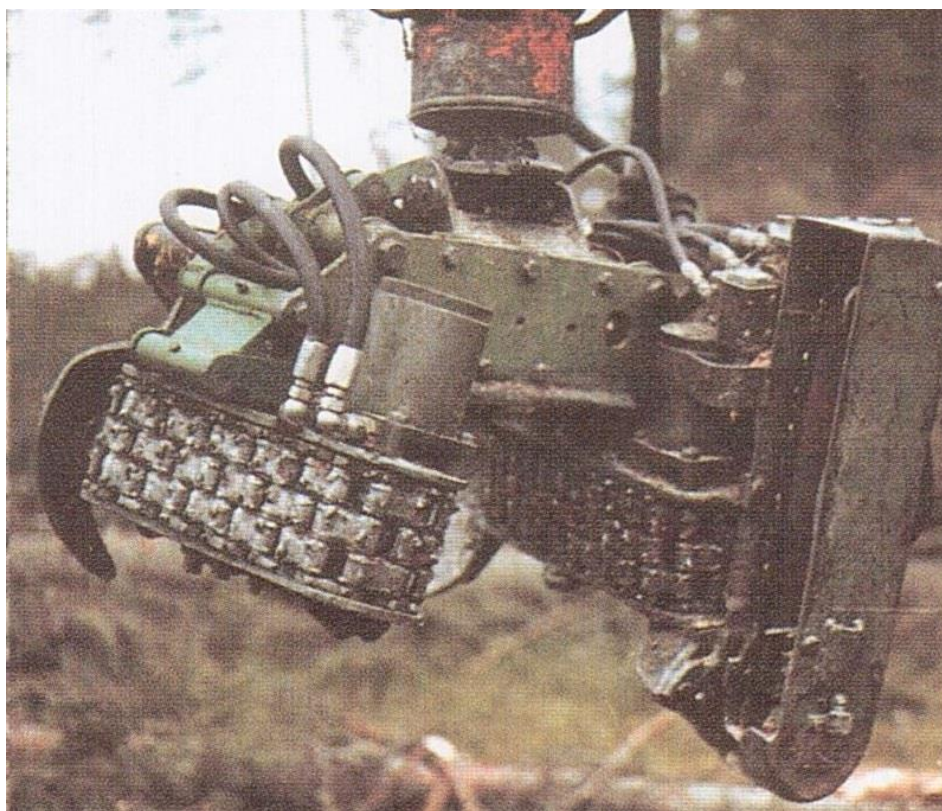
Harvesterien historia Suomen metsissä alkoi 1960-luvulla ja koneiden aktiivinen kehitystyö on meneillään edelleen. Ensimmäisessä suomalaisessa harvesterissa, Pika 75:ssä oli puomirunkoinen monitoimipää, jolla puunkatkaisu ja karsinta suoritettiin erillisillä terillä. Runkoa syötettiin puomissa edestakaisin liikkuvalla kouralla, jonka kynsiin oli integroitu karsinnan suorittavat terät. Katkaisu tapahtui nykyisen kaltaisella ketjuterällä. Kyseinen Kuva 2 mukainen kone tuli sarjatuotantoon vuonna 1975. Pika 75 harvesterin rakenne oli hyvin erilainen nykyisiin harvestereihin verrattuna, mutta siinä oli samat pääomaisuudet kuin nykyisissä koneissa. Nykyisin näitä Pika 75 tyyppisiä kaksiotharvestereita ei ole markkinoilla lainkaan. [7, 10.]



**Kuva 2.** Pika 75 töissä [7].

## 2.2 Harvesteripää

Harvesteripää on harvesterin se osa, jolla puu katkaistaan ja karsitaan. Runkoa liikutetaan pyörivillä syöttörullilla kouran läpi, jolloin kiinteät terät samalla karsivat rungon. Katkaisu hoidetaan edelleen ketjuterällä. Harvesteripäähän on myös nykyisin usein integroitu mittalaite, joka mittaa tukeille oikean katkaisupituuden. Tarvittaessa harvesteripäähän asennetulla laitteistolla voidaan suorittaa myös sientä ja lahoa torjuvan aineen ruiskutus kantoon, eli niin sanottu kantokäsittely. [7.]



**Kuva 3.** Keto-100 "kouraprosessori" [7].

Harvesteripään rakenne on muuttunut 70-luvun "Pika mallin" puomista suuresti. 80-luvun aikana yleistyi nykyisen harvesteripään kaltainen malli, joskin nimi oli silloin vielä "kouraprosessori". Esimerkkinä 80-luvulta mainittakoon yllä olevassa Kuva 3 esiintyvä telavetoinen Keto-100, jonka päivitettyjä versioita valmistetaan edelleen Suomessa. Vertailun vuoksi Kuva 4 on nykyaikainen rullavetoinen Komatsu 370.2 harvesteripää. [7, 8, 13.]



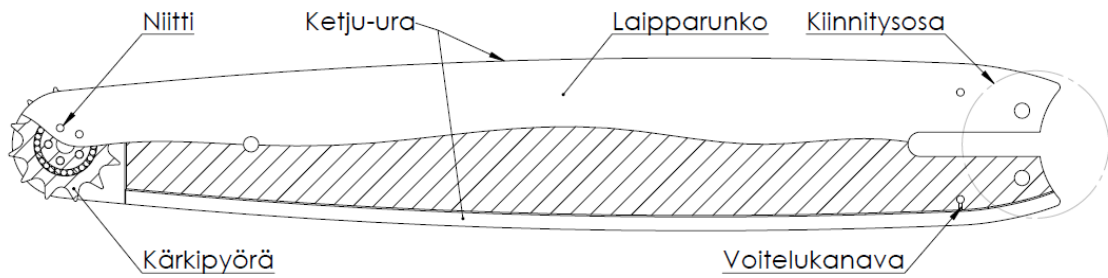


**Kuva 4.** Komatsu 370.2 harvesteripää [13].

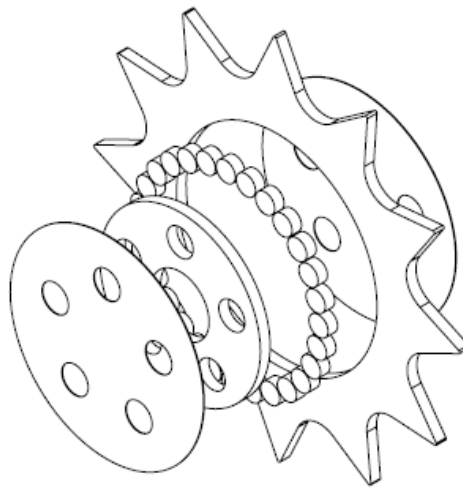
### 2.2.1 Harvesterilaippa

Harvesterilaippa, johon tästä eteenpäin viitataan myös nimellä laippa tai terälaippa, on harvesteripään ketjuterän se osa, jonka ympärillä ketju liikkuu ja johon se tukeutuu. Laippa koostuu levymäisestä rungosta, johon on koneistamalla tehty tiettyjä teknisiä ominaisuuksia. Näitä ovat muun muassa ketju-ura, voitelukanava ja kiinnitysosa. Kiinnitysosa on malliltaan sidonnainen harvesterikouran malliin, jossa laippaa aiotaan käyttää. Terälaipan kärjessä oleva kärkipyörä on usein niittaamalla kiinnitetty yksiosaiseen runkoon ja sen tehtävänä on kantaa teräketjun kiristyksen aiheuttama kuormitus kärjen yli. Tällainen rakenne vähentää kärjen kulumista suhteessa terälaipan sivuihin ja pidentää terälaipan käyttöikää. Kuva 5 on esitettyä edellä mainitut pääpiirteet osittaisena leikkauksena. Kärkipyörä koostuu sisä- ja ulkokehästä, sivulevyistä sekä niiden välissä olevista laakerirullista, mistä muodostuu ohutta neulalaakeria muistuttava rakenne. Kuva 6 on kärkipyörä esiteltynä niin sanottuna

räjätyskuvana. Sisäkehän molemmin puolin sijaitsevat ohuet sivulevyt estävät laakerirullia hankaamasta laipan runkoa vasten sekä helpottavat kärkipyörän paikalleen laittoa kokoonpanossa.



**Kuva 5.** Laipan rakenne.



**Kuva 6.** Yleistetty kärkipyörän rakenne räjäytyskuvana.

### 3 LÄHTÖTIEDOT JA TEORIA

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi kirjallisuus ja tutkimustietoa, jotka ohjaavat uuden prototyypin suunnittelua vaatimuslistan lisäksi. Lisäksi arvioidaan aiemmin valmistetun prototyypin mahdolliset suunnitteluvirheet ja etsitään niihin selkeät ratkaisut. Uusi prototyyppi suunnitellaan systemaattisen suunnittelun periaatteita soveltaen.

#### 3.1 Käytetty kirjallisuus

Työn alussa tehdyn kirjallisuuskatsauksen runkona toimivat alan lehtijulkaisut sekä toimeksiantaja yritykselle aiemmin tehty opinnäytetyö. Lehtijulkaisuina tarkasteltiin Metsäalan Ammattilehtiä. Kirjallisuudessa keskityttiin Teemu Tuomisen opinnäytetyöhön, joka käsitteli aiemman prototyypin suunniteluun vaikuttaneita patenteja ja lähtöarvoja.

#### 3.2 Teemu Tuomisen opinnäytetyö

Vuonna 2012 tehdyn opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittellä harvesterilaipan tuotanto- ja materiaalivaatimukset. Työssä tutkittiin suurimmalta osin Iggesund Forest R8 mallista laippaa, sen ominaisuuksia ja sen valmistamista koskevia patenteja. Kyseisessä työssä myös suoritettiin kovuusmittauksia ja materiaalianalyysi laipalle ja sen osille. Teemu Tuominen tuli työssään lopputulokseen, jonka mukaan laippaa sekä kärkeä voidaan valmistaa ja markkinoida Suomessa loukkaamatta mitään voimassa olevia patenteja. Työssä myös materiaalianalyysiin perustuen tehtiin alustavia valintoja eri osien materiaaleista. [1.]

##### 3.2.1 Voimassa olevat patentit

Tutkituista patenteista Suomessa voimassa olevista merkittävin on urearuiskutustoimintoa suojaava patentti EP1095747 B1. Tulevaisuudessa mahdollisen urearuiskutustoiminnon omaavan laippamallin ruiskutusta koskevat tekniset ratkaisut tuleekin suunnitella loukkaamatta kyseistä patenttia. [1.]

### 3.2.2 Materiaalianalyysi

Materiaalianalyysin tekemiseen käytettiin Niton XL3t XRF-alkuaineanalyysointilaitetta. Mittalaitteella jokaista osaa analysoidtiin noin kahdenkymmenen sekunnin ajan, jonka jälkeen tulokset tallennettiin tietokoneelle. Taulukosta 1 on luettavissa havaitut alkuaineet ja niiden pitoisuudet eri osissa. [1.]

**Taulukko 1.** Osakohtaiset alkuaineet ja niiden pitoisuudet. [1.]

Alkuaine / %	Laippa	Keskiö	Ratas	Laakeri	Sivulevy
Sb (Antimoni)		0,015			
Sn (Tina)		0,025	0,015		
Mo (Molybdeeni)	0,18	0,011	0,01	0,009	
Bi (Vismutti)				0,013	
W (Volframi)				0,119	
Cu (Kupari)		0,236	0,103	0,094	0,112
Co (Koboltti)	0,156				
Fe (Rauta)	97,854	98,779	99,004	97,792	98,947
Mn (Mangaani)	0,701	0,813	0,74	0,339	0,724
Cr (Kromi)	0,983			1,432	0,151
V (Vanadiini)				0,011	

### 3.2.3 Kovuusmittaukset

Työssä tehdyt kovuusmittaukset suoritettiin Rockwell C –kovuuskokeen (ISO 2039-2) mukaisesti Alpha Duromaster v.2.01 laitteella. Mittaustulokset on luettavissa taulukosta 2. [1.]

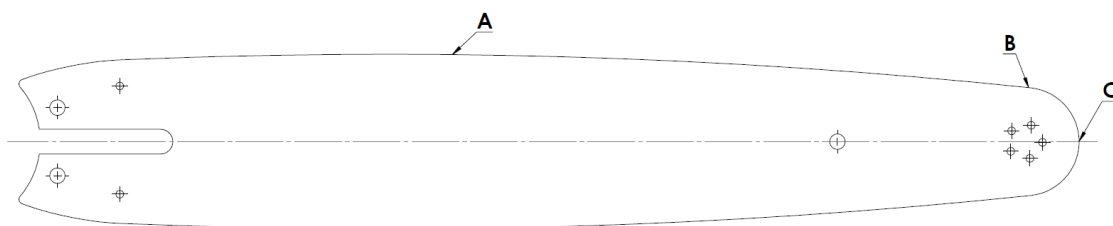
**Taulukko 2.** Tutkitun terälaipan kovuusmittaustulokset. [1.]

Rockwell C	Laippa	Keskiö	Ratas	Laakerirulla
Mittaus 1	43,4	59,0	59,1	63,8
Mittaus 2	44,1	59,3	59,2	63,5
Mittaus 3	44,2	58,0	59,0	62,8
Mittaus 4	44,2	60,2	59,2	63,4
Mittaus 5	44,3	58,6	59,4	63,8
ka. ~0.1	43,8 HRC	59,0 HRC	59,2 HRC	63,5 HRC

Teemu Tuomisen suorittamissa kovuusmittauksissa puutteellisuutta terälaipan osalta aiheuttaa mittauspisteiden suppea valinta. Kovuusmittausten tuloksista ei ilmene mittauspisteiden sijaintia, jolloin saadut tulokset joudutaan yleistämään koko materiaaliin. Mitattua kappaletta tarkastelemalla selvisi, että mittaus on suoritettu ainoastaan laipan keskiosalle eikä lainkaan kulumisen kannalta merkittävämmälle reuna-alueelle. Tällainen yleistys on tässä tapauksessa harhaanjohtava, koska laippa koostuu eri osa-alueista, joilla on erilaiset mekaaniset vaatimukset. Lähtötiedoissa mainittu kirjallisuuskatsaus ammattilehtiin paljasti yritysten käyttävän laippojen valmistuksessa kaksoiskarkaisua, jolloin pinnankovuusarvot voivat poiketa suuresti riippuen mittauspisteestä. Seuraavassa kappaleessa on edellä mainittuja kovuusmittauksia täydennetty.

### 3.3 Kovuusmittausten täydentäminen

Iggesund Forestry R8 -laipasta valittiin kolme merkittävintä kulutukselle altista aluetta, joista otettiin koepalat mittauksia varten. Tutkittaville koepaloille suoritettiin kemiallinen maalinpoisto, jotta metallin pintarakenne säilyisi mahdollisimman muuttumattomana. Pintarakenteesta etsittiin silmämääräisesti karkaisulle tyypillisiä merkkejä, kuten värin muutos (sinistyminen tai sävyerot). Laipan reuna-alueelle suoritettiin Rockwell C kovuusmittauskokeet Alpha Duromaster v.2.01 laitteella standardin SFS-EN ISO 6508-1 mukaisesti. Mittauksella varmistettiin reuna-alueen erillisen karkaisun pinnankovuusero muun osan kovuuteen.



**Kuva 7.** Tutkitun laipan malli ja mittausalueet (A-C).

#### 3.3.1 Mittaustulokset ja havainnot

Rockwell C kovuusmittaukset suoritettiin normaalissa huonelämpötilassa koepaloille, jotka oli otettu kuvan Kuva 7. **Tutkitun laipan malli ja mittausalueet (A-C)**

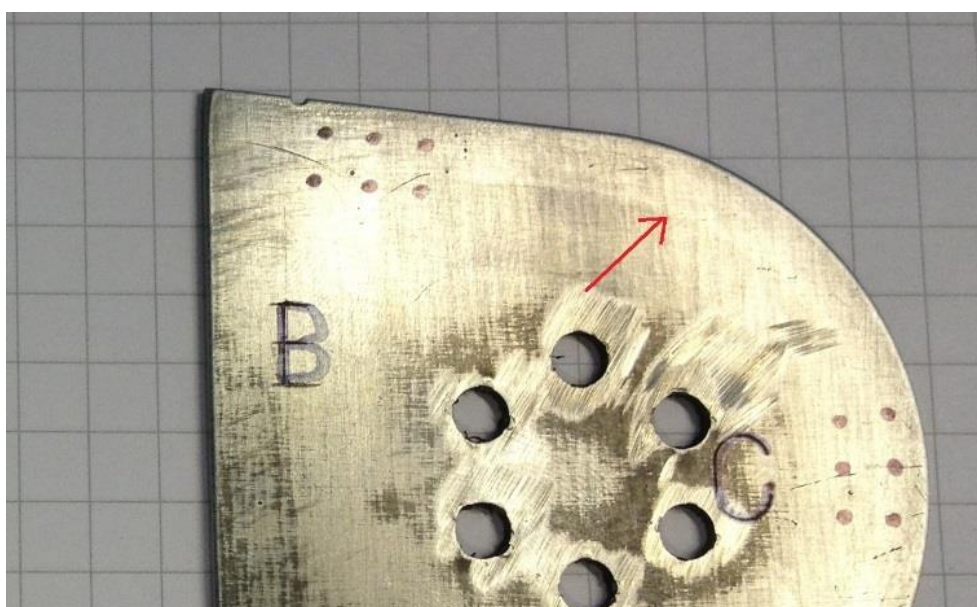


esitettyistä pisteistä A, B ja C. Jokaisessa pisteessä mitattiin pinnankovuus kuudesta kohdasta. Mittauspisteistä kussakin kohdassa (A-C) pisteet 1-3 sijaitsee noin 4 mm etäisyydellä ulkoreunasta ja pisteet 4-6 noin 10 mm ulkoreunasta. Mittaustulokset on esitettyinä seuraavassa taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Kovuusmittauskokeen tulokset.

HRC	1	2	3	4	5	6
A	44,3	44,4	44,5	44,1	43,8	43,8
B	49,4	51,5	51,2	43,7	37,0	41,4
C	51,4	50,8	49,8	42,6	42,0	34,2

Taulukon 3 tuloksista on selkeästi havaittavissa laipan reuna-alueen kaksoiskarkaisu kärkipyörän alueella. Kyseinen käsittely on havaittavissa myös silmämääräisesti tarkasteltuna Kuva 8 esiintyvänä hienoisena sävyerona metallin pinnassa. Kaksoiskarkaistu alue ulottuu noin 8 mm etäisyydelle reunasta. Ketju-uran syvyys laipassa on noin 9 mm, joten karkaisu ulottuu lähes koko ketju-uran syvyydelle, niin sanotun kiskon läpi. Pitkällä sivulla kaksoiskarkaisua ei esiinny.



**Kuva 8.** Laipan kärjen induktiokarkaisun aiheuttama sävyero.

### 3.4 Aiemman prototyypin katselmointi

Laippa perustui geometrialtaan Tuomisen tutkimaan Iggesund Forestry:n R8 laippaan. Laippa oli valmistettu 6 mm teräslevystä (materiaali 80CrV2) laserleikkaamalla aihio, joka sen jälkeen on koneistettu lopulliseen mittaansa. Koneistuksen jälkeen laippa on suorakarkaistu pinnankovuuden kasvattamiseksi ja näin ollen kulutuskestävyyden sekä taivutusvastuksen lisäämiseksi. Karkaistua laippaa tarkastelemalla selkeimmiksi ongelmakohtiksi nousivat lämpökäsittelyn aiheuttamat muodonmuutokset toiminnalle oleellisissa piirteissä. Laipan perän kiinnitysura oli karkaisun seurauksena levinnyt 12,5 %, mikä vaikuttaa negatiivisesti laipan kiinnitykseen. Myös kärkipyörän taskun sivut kääntyvät samasta syystä sisäänpäin. Tämä ei varsinaisesti aiheuta ongelmia muuhun kuin kärkipyörän asennukseen hankaloittavasti. Kärkipyörää asennettaessa paikalleen pitää ahtautunutta kärkitaskua voimakkaasti levittää työkalulla. Asennus olisi helpompaa jos tasku olisi alkuperäisen muotoinen.

Kärkipyöräksi prototyyppiin oli suunniteltu käytettäväksi Iggesund Forestry R8:n kärkipyörää, joita saa hankittua varaosina irrallaan laipasta. Tämä kärkipyörä kuitenkin on suunniteltu käytettäväksi laipassa, jonka kärkiura on 2 mm leveä. Työkaluvalinnoista johtuen prototyypin kärkiuran leveys on 2,4 mm, joten edellä mainittu valmis kärkipyörä ei sellaisenaan sovellu laipassa käytettäväksi, sillä se on liian kapea. Soveltuvasta kärkipyörästä on jo jonkin asteiset suunnitelmat olemassa ja muun muassa laakerirullia prototyyppiä varten on jo hankittuna. Laakerirullat ovat halkaisijaltaan 4 mm ja 1,95 mm paksuja ja niiden pinnankovuus on HRC60. Koe-erä on valmistettu 4 mm työkaluteräspiukosta lankasahaamalla. Varsinaiseen tuotantoon tällä menetelmällä valmistetut laakerirullat eivät sovellu hintansa vuoksi. Valmistusmenetelmä tulee jatkossa valita sarjavalmistuksen vaatimukset ja kustannustehokkuus huomioon ottaen.

### 3.5 Tuotevertailu

Seuraavassa kappaleessa käydään pääosin läpi Teemu Tuomisen opinnäytetyön tutkimuksen kohteena ollutta Iggesund Forestry R8 laippaa ja selvitetään sen

valmistukseen käytettyjä menetelmiä. Laippa sisältää urearuiskutus-ominaisuuden, jonka teknisiin ratkaisuihin ei tässä työssä keskitytä.

Tämän ruotsalaisen laipan valmistus aloitetaan leikkaamalla aihio erikoisteräslevystä laserleikkauslaitteella. Laipan muodot valmistetaan koneistamalla aihio mittaansa. Laipparungot karkaistaan ja normalisoidaan hyvän pinnankovuuden ja sitkeyden aikaansaamiseksi. Laipan kärkipyörän liukupinnat karkaistaan vielä erikseen. Lehtiartikkelin mukaan ”näin saavutetaan vääntöjäykkä ja liukupinnoiltaan kulutuskestävä Iggesund – laippa, jonka kuormitetuin kohta, kärkiosa on erikoiskova.” [9.]

### 3.6 Systemaattinen suunnittelu

Systemaattinen suunnittelu perustuu ajatusmalliin, jossa suunnittelua ohjaa asetetut alkuarvot ja suunnittelu etenee loogisesti ja säännömukaisesti. Ennen suunnittelun aloittamista on hyödyllistä laatia suunniteltavalle kohteelle vaatimuslista. Vaatimukset voidaan jaotella eri luokkiin, kuten kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset ja toivomukset. Vaatimuksella tarkoitetaan ominaisuutta, jonka toteutuminen vaaditaan suunnittelun onnistumiseksi. Toivomuksella tarkoitetaan ominaisuutta, joka antaa tuotteelle lisäarvoa, mutta ei ole toteutuksen kannalta välttämätön. Vaatimuslistan ei kuitenkaan pitäisi antaa kahlita tai ohjata suunnittelutyötä väkisin tiettyyn suuntaan. Vaatimuslista on monesti hyödyllistä avata kirjoittuun lauserakenteiseen muotoon (abstrahointi), jolloin päästää eroon vaatimuslistan kankeudesta. Abstrahoimalla voidaan helposti tunnistaa haluttu kokonaistoiminto. Seuraavassa vaiheessa kokonaistoiminto jaetaan pienempiin kokonaisuuksiin, osatoimintoihin. [5.]

### 3.7 Koneistaminen

Tässä työssä koneistamisella viitataan materiaalia poistavaan lastuavantyöstön prosessiin nimeltä jyrshintä. Jyrshintässä pyörivällä terällä lastutaan paikalleen kiinnitettyä kappaletta. Jyrshintä mahdollistaa monimutkaisten, suurien ja pienien kappaleiden valmistamisen ilman erikoisia työkaluja. Koneistuksen suorittamiseen vaikuttaa suuresti käytetyn materiaalin koneistettavuus. Nykyisillä keraamiteräpaloilla

myös suurlujuusterästen koneistaminen onnistuu hyvin. Nykyisin jyrsinkoneet, koneistuskeskukset, ovat pääsääntöisesti numeerisesti ohjattuja CNC-työstökeskuksia. CNC-työstökeskusten koneistusradat on mahdollista etäohjelmoida tietokoneella CAM-ohjelmiston avulla. Tällainen etäohjelmointi kasvattaa merkittävästi koneen käyttöastetta ja mahdollistaa erittäin monimutkaisten kappaleiden valmistamisen. [16.]

### 3.8 Karkaisumenetelmät

Karkaisu on lämpökäsittelymuoto, jossa materiaalin pintakerrosten ominaisuuksia pyritään parantamaan. Ohuita kappaleita voidaan myös läpikarkaista, jolloin karkaisun aiheuttamat muutokset ulottuvat koko kappaleen läpi. Tämän työn tapauksessa kyseessä on teräksen karkaisu, jolloin pintakerrokseen pyritään saamaan kova kulutus- ja väsymiskestävyyttä lisäävä martensiittikerros, säilyttäen rakenteen sisäosien rakenne edelleen sitkeänä ja lujana. Karkaisun jälkeen lämpökäsiteltävä kappale tulee päästää lämmittämällä se uudelleen noin 150–250 °C, jonka jälkeen sen annetaan jäähtyä huoneen lämmössä. [11, 12.]

#### 3.8.1 Suorakarkaisu

Teräksen lujuus, kovuus ja kulumiskestävyyttä pyritään lisäämään karkaisu- ja päästömenetelmillä. Samalla pyritään parantamaan lujuuden ja sitkeyden suhdetta. Tämä tapahtuu kuumentamalla terästä uunissa austeniittialueelle (750 – 950 °C), jonka jälkeen kappale jäähdytetään hyvin nopeasti sammuttamalla veteen, öljyyn tai tyhjiössä. Sammuttamisesta johtuvan nopean jäähtymisen myötä teräksen kidemuoto muuttuu martensiitiksi. Martensiitti on kovaa ja haurasta. Teräkseen saavutetaan haluttu lujuuden ja kovuuden suhde vaikuttamalla karkaisun syvyyteen varioimalla karkaisuaikaa tai sammutusnopeutta. [2, 11.]

Tyypillisiä suorakarkaistavia tuotteita ovat esimerkiksi:

- Vaihteistoakselit
- Hammas- ja ketjupyörät
- Laakeripukit
- Tuurnat

- Kytkinlevyt. [16.]

### 3.8.2 Induktiokarkaisu

Induktiokarkaisu on lämpökäsittelymuoto, jossa karkaistavan kappaleen pintakerrokset kuumennetaan induktion avulla. Sisäisesti vesijäähdytettyä kuparikäämiä kuljetetaan kappaleen pinnan tuntumassa tai akselimainen kappale voi kulkea käämin läpi. Käämiin johdetun virran aikaansaaman magneettikentän synnyttämät pyörrevirrat kuumentavat karkaistavan kappaleen pintakerroksia. Näin voidaan saavuttaa tarvittava austenointilämpötila aina 850 °C asti. Karkaisussa käytettävä virran taajuus vaikuttaa syntyvän karkaisulämmön syvyyteen. Korkea taajuus muodostaa matalan lämpöalueen (esim. 500 kHz:llä 0,5 mm) ja matalantaajuuden muodostama lämpö ulottuu syvemmälle (esim. 1 kHz:llä 5 mm). Useimmiten induktiokarkaisulla muodostetaan matalampia karkaisukerroksia kuin liekkiokarkaisulla, käsittelyaikojen ollessa lyhyitä. Näin ollen se soveltuu hyvin pienille osille. Sammutus veteen tai öljyyn tulisi suorittaa nopeasti kuumennuksen jälkeen ja usein se on toteutettu induktiokäämin perässä kulkevalla suihkuputkella tai –renkaalla. [16.]

Tyypillisiä induktiokarkaistavia tuotteita ovat esimerkiksi:

- Hammaspyörät
- Nokka-akselit
- Kiertokanget
- Leikkaavat työkalut
- Laakeripukit. [16.]

### 3.8.3 Nitraus

Nitraus, jota myös typetykseksi kutsutaan, on pintakäsittelymenetelmä, jossa kappaletta hehkutetaan typpeä luovuttavassa väliaineessa alle 590 °C lämpötilassa. Väliaine sekä lämpötila ovat prosessivariaatiokohtaisia eri variaatioiden ollessa kaasu-, suolakylpy- ja plasmanitraus. Plasmatypetyksen lämpötila on näistä alhaisin, noin 340 °C. Nitrauksessa kappaleen pintaan pyritään muodostamaan kova nitridikerros, joka rakentuu kappaleeseen muodostuneista rauta- sekä seosainenitrideistä. Yleisimmin

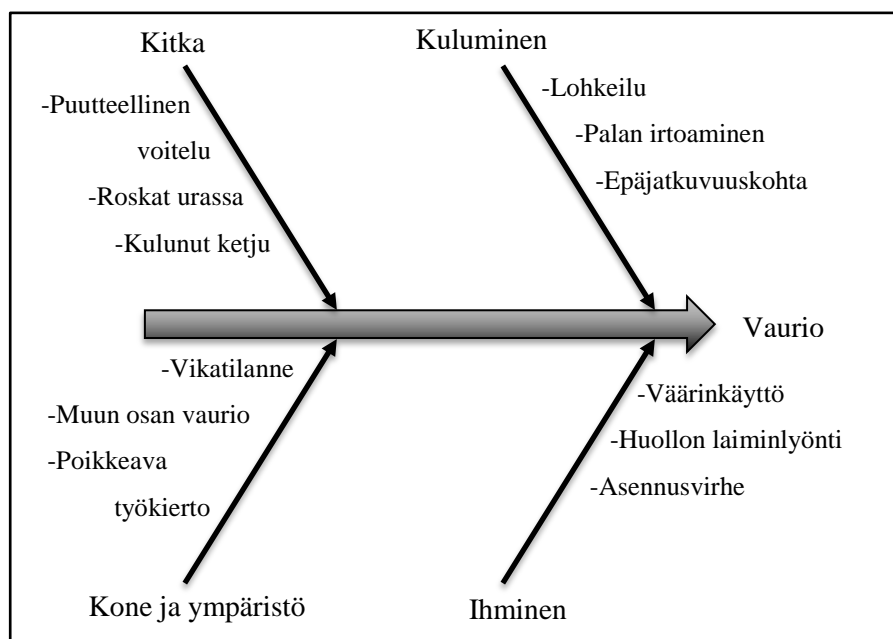
käytettyjä nitridejä muodostavia seosaineita ovat alumiini, vanadiini, titaani, molybdeeni sekä kromi. Poiketen aiemmin läpikäydystä hiiletyskarkaisusta, nitraushehkuksen jälkeen kappaletta ei tarvitse erikseen sammuttaa tai päästää. Nitridien muodostuessa kappaleen pintakerrokseen syntyy voimakkaita puristuksessa olevia jäännösjännityksiä. Tästä syystä muodostunut noin 2,5 µm – 0,75 mm paksuinen pintakerros antaa kappaleelle erinomaisen väsymislujuuden kasvattaen myös kovuuden ja kulutus- sekä korroosionkestävyyden arvoja. Näiden ominaisuuksien lisäksi nitraus parantaa kappaleen liukuominaisuuksia, joka on havaittavissa etenkin pienentyneenä kiinnileikkautumisriskinä. [4, 11, 12.]

Tyypillisiä nitrattavia tuotteita ovat esimerkiksi:

- Vaihteistoakselit
- Rattaat
- Venttiilinvarret
- Polttoainesuuttimet
- Muotit ja muovaustyökalut. [16.]

### 3.9 Käytettyjen laippojen kuluminen ja vauriot

Terälaipan käytöstä johtuvaa kulumista ja vaihtoon johtaneita vaurioita ja niiden syntymistä tutkittiin tarkastelemalla käytössä olleita terälaippoja. Tutkittuja laippoja oli yhteensä neljä ja ne kaikki olivat joko kuluneet loppuun tai vaurioituneet muuten käyttökelvottomiksi. Kuluneisuus liittyi selkeimmin ketju-uraan tai kärkipyörään. Kuva 9 on listattuna yleismallisesti vikaan johtavat tekijät syy-seuraus kalanruotokaaviona.



**Kuva 9.** Vikaan johtavia mahdollisia syitä (Ishikawa-diagrammi).

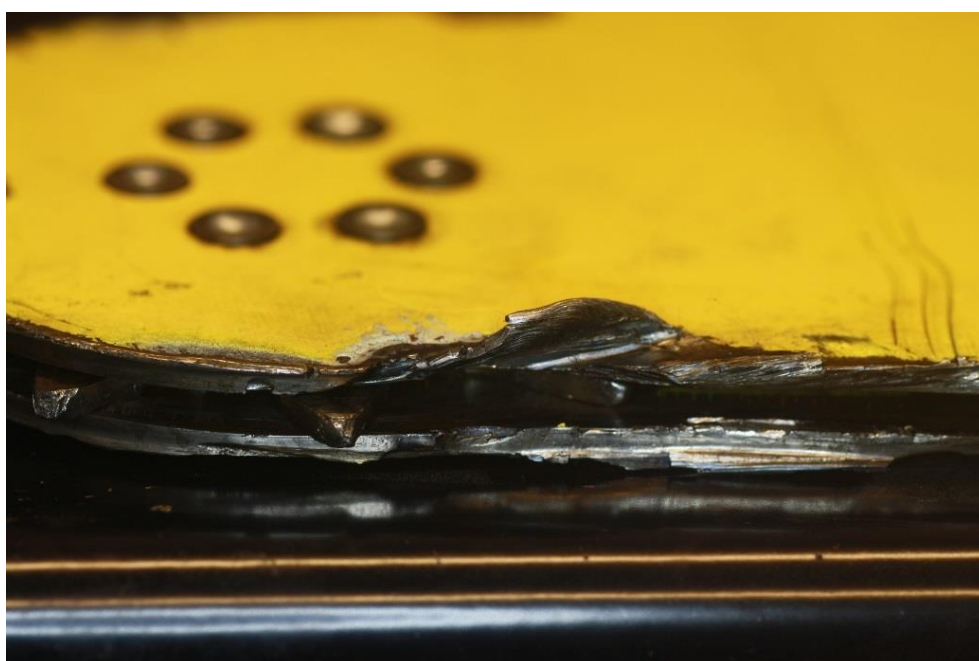
Alla olevassa Kuva 10 näkyvän kärjen vaurion on aiheuttanut ilman kärkipyörää pyörivä ketju, joka on kärkipyörän rikkoutumisen jälkeen hangannut kärkeä erittäin voimakkaasti. Näin voimakas hankaus on kitkan vuoksi synnyttänyt riittävän korkean lämpötilan siihen, että kärjen levyt ovat alkaneet pehmetä ja muokkautua ketjun paineesta. Suurin kuluneisuus on havaittavissa vaurion synnyn jälkeen muodostuneena kuoppana toisessa sivussa. Kärkipyörä on todennäköisesti puutteellisen voitelun vuoksi leikkautunut kiinni ja rikkoutunut ketjun pyörimisvoimien seurauksena. Tähän viittaa muun muassa Kuva 10 kärjen takana kehälle muodostunut alue, josta maali on palanut pois kuumuuden seurauksena.



**Kuva 10.** Erittäin pahoin vaurioitunut kärki ja vaurion syy-seurausketju.



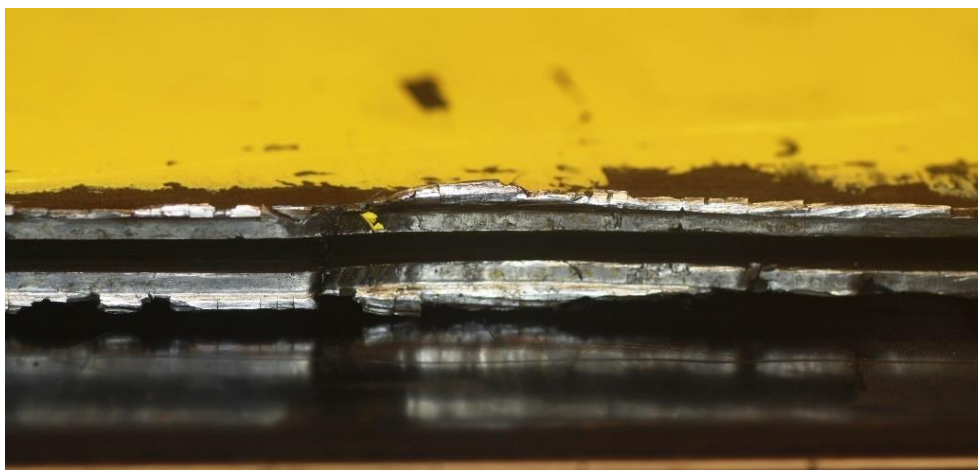
Kuva 11 laipan vaurio lienee aiheutunut irti lohjenneen palan aiheuttamasta epäjatkuvuuskohdasta kiskossa, josta ketju on päässyt hyppäämään pois urastaan. Uran reunaan vasten pyörinyt ketju on kuluttanut epämuodostuman laipan reunaan. Kärkipyörä ei ole vaurioitunut merkittävästi ja pyörii edelleen lähes vapaasti.



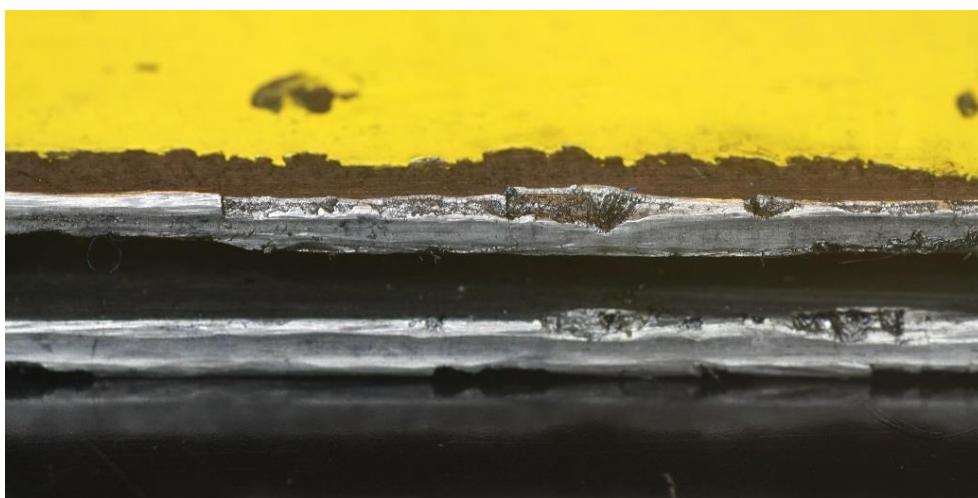
**Kuva 11.** Kärjen nurkalle ketjun kuluttama vaurion jälkeinen epämuodostuma. Lisäksi vaurion syy-seurausketju.

Tällainen vaurioitumismuoto on hyvin yleinen käyttöikänsä päässä oleville laipoille. Ketju-uran kiskoihin on jo muodostunut merkittäviä epäjatkuvuuskohtia lohkemista, jolloin ketju hyppää helposti pois raiteeltaan esimerkiksi risun tai oksan päästessä laipan ja ketjun väliin.

Kuva 12 sekä Kuva 13 on esitettyä kohta laipan pitkältä sivulta, joka joutuu kuormitukselle puun katkaisun aikana. Ketju-uran reunaan syntyy aluksi purseetta ketjun paineen ja kuluttavan liikkeen vuoksi. Laipan kääntämisen seurauksena purseet ovat alkaneet lohkeilla irti oletettavasti sahausliikkeen alussa ja lopussa tapahtuvan ketjun hakkauksen seurauksena. Kaikissa tutkituissa laipoissa oli havaittavissa viitteitä tämän kaltaisesta oletettavasti normaalista kulumasta.



**Kuva 12.** Ketjun kuluttama kisko, johon on muodostunut purseetta. Lisäksi vaurion syyseurausketju.



**Kuva 13.** Kiskosta irti lohjenneiden purseiden aiheuttamat kuopat.

#### 4 UUDEN PROTOTYYPIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Aikaisemman prototyypin ongelmakohtiin perustuen tulee suunnitella niiden ratkaisemiseksi uusi konstruktio. Uuden konstruktion tarkoitus on korjata vanhan prototyypin ongelmat sekä täyttää systemaattisen suunnittelun vaatimuslistan asettamat ehdot.

Seuraavissa kappaleissa suunnittelulle asetetaan tehtävää ohjaavia ja rajaavia reunaehtoja. Vaatimusten tulee perustua jo olemassa olevaan tietoon sekä kirjallisuuskatsauksesta ja haastatteluista kertyneeseen tietoon.

## 4.1 Laipan valmistukselliset ja toiminnalliset vaatimukset

Tässä tapauksessa taulukossa 4 esitetystä vaatimuslistasta on tarpeellisina luokkina ainoastaan vaatimus (V) ja toivomus (T).

**Taulukko 4.** Terälaipan vaatimuslista

<b>TUOTTEELLE ASETETUT VAATIMUKSET</b>		
<b>Joensuun CNC-Machining Oy / Harvesterilaippa ( 0,080” )</b>		
<b>Tunnuspiirre</b>	<b>Vaatimukset</b>	<b>Vaatus (V) Toivomus (T)</b>
<b>Geometria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yksiosainen levyrunko</li> <li>• Nimellinen pituus 825 mm (32,5 ”)</li> <li>• Ketju-ura yhteensopiva 2,0 mm / 0,080” ketjulle</li> <li>• Kiinnitys yhteensopiva Supercut 100 (Jet-Fit)</li> <li>• Symmetrinen rakenne</li> <li>• Kärkipyörän 5-niittinen kiinnitys</li> <li>• Kiinnityksen muokattavuus avoimeksi käyttäjän toimesta</li> </ul>	V V V V V V T
<b>Voimat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kestettävä ketjun kiristyksen sekä normaalin käytön aiheuttamat pintapaineet</li> <li>• Kestettävä normaalin käytön vääntö- ja taivutusvoimat</li> </ul>	V V
<b>Aines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karkaistavissa oleva teräs</li> </ul>	V
<b>Valmistus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakenteen tulee olla valmistettavissa pääosin yrityksen omilla laitteilla</li> <li>• Rakenteen tulee olla yksinkertaisesti kokoonpantavissa</li> </ul>	V V
<b>Asennus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laipan tulee olla normaalisti asennettavissa käyttökohteeseen</li> </ul>	V
<b>Käyttö</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ympärivuotinen käyttö (-40 — 40 °C)</li> <li>• Kulutuskestävyys käytössä noin 100 h</li> <li>• Laipan rakenteen tulee mahdollistaa molemmin puoleinen käyttö (käännettävyys, symmetrinen rakenne)</li> </ul>	V V V
<b>Kunnossapito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laipasta voidaan oikaista pienehköjä vääntymiä</li> </ul>	T
<b>Kustannukset</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kilpailukykyiset materiaali- ja valmistuskustannukset (kustannustehokkuus)</li> <li>• Myyntihinta välillä 50-150 €</li> </ul>	V T

Vaatimuslista avautuu myös lauserakenteiseen kirjoitettuun, kankeata listaa neutraalimpaan ja vapaanpaan muotoon (abstrahointi):

*”On suunniteltava käytettävän laitteiston kanssa yhteensopiva rakenne, joka mahdollistaa ketjuterän tehokkaan käytön nykyisellä tavalla.”*

Abstrahointi antaa suunnittelulle vapaamman suunnan kuin vaatimuslista, sillä sen avulla suunnittelun päävaatimukset ja -tavoitteet saadaan ilmaistua pehmeämmin. Tässä tapauksessa abstrahointi on hieman tarpeetonta, sillä jo suunnittelutehtävän alussa lopullisen tuotteen rakenne ja muoto ovat vähintäänkin pääpiirtein tiedossa. Suunniteltaessa kilpailevaa/korvaavaa tuotetta jo olemassa olevaan ratkaisuun, asettaa kyseinen kohde suurimman osan näistä vaatimuslista rajoista. Tässä työssä suunnittelu keskittyikin lähinnä valmistustekniikoihin, materiaaleihin ja pienempiin yksityiskohtiin, joilla jo markkinoilla olevia tuotteita vastaan kilpaillaan. Aiempi prototyyppi perustui muotoilultaan Iggesund Forestry R8 – laippaan ja uusi prototyyppi suunniteltiin perustuen Kuva 14 mukaiseen John Deere:n ensiasennuksessa käytettyyn 27”:n (n. 685 mm) pituiseen kapeaperäiseen laippaan.



**Kuva 14.** Uuden prototyypin esikuva.

## 4.2 Laipparunko

Erona aiemman prototyypin kuuteen kiinnitys niittiin valittiin määräksi vaatimuslistan mukainen viisi kappaletta. Tämä vaikuttaa kärkipyörän kiinnitystä varten koneistettavien reikien määrään ja sitä kautta koneistus-, kiinnitystarvike- ja kokoonpanokustannuksiin. Reunageometria päivitettiin mukailen Kuva 14 esikuva laippaa vastaavaksi. Kyseinen laippa valittiin prototyypin malliksi sen kokoluokan yleisyyden vuoksi. Edellä mainitussa laipassa on niin sanottu ”Jet-Fit” –kiinnitys (Kuva 15), joka on Oregon:in patentoima avoin kiinnitys. Avoin kiinnitys helpottaa ja nopeuttaa laipan kiinnittämistä harvesteripäähän, sillä kiinnitysruuveja ei tarvitse irrottaa kokonaan vaan pelkkä löysääminen riittää. Prototyypin kiinnitysosan rakenne pidetään suljettuna, mutta muokataan kuitenkin helposti loppukäyttäjän avattavaksi. Tällainen Kuva 16 mukainen ratkaisu kunnioittaa patenttia sekä vaatimuslistan toivetta helposti avattavista kiinnityshahloista.

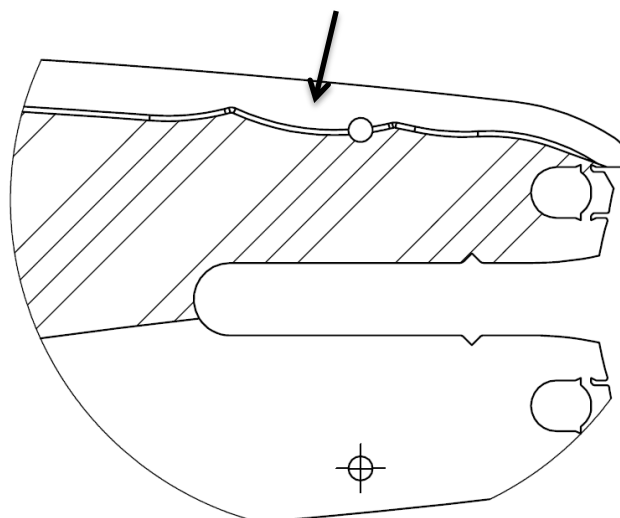


**Kuva 15.** JetFit –kiinnitys laipan perässä.

Karkaisussa ilmenneiden muodonmuutosten (uran leveneminen 1-2 mm) ehkäisemiseksi lisättiin uraan karkaisun jälkeen poistettava Kuva 16 näkyvä kannake, jonka tarkoitus on mekaanisesti estää edellä mainitun muodonmuutoksen syntyminen karkaisussa. Ketju-uraan muotoiltiin perusgeometrian lisäksi voiteluöljyn (Kuva 17) uraan siirtymistä ja urassa pysymistä tehostavat taskut. Aiemmassa prototyypissä voitelukanava piti porata auki ketju-uraan, mutta tällainen muoto ketju-urassa samalla poistaa porauksen tarpeen ja näin ollen pienentää kokonais koneistusaikaa.



**Kuva 16.** Uraan lisätty kannake ja kiinnitysratkaisu.



**Kuva 17.** Ketju-uran pohjassa oleva voitelutasku.

#### 4.2.1 Materiaali

Materiaalina päätettiin käyttää edelleen samaa 80CrV2 terästä, jota käytettiin aiemmassa prototyypissä. Sen todettiin soveltuvan hyvin tähän käyttötarkoitukseen varsinkin karkenevuutensa johdosta. Kyseisen materiaalin aihion leikkaaminen laserilla, koneistus- ja karkaisuparametrit ovat todennettu jo aiemman prototyypin laipparungon valmistuksessa. Näiden nähtiin tuovan valinnalle lisäarvoa. Uuden prototyypin testauksen jälkeen materiaalivalinta tulee arvioida uudelleen.

#### 4.2.2 Kärkiuran pohjan pyöristys

Aiemman prototyypin kärkiuran koneistukseen käytetyn kiekkojyrsimen teräpalojen geometriasta johtuen kärkiuran pohjassa ei ollut pyöristyksiä, poiketen pyöristetystä ketju-urasta. Teräpaloja vaihtamalla malliin, jonka leikkausgeometriassa pyöristys on, saadaan yksinkertaisesti myös kärkiuran pohjaan valmistettua pyöristykset uuteen prototyyppiin.

#### 4.2.3 Karkaisu

Terälaipan karkaisun arvot pidetään ennallaan. Yhtään valmiiksi asti koottua prototyyppilaippaa ei ole aiemmin valmistettu eikä näin ollen testattu, joten terälaipan kulutuskestävyys ja rakenteellinen jäykkyys on vielä selvittämättä. Karkaisuprosessin



arvot on kuitenkin jo haettu karkaisemalla aikaisemman prototyypin mallisia laippoja haluttuun pinnankovuuteen. Uuden prototyypin testauksen jälkeen karkaisun soveltuvuus ja saavutetut ominaisuudet tulee arvioida uudestaan.

#### 4.2.4 Induktiokarkaisu kärjelle ja kiskolle

Kärjen ja ketju-uran kiskojen tulee olla erityisen kulutuskestäviä sillä ne altistuvat teräketjun liikkeen, kiristysvoiman sekä katkaisupaineen aiheuttamalle kuluttavalle kuormitukselle. Kulutuskestävyyden lisäämiseksi nämä osat kaksoiskarkaistaan. Tämä toteutetaan tekemällä suorakarkaisun lisäksi kärkeen ketju-uran syvyydeltä erillinen induktio karkaisu, jolla kovuutta nostetaan edelleen aina arvoon 60+5 HRC.

### 4.3 Kärkipyörä

Kärkipyörän hammasgeometrian varmistetaan olevan tarkoituksen mukainen sekä yhteensopivaksi käytetyn teräketjun kanssa. Kärkipyörän koostuessa neljästä erillisestä osasta tulee valmistustoleransseissa ottaa rajat huomioon myös kokoonpanon kannalta. Toleranssilla tarkoitetaan valmistuksen ”pelivaraa” valmistettavan kappaleen mittatarkkuudessa. Aihiot leikataan levystä laserilla ja sisä- sekä ulkokehien laakeripinnat koneistetaan mittaansa. Sisä- ja ulkokehä pintakäsitellään karkaisun sijaan nitraamalla, jossa niiden pintaan muodostetaan ohut ja kova nitridikerros. Sivulevyt valmistetaan 0,2 mm paksuisesta jousiteräslevystä levytyökeskuksella alihankintana. Sivulevyjen kiinnitys kärkipyörän keskiöön on suunniteltu tehtävän pistehitsaamalla. Kärkipyörän rakenne on esitettyä liitteessä 2.

#### 4.3.1 Materiaalit

Prototyypivaiheeseen kärkipyörän sisä- ja ulkokehän materiaaliksi valittiin W-Nr. 1.1750 seostamaton kylmätyöstöteräs, joka soveltuu nitrattavaksi. Laakerirullat toimittaa jatkossakin alihankkija. Materiaaliksi rulliin valittiin AISI 52100, joka on yleinen laakeriteräs. Se on korkeahiilinen seostettu teräslaatu, joka saavuttaa oikealla lämpökäsittelyllä korkean kovuuden hyvillä puristuslujuuden ja kulutuskestävyyden arvoilla. Yleisimmät käyttökohteet ovat kuula- ja rullalaakerit, pyörivät työkalut,

pistimet ja leikkaavat työkalut. Prototyyppien laakereina käytetään kuitenkin tässä vaiheessa aiemmin mainittuja laakerirullia. [3.]

#### 4.4 Koeajosuunnitelma

Koeajoa varten valmistetaan kaksi prototyyppiä. Koeajo suoritetaan kesäaikaan yrityksen yhteistyökumppanin testikuljettajan kalustolla todellisessa käyttöympäristössä. Koeajoa on valvomassa laipan suunnittelija sekä metsäurakoinnin ammattilainen. Koeajon tulee vastata normaalia käyttöä mahdollisimman hyvin. Laippoja on tarkoitus koeajaa vaurioitumiseen saakka ja havaintoja laipan käytöksestä eri tilanteissa kerätään koko prosessin ajan.

## 5 TULOKSET

Tässä kappaleessa valmistettua prototyyppiä peilataan vaatimusluetteloa vasten ja havainnoidaan sen täyttymistä. Vertailua seuraa kuvaus toteutetusta prototyypin testauksesta ja kerrotaan sen tuloksista.

### 5.1 Prototyypin vertaus vaatimusluetteloon

Tarkasteltaessa (Kuva 18 ja Kuva 19) prototyypin ominaisuuksia ja vertaamalla niiden toteutumista vaatimusluettelon pohjalta voimme havaita, että geometrian osalta kaikki kohdat täyttyvät. Laippa perustuu yksiosaiseen levyrunkoon ja sillä on symmetrinen rakenne pituusakselin suhteen, joka mahdollistaa molemminpuolisen käytön. Tavanomainen 0,080”-ketju sopii laippaan, joten vaatimus 2,0 mm / 0,080” ketju-urasta täyttyy. Kärkipyörä on kiinnitetty vaaditulla viidellä niitillä alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Kuva 16 voitiin jo havaita kiinnityksen olevan helposti muokattavissa avoimeksi käyttäjän toimesta, joten terälaipan kiinnitys täyttää myös tämän kohdan vaatimusluettelosta. Valmistusprosessin aikana todennettiin terälaipan täyttävän myös kohdat: karkaistavissa oleva teräs, valmistettavissa pääosin yrityksen omilla laitteilla ja yksinkertaisesti kokoonpantava.



**Kuva 18.** Prototyyppi valmiina koeajoon.

## 5.2 Koeajo kokoonpano

Laippa sopii koeajossa käytettävään kalustoon hyvin. Kuva 18 toinen koeajettavista laipoista on kiinnitettynä harvesteripäähän ja valmiina koeajoon. Koeajossa kiinnitettiin huomiota erityisesti:

- Rakenteen yhteensopivuuteen testilaitteiston kanssa
- Ketjun kiristyksen vaikutukseen laipassa
- Ketjun liikkuvuuteen ketju-urassa
- Voitelun tehokkuuteen
- Laipan rakenteen kestävyys
- Ketju-uran kiskojen kulumiseen.



**Kuva 19.** Laippa valmiina koeajoon.

Koeajossa käytetty laitteisto:

- John Deere 1410D Eco III –harvesteri (Kuva 20)
- Waratah H480C –hakkuupää (Kuva 21)
- Prototyyppi laippa (2 kpl) (Kuva 18 ja Kuva 19)
- Kuljettajana Seppo Pulkkinen, Metsänkorjuu Pulkkinen Oy.





**Kuva 20.** Koeajossa käytetty harvesteri John Deere 1410D Eco III.



**Kuva 21.** Koeajossa käytetty hakkuupää Waratah H480C.

### 5.3 Koeajot

Ensimmäinen testattava prototyyppi saatiin kiinnitettyä testilaitteistoon ongelmitta, joten se täytti vaatimuslistan kohdan yhteensopivuudesta. Testikäyttö osoitti myös terälaipan kestävän ketjun kiristyksen, sahauksen aiheuttaman kitkan sekä normaalin käytön aiheuttamat pintapaineet. Terälaippa oli testaajan sekä paikalla olleen asiantuntijan mielestä erittäin vakaa käytössä eli se ei kärsinyt suuresti niin sanotusta vapinasta ja syntynyt maltillinen vapina vaimeni verrattain nopeasti. Edellä mainittu vapina aiheuttaa ongelmia puun mittaan katkaisussa hidastaen työtahtia.

Vapina syntyy kun puuta siirrettäessä katkaisun jälkeen seuraavaan katkaisukohtaan, jossa äkillinen pysäyttäminen aiheuttaa iskunomaisen voiman hakkuupäähän ja koko rakenne heilahtaa massan mukana. Terälaipan ollessa pitkä ja ohut rakenne on sillä tapana jäädä jälkeen tässä siirtymässä ja sen seurauksena vapista. Uutta katkaisua aloitettaessa terälaipan vapistessa on riskinä leikkuulinjan poikkeaminen terälaipan kiinnityslinjasta ja terälaippa ei palaa takaisin katkaisujälkeä vaan jää kiinni rungon päähän jousikuormitteisesti. Osittain tämän ominaisuuden myötä vaatimuslistan kohdan ”kestettävä normaalin käytön vääntö- ja taivutusvoimat” voidaan hyväksyä saavutetuksi, sillä terälaippa kesti normaalit voimat eikä se joutunut poikkeavan suuren kuormituksen alaiseksi.

Ensimmäisen terälaipan koeajo päättyi suunnitellusti vaurioitumiseen kun sillä oli sahattu noin 40 kuutiometriä kuusileimikosta. Tavoiteltu käyttöikä ei siis vaatimuslistasta täytynyt. Kuljettajan mukaan, joka sai tapahtumasta parhaimman näköhavainnon, kaatovaiheessa teräketju tarttui kantaan terälaipan paluu vaiheessa ja hakkuupään seurattessa puunkaatumista taittoi teräketju terälaipan reunaa ylöspäin murtaen siitä irti palan Kuva 22 mukaisesti. Pala on selkeästi murtunut induktiokarkaisun rajaa myöten, joka on Kuva 22 ja Kuva 23 havaittavissa tussilla piirrettynä mustana rajana laipan kyljessä. Lohkeamisesta muodostui laippaan epäjatkuvuuskohta, josta teräketju hyppäsi pois urastaan. Laipassa ei ollut havaittavissa muuta vauriota johtumatonta tavallisesta poikkeavaa kulumista kärkipyörässä tai ketjuurassa. Lohkeaman leikkauspinnasta Kuva 23 on nähtävissä selvästi, että kyseessä oli



haurasmurtuma, sillä murtumassa ei ole havaittavissa ollenkaan plastista deformaatiota. Haurasmurtuma viittaa liialliseen kovuuteen kaksoiskarkaisussa.



**Kuva 22.** Ensimmäinen koeajettu laippa heti rikkoutumisen jälkeen.



**Kuva 23.** Merkkejä haurasmurtumasta kaksoiskarkaisun rajalla.



Toisen terälaipan koeajo päättyi niin ikään ennenaikaiseen vaurioitumiseen kun sillä oli sahattu myös noin 40 kuutiometriä samasta kuusileimikosta. Rikkoutuminen käyttöön kelpaamattomaksi johtui Kuva 24 näkyvästä epäjatkuvuuskohdasta. Teräketju aiheuttaa kärjen ympäri pyöriessään kuluttavan voiman kärjen paluupinnalle. Kaksoiskarkaisun ollessa liian kova synnytti tämä voima vauriomalleissa esitellyn hallitun kulumisen sijaan irti murtuvia paloja, jotka muodostavat nopeasti epäjatkuvuuskohdan ja teräketju ei enää pysy ketju-urassa. Laippa oli muutoin ehjä, eikä poikkeavaa kulumista muista osista löytynyt.



**Kuva 24.** Toinen koeajettu laippa irrotettuna rikkoutumisen jälkeen.

#### 5.4 Käyttäjän kokemukset

Koeajon jäädessä tavoiteltua selkeästi lyhkäisemmäksi, muotoutuivat käyttäjän kokemukset melko lyhyestä koekäytöstä. Kuitenkin käyttäjä antoi positiivista palautetta laipan vakaudesta ja sen käytettävyyttä parantavasta vaikutuksesta. Käyttäjä myös toivoi leveäperäisempää mallia, joka on kapeaperäistä yhteensopivampi, kun hakkuupään vetolaitteessa käytetään suuremmalla halkaisijalla olevaa vetopyörää.

### 5.5 Valmistuksen ja kokoonpanon näkökohdat

Prototyypin eri osien valmistaminen ei aiheuttanut odottamattomia ongelmia. Tiedossa olevat laserleikkaus-, koneistus- ja lämpökäsittelyarvot pidettiin samoina kuin aiemman prototyypin valmistuksessa. Laipan aihion leikkausgeometriassa oli otettu huomioon riittävä koneistusvara. Uusina menetelminä olleet induktiokarkaisu sekä mustanitraus tehtiin alihankintana ja niissä onnistuttiin vaihtelevasti. Mustanitrauksen synnyttämän pinnan kestävyyttä ei päästy arvioimaan lyhyen koeajon vuoksi. Kulumista ei yksinkertaisesti ehtinyt syntyä. Induktiokarkaisu menetelmänä onnistui moitteetta, mutta kaksoiskarkaistusta alueesta tuli liian kova, jolloin jo aiemmin mainittua hallittua kulumista ei syntynyt vaan laipan reuna lohkesi kerralla. Jatkossa murtumisen estämiseksi ja edullisen tapaisen kulumisen syntymiseksi pitää kaksoiskarkaisun kovuuseroa laskea tai jopa jättää kaksoiskarkaisu kokonaan pois.

Prototyypin koneistamista varten jouduttiin suunnittelemaan erillinen koneistuskiinnitin, joka soveltuu vain kyseiselle mallille (liite 1). Tulevaisuudessa mallien lisääntyessä kannattaa kiinnitintä kehittää sopimaan useammalle variaatiolle, jolloin kiinnitinkustannuksissa syntyisi säästöä. Rakenteen kokoonpanossa kärkipyörän paikalleen asettaminen ja kohdistaminen aiheuttivat suurimmat ongelmat. Kohdistuksen jälkeen niittaaminen onnistui vain kohtalaisesti puutteellisista laitteista johtuen. Kärkipyörän liitos laippaan oli tästä huolimatta toimiva. Kärkipyörän esikokoonpano, asettaminen paikalleen ja kiinnittäminen niittaamalla tarvitsevat huomattavaa parannusta ja menetelmäsuunnittelua ennen kuin kokoonpano voidaan saattaa sarjavalmistukseen.

## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tehtävänä oli täydentää prototyypin suunnittelua ja valmistusta ohjaavia sekä rajaavia tietoja, joiden pohjalta valmistettiin koeajettava prototyyppi. Prototyypin testauksesta saatu tieto ja henkilöpalautte kannustavat jatkamaan tuotteen kehitystä. Tulevaisuudessa yrityksellä on tavoitteena saada laipasta markkinoille kuluttajakäyttöön soveltuva versio sekä luoda tuotteen ympärille tuoteperhe.

Prototyypin suunnittelu eteni alusta alkaen johdonmukaisesti seuraten aiemman tutkimustyön viitoittamaa tietä. Suunnittelutyö keskittyi pääasiassa pienempiin osaluokkiin, joissa varmistettiin näiden osatoimintojen soveltuvuus tehtävänsä ja toimivuus kokonaisuutena. Juurikin näiden osatoimintojen kehittämällä ja varioinnilla saadaan lopputuotetta muokattua kokonaistoiminnaltaan erilaiseksi vaikka tuotteen pää rakenne onkin hyvin tarkkaan saneltu. Suunnittelussa toiminnallisuuden ohella tuli ottaa huomioon myös eri osien valmistus. Valmistustekniikoissa tuli ottaa huomioon käytettävissä olevat menetelmät, sillä kaikki osat tuli valmistaa, lämpökäsittelyä lukuunottamatta, yrityksen omilla tai välittömien yhteistyöyritysten laitteilla.

Prototyypin valmistamisesta ja testaamisesta saatujen tietojen ja kokemusten avulla suunnitellaan tulevaisuudessa uusia malleja testattavaksi ja kokeillaan varioida valmistusmenetelmien parametreja systemaattisesti. Niittaamisesta löytyi suhteellisen vähän tuoretta tietoa kirjallisuudesta tai tieto ei ollut sovellettavissa kyseessä olleeseen rakenteeseen. Näin ollen niittaus tapahtui aiempaan kokemukseen perustuen käsityönä ja ei ole sovellettavissa sarjavalmistukseen. Hankaluuksia suunnittelussa aiheutti myös lämpökäsittelyn lopullisten vaikutusten ennustamisen vaikeus ja ainut todellinen tapa varmentaa näitä on jatkossa valmistaa prototyyppijä eri versioina vain lämpökäsittelyn arvoja muuttamalla.

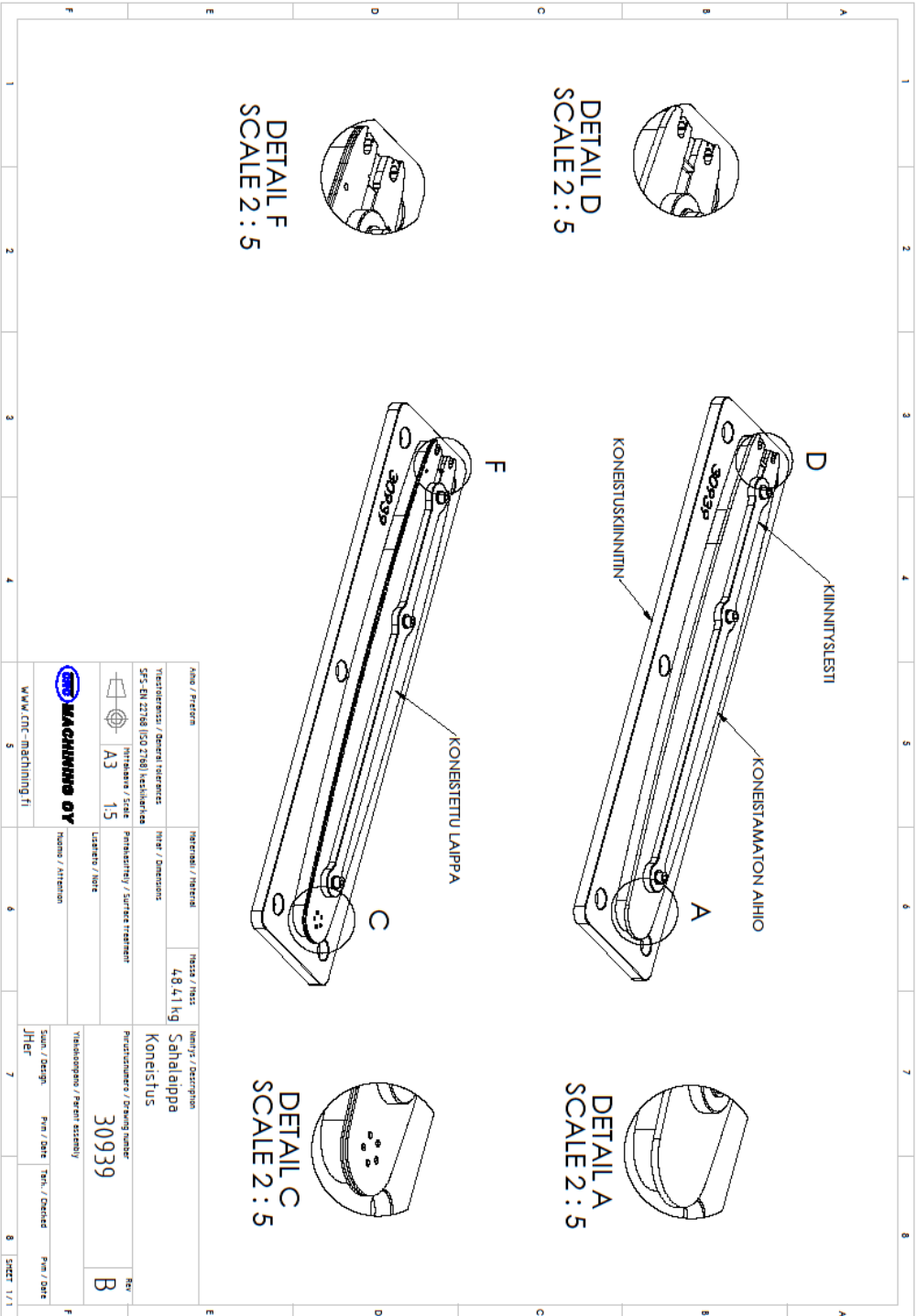
Prototyypin valmistuksesta ei tehty tämän työn aikana tarkempaa hinta-arviota, sillä lopulliseen hintaan vaikuttaa valmistuksen sarjakoko erittäin paljon. Sarjakokoa kasvattamalla saadaan yhden kappaleen hintaa pudotettua merkittävästi. Hinta-arvio

suoritettiin kuitenkin työn ulkopuolella sillä tarkkuudella, että lopputuotteen arvioitu omakustannehinta ei vaikuttanut kehitystyön jatkamisen kannattavuuteen.

## LÄHTEET

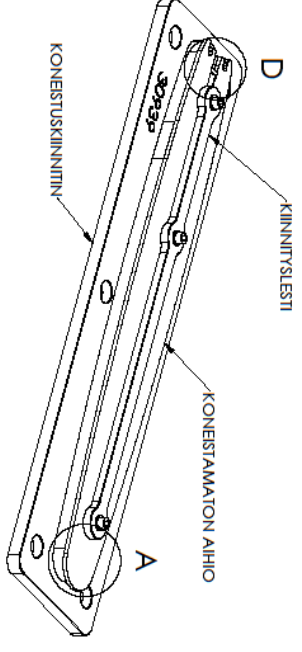
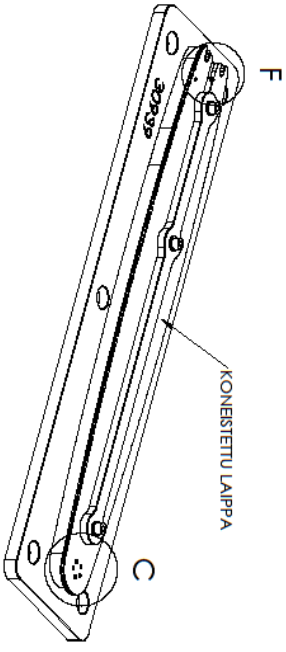
1. Tuominen, Teemu. 2012 Harvesterikouran sahalaipan tuotanto- ja materiaalivaatimusten kartoittaminen. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Joensuu.
2. Carburizing [artikkeli] viitattu 1.8.2013. Saatavissa: <http://www.totalmateria.com/articles/Art114.htm>
3. Effect of Austempering and Martempering on the Properties of AISI 52100 Steel. [artikkeli] viitattu 1.8.2013. Saatavissa: <http://www.hindawi.com/isrn/tribology/2013/515484/>
4. Ameen, Hani & Hassan, Khairia. 2010. Effect of nitrocarburizing on corrosion resistance of carbon steel. AMERICAN JOURNAL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH. ISSN: 2153-649X.
5. Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu, 1. painos. Jyväskylä: Tammertekniikka ky. ISBN 951-9004-62-9.
6. Blom et all. 1999. Koneenelimet ja mekanismit 5.-6.painos. Oy Edita Ab. Helsinki. ISBN 951-37-2903-6.
7. Vesterinen, J. 2011. Metsäkoneita Suomessa ja Suomesta 1910-2000. Tallinna Raamatutrükikoda. Tallinna. ISBN 978-952-472-105-9. Alfamer Oy 2011.
8. Kone Ketonen Oy [kotisivut] viitattu 28.10.2014. Saatavissa: <http://www.kone-ketonen.fi>
9. Metsäalan ammattilehti N:o 5/12 27vsk. s. 29.
10. Salakari, H. & Heimonen, R. 1998. Koneellinen puunkorjuu. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.

11. ValuAtlas - Jälkikäsittelytekniikka [pdf-dokumentti] viitattu 1.8.2013.  
Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_jalkikasittely\\_I.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_I.pdf)
12. Swift, K. & Booker, J. 2013. Manufacturing Process Selection Handbook. Elsevier. Butterworth-Heinemann. Oxford.
13. Komatsu 370.2 [pdf-dokumentti] viitattu 1.8.2013. Saatavissa: [http://shop.mediahandler.se/pdf/komatsu/k370\\_2\\_ps\\_fi.pdf](http://shop.mediahandler.se/pdf/komatsu/k370_2_ps_fi.pdf)
14. Pulkkinen, Seppo. Metsäkoneyrittäjä. Metsänkorjuu Pulkkinen Oy. Putikko. Suomi. Haastattelu 23.6.2014.
15. Neuvonen, Timo. Insinööri. Yrittäjä. Putikko. Suomi. Haastattelu 23.6.2014.
16. Swift, K. & Booker, J. 2013. Manufacturing process selection handbook. Elsevier Ltd. ISBN 978-0-08-099360-7.



DETAIL F  
SCALE 2 : 5

DETAIL D  
SCALE 2 : 5



DETAIL C  
SCALE 2 : 5

DETAIL A  
SCALE 2 : 5

Nimi / Form		Materiaali / Material		Paino / Mass		Nimitys / Description	
Yhteinen nimi / General reference		Mitat / Dimensions		4,841 kg		Sahalaippa	
SFS-EN 2198 (ISO 2198) kehäharja		Puhdistus / Surface treatment		Koneistus		Koneistuksen / Drawing number	
Mittakaava / Scale		Läpilyönti / Hole		30939		Rev	
A3		15		JHer		B	
www.cnc-machining.fi		Nimi / Attention		Suunn. / Design		Pain. / Date	
MACHINING OY		JHer		Pain. / Date		Pain. / Date	

