

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja tuotesuunnittelu

Marko Marttila

Terän kiinnittimen kehitys

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Marko Marttila

Terän kiinnittimen kehitys, 31 sivua, 13 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja tuotesuunnittelu

Opinnäytetyö 2012

Ohjaajat: yliopettaja Seppo Toivanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, tekninen johtaja Raimo Karjalainen, Veisto Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää terän kiinnittimen kestoikää. Opinnäytetyö tehtiin yritykseen nimeltä Veisto Oy.

Veisto Oy antoi kehitystehtävän, koska terän kiinnittimen kestoikä oli osoittautunut käytännössä liian lyhyeksi. Ongelma keskittyy väsymiseen ja nykyinen terän kiinnitin rikkoutuu tästä syystä liian nopeasti.

Työssä käytettiin alan kirjallisuutta väsymisen teorian osalta. Mallinnuksessa käytössä oli Solidworks-ohjelmisto. Laskenta suoritettiin hyödyntäen FEM-simulaatiota ja käsinlaskentaa. Materiaalinvalinnan taustana oli kirjallisuus ja toimittajien tarjoamat tiedot.

FEM- simulaatioiden pohjalta valittiin lopuksi parhaiten toimivat muutokset nykyiseen terän pitimeen ja materiaalien kartoituksen perusteella uusi toimivampi materiaali kiinnittimelle.

Parhaimpaan väsymiskestävyyteen päästiin, kun terän kiinnittimen paksuutta suurennettiin pinnalta, johon voima kohdistuu. Kiinnitintä muotoiltiin myös uudelleen, jolloin jännityskeskittymät pienenevät oleellisesti. Parhaaksi materiaaliksi kyseiseen tarkoitukseen valikoitui RAEX 500.

Asiasanat: terän kiinnitin, väsyminen, FEM

Abstract

Marko Marttila

Knife holders develop, 31 Pages, 13 appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Name of Your Faculty Lappeenranta/Imatra

Degree Programme in Mechanical Engineering

Machine and product design

Bachelor's Thesis 2012

Instructors: Mr Seppo Toivanen: principal lecturer, Mr Raimo Karjalainen: technical director

The purpose of the study was to improve the life time of a knife holders. The study was commissioned by Veisto Oy.

Veisto Oy gave this commission because the life time of the knife holders was proved to be too short. The problem occurs mainly as fatigue, and because of it, the knife holder breaks too quickly.

The information was gathered from literature. Solidworks software was used in modelling. Calculations were performed by FEM-simulation and by hand. The background for the choice of material was literature and information from suppliers.

The changes made in the knife holder were based on the FEM-simulations and the material was chosen after a study.

Based on the findings the best result was to increase the thickness of the area where the force is directed to. The knife holder was also reshaped which reduced the concentration of stress considerably. For this purpose the best material was RAEX 500.

Keywords: knife holder, fatigue, FEM

Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Sahateollisuus suunnittelun näkökulmasta.....	5
1.2	Yrityksen esittely.....	5
2	Väsyminen.....	8
2.1	Väsymisen perusteet.....	8
2.2	Lovivaikutus.....	10
2.3	Murtumismekaniikka.....	11
2.4	Väsymiskestävyyden parannuskeinot.....	12
2.4.1	Hitsattu rakenne.....	12
2.4.2	Hitsaamaton rakenne.....	13
3	FEM.....	16
3.1	Yleistä.....	16
3.2	FEMin käyttö.....	17
4	Suunnittelu.....	18
4.1	Tehtävän määrittely.....	18
4.2	Vaatimuslista.....	19
4.3	Alkuperäisen rakenteen analysointi.....	20
4.4	Rakenteen muutokset.....	21
4.5	FEM-laskenta.....	22
4.6	Käsilaskenta.....	22
4.6.1	Symbolit.....	23
4.6.2	Laskut.....	23
4.7	Materiaalin valinta.....	26
4.8	Lopullisen rakenteen valinta.....	27
5	Yhteenveto.....	28
	Kuvat.....	29
	Taulukot.....	30
	Lähteet.....	31

Liitteet

- Liite 1 Terän kiinnitin
- Liite 2 Teräpää ja otsaterä
- Liite 3 Teräpala
- Liite 4 Hajonnut terän kiinnitin
- Liite 5 Murtumistyytit
- Liite 6 Taskun siirto
- Liite 7 Taskun pyöristys
- Liite 8 Kulman kasvatus
- Liite 9 Vertailusimulaatio
- Liite 10 Teräpalan lyhennyksen vaikutus
- Liite 11 Taskun siirron vaikutus
- Liite 12 Pyöristyksen vaikutus
- Liite 13 Kulman suurentamisen vaikutus

1 Johdanto

1.1 Sahateollisuus suunnittelun näkökulmasta

Suunnittelijan näkökulmasta sahatteollisuudessa käytettäviin koneisiin tulee suhtautua kriittisesti. Nykyään koneenrakennuksessa yleisesti kaikki pyritään optimoimaan siten, että käytetään mahdollisimman vähän materiaaleja, jotta säästetään kustannuksissa.

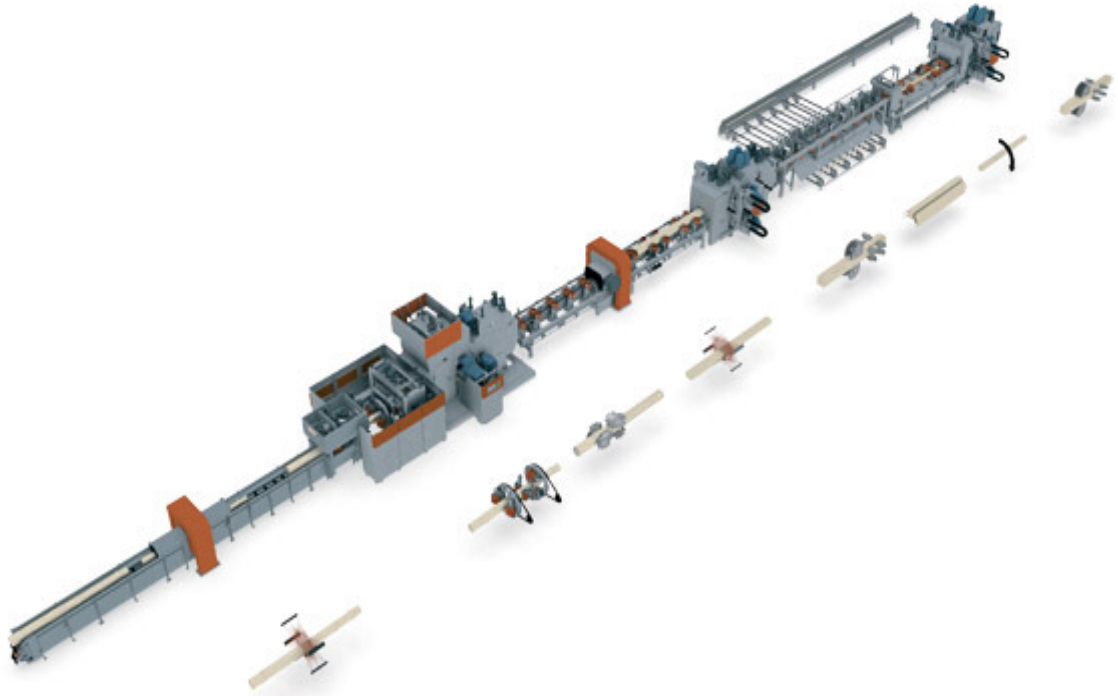
Sahankoneiden kannalta kaikkea ei kuitenkaan kannata suunnitella mahdollisimman ”rajalle”, sillä niissä tarvitaan tietynlaista järeyttä. Erityisesti runkojen tulee olla järeitä, jotta sahauksesta saadaan tarkkaa ja ongelmattomaa, kuten tukin karatessa rakenteiden vahingoittumiselta vältytään. Sahoja voidaan myös modernisoida myöhemmin, jolloin mahdollisesti sahausnopeudet kasvavat, mikä aiheuttaa suurentuneita voimia rakenteisiin. Jos rakenteet on mitoitettu jo alun perin tarkasti, tulee modernisoinnista mahdotonta tai se ei ainakaan kannata vaurioriskin takia.

Koska kaikkia osia ei ole optimoitu, voi suunnitteluvirheitä tulla myös toiseen suuntaan eli osa on mitoitettu liian heikoksi. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kehittää sahakoneeseen kuuluvaa terän kiinnitintä, jonka ongelmaksi on osoittautunut ennen aikainen rikkoutuminen väsymisen johdosta. Sain opinnäytetyön aiheen yrityksestä Veisto Oy, joka on yksi johtavista sahakoneiden valmistajista.

Työssä on tarkoitus käsitellä aluksi teoriaa väsymisestä, jota sovelletaan ongelman ratkaisussa terän kiinnitintä koskien.

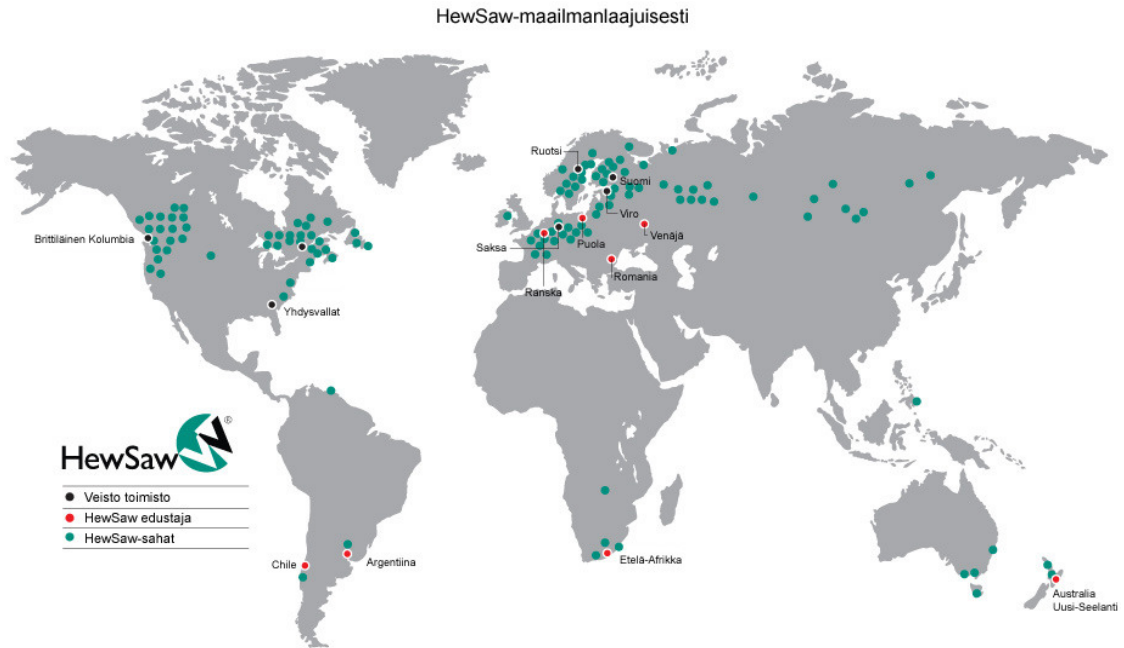
1.2 Yrityksen esittely

Opinnäytetyö tehdään Veisto Oy nimiseen yritykseen, jonka toimiala on puuteollisuus. Yritys tarjoaa ratkaisuja erilaisiin sahaustarpeisiin. Tuotteita yritykseltä löytyy kokonaisista sahalinjoista (Kuva 1.1) yksittäisiin komponentteihin, joita ovat esimerkiksi kolmitasokuljettimet ja tukinsuuntaus/keskityslaitteet.



Kuva 1.1 Sahalinja SL250 TRIO (HewSaw 2012.)

Veisto Oy:n tuotteet tunnistaa maailmalla HewSaw-merkistä. Sahoja löytyy Euroopasta, Yhdysvalloista, Kanadasta, Venäjältä, Australiasta, Etelä-Afrikasta, Chilestä ja Argentiinasta. Kyseessä on siis todella kansainvälinen yritys. Päätoimipaikka sijaitsee Mäntyharjussa, mutta toimistoja ja edustajia löytyy myös muualta maailmasta (Kuva1.2). (HewSaw 2012.)



Kuva 1.2 HewSaw- maailmanlaajuisesti (HewSaw 2012.)

Yrityksen historia ulottuu vuoteen 1964, jolloin ensimmäinen parrunveistoon tarkoitettu kone rakennettiin omaan käyttöön. Muuttuvien sahaustarpeiden johdosta alettiin kehitellä 1970-luvun lopulla versiota, joka soveltuisi pienpuun sahaukseen. 1980-luvulla perustettiin Veisto-Rakenne Rautio Oy ja rakennettiin konepaja. Yrityksen ensimmäinen sahakoneen prototyyppi valmistui pian ja se kantoi nimeä R115. Laitetta testattiin ja kehiteltiin ennen kuin se asetettiin markkinoille ja ensimmäinen R115 myytiin vuonna 1983 kotimaahan. Ensimmäisen sahakoneen jälkeen kehitystyötä on jatkettu ja markkinoille on tuotu uusia aina entistä kehittyneempiä malleja. Yrityksellä on siis takana pitkä tuotekehitys ja kokemus sahaamisesta, tästä syystä se on kehittynyt yhdeksi johtavista konevalmistajista maailmassa. (HewSaw 2012.)

Veisto Oy on osa Veisto-konsernia, johon kuuluu lisäksi Vakiometalli Oy ja Kiskasosken saha. Veisto Oy työllistään noin 200 henkilöä ja sen liikevaihto oli vuonna 2010 20 M€. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Markku Rautio.

2 Väsyminen

2.1 Väsymisen perusteet

Kuormitusta kutsutaan väsyttäväksi, kun sen suuruus vaihtelee tarpeeksi monta kertaa. Riittävänä kuormituskertojen vaihtelumääränä voidaan pitää lukumäärää 10^4 . Staattiseksi kuormitus pystytään määrittelemään, jos kuormituskertojen lukumäärä on pienempi kuin 10^4 . (Saarineva 1995, 11.1.)

Väsyttävä kuormitus voi pysyä koko ajan samansuuntaisena suuruuden ollessa tiettyjen minimi- ja maksimiarvojen välillä tai myös kuormituksen suunta voi muuttua, jolloin minimi- ja maksimiarvot vaihtuvat erimerkkisiksi. Väsyminen tapahtuu, kun maksimiarvo on liian suuri. Se johtaa särön kautta murtumaan, jota kutsutaan väsymismurtumiseksi. (Saarineva 1995, 11.1.)

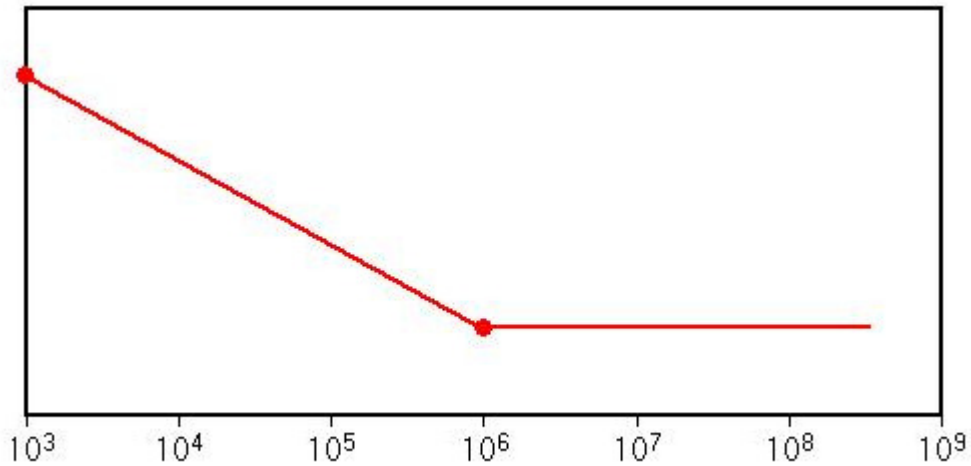
Väsymismurtuminen syntyy käytännössä aina staattista murtorajaa pienemmällä jännityksellä ja useimmiten myös alle myötörajan. Väsymismurtuminen ei synny heti, kun kappaletta aletaan kuormittaa vaan vaikutus alkaa näkyä kuormituskertojen ylittäessä arvon 10^4 . (Saarineva 1995, 11.1.)

Väsyttävä kuormitus voi muuttua epäsäännöllisesti ja käytännössä se tekeekin niin. Moni muuttuva kuormitus voidaan kuitenkin korvata säännöllisesti muuttuvilla erikoiskuormitustyypeillä, koska ne ovat vertailukelpoisia laboratorio olosuhteissa tehtyjen testien kanssa. Yleisimpiä erikoiskuormitustyyppisiä ovat tykytyskuormitus ja vaihtokuormitus. (Saarineva 1995, 11.1.1.)

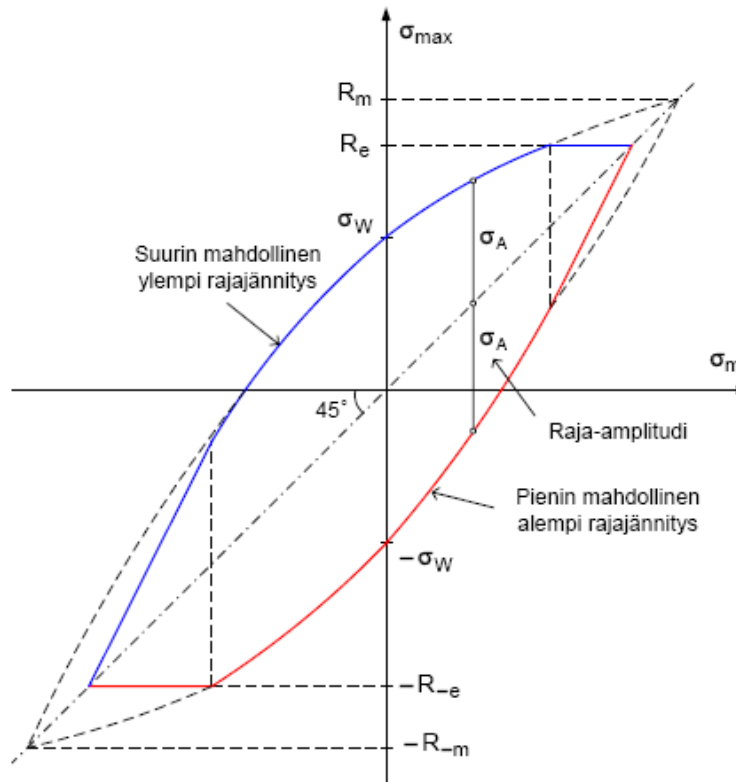
Tykytyskuormituksessa kuormitus muuttuu säännöllisesti nollassa ja jonkun nollassa poikkeavan arvon välillä. Vaihtokuormituksessa kuormitus vaihtelee säännöllisesti kahden arvon välillä, jotka ovat samansuuruiset mutta erimerkkiset. Muita säännöllisesti muuttuvia kuormituksia kutsutaan sekakuormitukseksi. (Saarineva 1995, 11.1.1.)

Väsymistä on tutkittu paljon, koska se on yksi merkittävistä vauriomuodoista. Tutkimuksien perusteella on tehty erilaisia kuvaajia, jotka helpottavat väsymisen arvioimista. Tunnetuimpia ovat Wöhler-käyrä (Kuva 2.1), Smithin piirros (Kuva 2.2) ja Goodmanin piirros. (Kuva 2.3). Wöhler-käyrässä toisella akselilla on

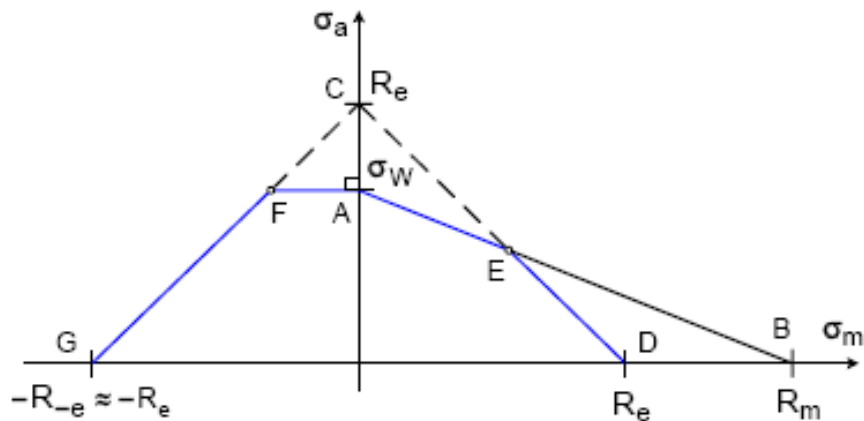
kuormituskertojen lukumäärä ja toisella jännitys. Smithin piirros kuvaa kuormituskertojen lukumäärään liittyvää väsymisrajaa, jotka koekappale kestää rikkoutumatta. Goodmanin piirroksessa akseleille on asetettu keskijännitys ja suurin mahdollinen jännitysamplitudi.



Kuva 2.1 Wöhler-käyrä



Kuva 2.2 Smithin piirros (Lähteenmäki 2012, 5.)



Kuva 2.3 Goodmanin piirros (Lähteenmäki 2012, 8.)

2.2 Lovivaikutus

Kappaleen kestävyys voidaan vaikuttaa suurelta osin muotoilulla. Muotoilussa tulisi välttää jännityskeskittymien syntymisiä rakenteisiin ja pyrkiä aina siihen, että jännitykset jakautuisivat rakenteessa mahdollisimman tasaisesti.

Kun jännityskeskittymiä syntyy, syntyvät ne yleensä poikittaisen uran, loven, olakkeen, pitkittäisen uran tain muun geometriassa olevan äkillisen muutoksen kohdalle. Tällaista muutosta pyritään kuvaamaan loven muotoluvun avulla. Se kertoo jännityskeskittymän ja nimellisen jännityksen suhteen. Mitä terävämpi lovi on, sitä isompi riski se on rakenteen kestolle. (Saarineva 1995, 12.1.)

Staattisessa kuormituksessa jännityskeskittymä ei ole vaarallinen, jos huippu ei kohdistu laajalle alueelle. Myötämään rakenne alkaa vasta, kun jännitys saavuttaa myötörajan suuremmalla alueella, tähän ei siis riitä kapeat jännityskeskittymät. Tämä pätee materiaaleille, joilla on selvä myötöraja pois lukien hauraat materiaalit (Saarineva 1995, 12.1.1.)

Väsyttävässä kuormituksessa asia onkin täysin toisinpäin, koska kuormituksen suuruus vaihtelee. Väsyttävässä kuormituksessa olevat rakenteet ovat siis herkempiä lovelle. Kuormituksen saavuttaessa suurimman arvonsa uudelleen ja uudelleen liukuvat kidepinnat myötämisen takia ja jännityshuippu alenee todelli-

selle tasolle. Tasoittumista määrää raaka-aine ja loven muoto. Tätä varten on määritelty loven herkkyyyslukuja, joita löytyy taulukoista. Todellisen jännityshuipun pystyy määrittelemään loviherkkyyksluvun ja lovenmuotoluvun avulla. (Saarineva 1995, 12.1.2.)

2.3 Murtumismekaniikka

Ennen materiaalin lopullista rikkoutumista syntyy siihen usein vikoja. Vikaa materiaalissa voidaan kutsua säröksi. Särön ympärille muodostuu aina suuria jännityskeskittymiä. Murtumismekaniikka pyrkii selvittämään juuri särön tyylisiä vikoja rakenteissa, jotta murtumiselta vältyttäisiin.

Analysointia tarvitaan usein silloin, jos epäillään rakennetta suunniteltaessa säröjen aiheuttavan vaaraa kuormituksen tai lämpötilan muuttuessa. Toinen vaihtoehto on, jos valmiissa tai käytetyssä osassa on särö ja halutaan selvittää voidaanko osaa käyttää vielä turvallisesti. Usein myös halutaan selvittää jälkeenpäin, miksi osa on murtunut ja mikä on ollut murtumissyys. (Pennala 2002, 366.)

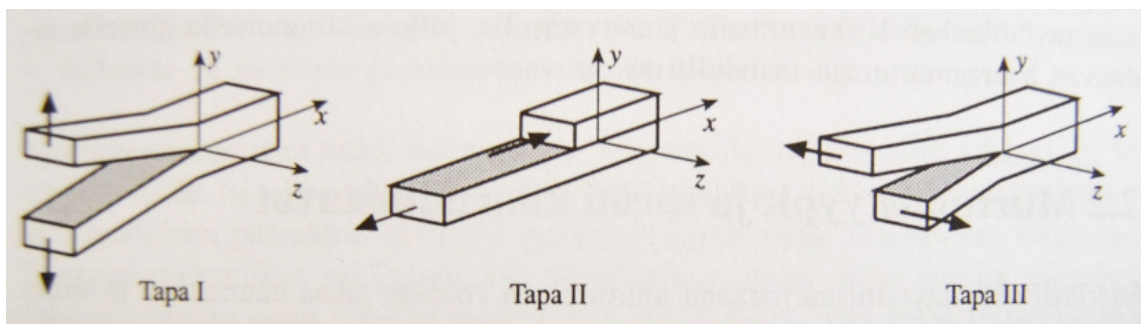
Käytännössä kaikki materiaalit sisältävät alkusäröjä, vaikka niitä ei silmällä näekään. Alkusäröt voivat kasvaa rakenteen kannalta vaarallisiksi olosuhteiden ollessa epäedulliset. Jännitystyyppien kannalta vaarallisempi särölle on vetojännitys, koska tällöin atomien välinen etäisyys kasvaa. Sidosvoima atomien välillä kasvaa tiettyyn pisteeseen asti, kunnes atomien välinen etäisyys on niin suuri, että materiaali murtuu. (Pennala 2002, 365.)

Nykyään markkinoille on tuotu lujempia materiaaleja, jolloin rakenteista saadaan aina vain keveämpiä ja materiaalia voidaan säästää. Tällöin kuormitustasotkin kasvavat, mutta myös murtumisvaurioiden mahdollisuus lisääntyy. Lisääviksi tekijöiksi voidaan mainita esimerkiksi hitsaaminen ja alhainen lämpötila. (Pennala 2002, 366–367.)

Murtumisen päätyypit ovat hauras ja sitkeä murtuminen. Hauras murtuminen on ehdottomasti vaarallisempi, koska se etenee todella nopeasti. Edetessään murtuma valitsee aina heikoimman reitin mikrorakenteessa. Sitkeän murtumisen sitoma energiamäärä on suuri, jolloin murtuminen etenee hitaammin. (Pennala 2002, 368.)

Väsymismurtumassa särö sulkeutuu ainakin osittain kuormituksen vaihdellessa. Aluksi mikroskooppiset viat aloittavat kasvunsa, kunnes särö alkaa edetä ja lopuksi ehjä materiaali murtuu toisella murtumisen päätyypillä. (Pennala 2002, 368.)

Säröä voidaan kuormittaa kolmella päätavalla, joita ovat säröä avaava kuormitus, säröä etenemissuunnassa leikkaava kuormitus ja särön etenemissuuntaan vastakkainen kuormitus. Näistä vaarallisin on säröä avaava kuormitus, ja se etenee näistä nopeimmin. Kuvassa 2.4 näkyy kuormitustyyppien perustyyppit järjestyksessä. (Pennala 2002, 368.)



Kuva 2.4 Säröä avaavan kuormituksen perustyyppit (Pennala 2002, 368)

2.4 Väsymiskestävyyden parannuskeinot

Väsymiskestävyyttä voidaan parantaa monella eri keinolla. Pääpiirteittäin parannuskeinot voidaan jakaa hitsatulle rakenteelle ja hitsaamattomalle rakenteelle sopiviksi. Seuraavassa on esitelty parannuskeinoja molemmille tyypeille.

2.4.1 Hitsattu rakenne

Hitsatulla rakenteella ongelmaksi tulee se, että vaikka valitaan parempia materiaaleja, joiden myötöraja on korkeampi, ei se kuitenkaan auta hitsin kohdalla. Tämä on tärkeä asia, koska moni rakenne on rikkoutunut, juuri hitsin kohdalta.

Huomioon tulee ottaa myös alkujännitykset, joita syntyy hitsauksen seurauksena. Jännityksen tyyppi on vetoa, alkujännityksiä voidaan pienentää monilla eri keinoilla hitsauksen jälkeen. Lämmitysmenetelmillä pyritään tasoittamaan jännityksiä, rakenne voidaan lämmittää kokonaan tai vain paikallisesti hitsatul-
ta alu-

eelta. Hitsattua rakennetta voidaan myös käsitellä mekaanisesti, jolloin jäännös-jännityksiä pyritään muuttamaan puristukseksi. Tämä suoritetaan esimerkiksi vasartamalla, ultraäänien avulla, kuulapuhaltamalla tai ylikuormittamalla rakennetta.

Hitsin muoto ei aina ole täydellinen kestävyyskannalta. Lisäksi hitsattuun kohtaan syntyy aina alkusäröjä, vaikka niitä ei paljain silmin näkyisikään. Näihin molempiin epäkohtiin pystytään vaikuttamaan hitsauksen jälkeen. Yksi tapa on hioa sauma esimerkiksi käyttäen hiomalaiikkaa tai viilaa. Sauma voidaan myös uudelleen sulattaa plasma- tai TIG-menetelmällä. Hitsauksen aikana muotoon voidaan vaikuttaa käyttämällä erikoishitsausmenetelmiä, kuten erikoispuikkoja.

Yleisesti väsymiseen voidaan vaikuttaa suunnittelussa hitsien osalta siten, että mitoitetaan saumat oikein ja sijoitetaan ne sellaisiin paikkoihin, missä jännityskeskittymät ovat mahdollisimman pieniä, jolloin rasitukset jäävät alhaisemmiksi. Konepajalla taas hitsien kestävyteen pystytään vaikuttamaan palkkaamalla ammattihitsareita, joilla on luokkahitsaustodistukset, tosin aina tämäkään ei takaa laatua. Laadunvalvonnalla pystytään ehkäisemään huonompi laatuisten tuotteiden pääsy markkinoille. Valvontamenetelmiä ovat esimerkiksi läpivalaisu, tunkemaneste ja magneettijauhe.

2.4.2 Hitsaamaton rakenne

Hitsaamattomassa rakenteessa tärkeimmäksi keinoksi parantaa väsymiskestävyttä nousee muotoilu. Muotoilu pitäisi toteuttaa siten, että suurilta jännityskeskittymiltä vältyttäisiin. Myös ainevahvuuksien osalta tulisi suunnitella sellaisia rakenteita, joissa sallitut jännitykset eivät ylitä. Jännityksien suhdetta kestoikään kuvaa se, että jännityksien kolmas potenssi on kääntäen verrannollinen kestoikään. Toisin sanoen, esimerkiksi jännityksien puoliintuessa kasvaa kestoikä kahdeksankertaiseksi.

Kappaleen pinnanlaadulla on myös vaikutusta väsymiseen: mitä karheampi pinta on, sitä suurempia virheitä eli alkusäröjä siinä esiintyy. Kappale on siis sitä alttiimpi väsymismurtuman alkukohdalle, mitä suurempi Ra-arvo on. Jos arvelaan rakenteen jonkin kohdan altistuvan väsymiselle, voidaan kyseisen kohdan pinnanlaatua parantaa esimerkiksi hiomalla tai kiillottamalla. Toimenpide kan-

nattaa suorittaa vain alttiiseen kohtaan, koska koko kappaleen käsittelylle ei ole tarvetta sen nostaessa kustannuksia. Sorvaamalla päästään Ra-arvoon 12.5 ja tasohionnalla arvoon 1.6, myös menetelmillä syntyviä Ra-arvoja on esitelty taulukossa 2.1.

Kappaleen työstösuuntaa kannattaa pohtia ennen valmistusta. Aina tulisi pyrkiä siihen, että kuormitus ei avaa säröä. Särönä voidaan pitää esimerkiksi metalli-ion valssausvaiheessa syntyneitä uomia tai koneistuksen aiheuttamia jälkiä. Aina tähän ei kuitenkaan pystytä vaikuttamaan etenkin koneistuksen osalta, jolloin jälkikäsittely kannattaa toteuttaa.

Lämpötilan vaikutus väsymiskestävyyteen on yksiselitteinen, metallien ominaisuuksien vuoksi. Lämpötilan laskiessa menettää metalli sitkeysominaisuuksiaan ja väsymiskestävyys pienenee.

Taulukko 2.1 Pinnankarheus eri menetelmillä (Hasari & Salonen, 2006, 168.)

VALMISTUSMENETELMÄ	PINNANKARHEUS R_a													
	0,006	0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Hiekkavalu														
Kuorimuottivalu														
Kokillivalu														
Painevalu														
Tarkkuusvalu														
Metallin ruiskupuristus														
Muovin ruiskupuristus														
Tarkkuustaonta														
Muottitaonta														
Pursotus														
Muotovalssaus														
Silovalssaus														
Levyn syväveto														
Vetäminen														
Pituussorvaus														
Tasosorvaus														
Pistosorvaus														
Höyläys														
Pistäminen														
Kaavinta														
Poraus														
Avarrus														
Upotus														
Kalvinta														
Lieriöjyrsintä														
Otsajyrsintä														
Avennus														
Viilaus														
Pyöröhionta														
Tasohionta														
Kiillotushionta														
Elektrolyyttinen kiillotus														
Kipinätyöstö														
Laahinta														
Hiveltäminen														
Hiertäminen														
Kiillotushiertäminen														
Suihkutus														
Rummutus														
Polttoleikkaus														
Sahaus														
Leikkaus														

Hitsaamattomassa rakenteessa materiaalin valinnalla pystytään vaikuttamaan suuriltaosin väsymiskestävyyteen, koska hitsauksessa syntyvät epäkohdat eivät ole heikentämässä rakennetta. Dynaamisesti kuormitettavissa rakenteissa materiaailta vaaditaan sitkeyttä lujuuden lisäksi.

3 FEM

3.1 Yleistä

Elementtimenetelmä eli FEM lyhenne sanoista Finite Element Method on menetelmä, jolla pystytään ratkaisemaan likimääräisesti siirtymää, muodonmuutosta, ja jännityksiä (Lähtenmäki, 1.1). Tulokset ovat siis yleensä suuntaa-antavia, mutta kuitenkin riittävän tarkkoja käytännön tuloksien perusteella (Lähtenmäki, 1.1). Menetelmää kannattaa käyttää, jos yrityksellä on käytössä kyseinen ohjelma ja jos käytännön kokeilu tulisi kalliiksi. FEMiä kannattaa käyttää myös silloin, kun kappale on tarpeeksi monimutkainen ja käsin laskeminen kestää liian kauan tai on jopa mahdotonta. FEMillä pystytään myös analysoimaan rakenteen heikot kohdat jo ennen kappaleen valmistusta ja näin tuotantoon ei pääse täysin toimimattomia ratkaisuja. Läheskään kaikille komponenteille ei kuitenkaan kannata tehdä FEM-analyysia, koska se on aikaa kuluttavaa. On siis tärkeää pohtia milloin elementtimenetelmän käyttö on kannattavaa. Esimerkiksi seuraavissa tapauksissa elementtimenetelmän käytölle ei ole tarvetta. Osa ei ole laitteen oletettavasti heikoin lenkki, suunnittelussa ei ole jouduttu käyttämään tarkimpia toleransseja.

Nykyisin elementtimenetelmää käytetään paljon koneiden suunnittelussa lujuuslaskennassa, mutta myös lämpö-, virtaus-, sähkö- ja ääniopin ongelmia voidaan ratkoa elementtimenetelmän avulla (Lähtenmäki, 1.1). Yleisimpiä käytössä olevia ohjelmia ovat StaadPro, Ansys Desing Space, Cosmosworks ja Solid Works Simulation.

3.2 FEMin käyttö

Ennen FEMin käyttöä olisi hyvä tietää lujuusopin, statiikan ja dynamiikan perusteet sekä elementtimenetelmän perusteella toimivien ohjelmien toimintatapa.

Elementtimenetelmä perusajatus on jakaa tarkasteltava kappale moniin pieniin osiin, joita kutsutaan elementeiksi. Tämä tehdään siksi, että kyseiset elementit ovat tarpeeksi yksinkertaisia laskea yksitellen. Kun yksittäiset elementit on laskettu, ohjelma yhdistää lopuksi osa-alueiden tulokset ja saadaan lopulliset arvot. Koko kappaletta kuvaavaa mallia sanotaan elementtiverkoksi. Mallinne ei ole yleensääkään täysin samanlainen kuin todellinen kappale, mikä tulee huomioida siten, että se aiheuttaa tuloksiin virheitä. (Lähteenmäki, 1.2.)

Laskentamalleja tehdessä tulisi myös tietää, mitä elementtiä käytetään, jotta saataisiin mahdollisimman oikeanlainen laskentatuloks. Joissain ohjelmissa elementtityyppejä voidaan vaihtaa, mutta kaikissa se ei ole mahdollista. Ohjelmien elementtikirjastot sisältävät eri elementtityyppejä noin kymmenistä satoihin, joten käyttäjän pitäisi olla asiansa tunteva (Lähteenmäki, 1.2). Mahdollisia ongelmia voikin syntyä, kun tulokset eivät täsmää käytäntöön ollenkaan. Tällöin on voitu käyttää esimerkiksi väärää elementtejä tai malli on ollut liian kaukana todellisesta kappaleesta. Ongelma tuloksiin voi myös syntyä, jos kappaleen tuenta on simulaatiossa erilainen kuin todellisuudessa. Ohjelmaa ostettaessa, tulisi vaihtoehtoihin perehtyä hyvin ja pohtia, minkälainen ohjelma sopisi parhaiten omien kappaleiden mallintamiseen ja tarvitaanko siihen suuria elementtikirjastoja lainkaan.

Joihinkin FEM-ohjelmiin voidaan tuoda suoraan tiedostoja suunnitteluohjelmista, jolloin mallin luominen helpottuu. Aina tämä ei kuitenkaan toimi suoraan, koska ohjelma ei välttämättä pysty tulkitsemaan monimutkaisia muotoja. Tällöin kyseiset kohdat joudutaan muuttamaan ohjelmassa yksinkertaisempaan muotoon. Sovellus kuitenkin nopeuttaa mallinnusta huomattavasti.

4 Suunnittelu

4.1 Tehtävän määrittely

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää terän kiinnitintä vahvemmaksi ja saada sille pidempi kestoikä. Terän kiinnittimen (Liite 1) toiminta on yksinkertainen, se kiinnitetään teräpäähän (Liite 2) pulteilla ja terän kiinnittimeen asennetaan teräpala (Liite 3), jonka tarkoitus on katkaista hake oikeanmittaiseksi. Teräpää on kiinnitetty kytkimen ja laakeroinnin kautta sähkömoottoriin, joka pyörittää teräpäätä. Nykyisillä sahausajoilla terän kiinnittimen kestoikä on keskimäärin 3 kk, mikä on aiheuttanut reklamaatioita asiakkailta. Keskimäärin kyseisellä kestoikäällä sahataan kahdeksan tuntia päivässä, jolloin kokonaiskestoikäksi tulee noin 160 tuntia. Tästä syystä pidin vaatii toimenpiteitä ja uudelleen suunnittelua, jotta asiakkaat saadaan tyytyväisiksi.

Suunnittelussa on tarkoitus hyödyntää käsilaskentaa, kirjallisuutta, FEM-laskentaa ja tutkia rikkoutuneita kappaleita. Mahdollisia muutoksia ovat geometriset muutokset tiettyjen rajojen sisällä ja materiaalimuutokset. Pidintä ei lähdetä suunnittelemaan kokonaan uusiksi, sillä sen tulee käydä alkuperäiselle paikalleen, koska maailmalla on paljon koneita, joihin ei haluta suuria muutoksia. Suunnittelun tavoite on muokata alkuperäistä rakennetta niin, että se tyydyttää asiakkaita.

4.2 Vaatimuslista

Seuraavassa taulukossa 4.1 esitetty rakenteen vaatimuslista.

Taulukko 4.1 Vaatimuslista

Veisto Oy		Vaatimuslista	
		<i>Terän kiinnittimen vaatimuslista</i>	5.4.2012
V/T			
V=vaatimus	Painoarvo (1-3)	VAATIMUKSET	Vastaava / Muutokset / Avainsana
T=toive			
		Geometria	
V	3	Kiinnitys alkuperäiseen teräpäähän	
T	3	Alkuperäinen teräpala käy kiinnittimeen	
V	3	Toiminta sahauksessa pysyy muuttumattomana geometrian osalta	
		Tekniset vaatimukset	
V	3	Kestokä yli 320 h	
V	3	Pyörimisnopeus 2000 rpm	
		Turvallisuus	
T	3	Ei aiheuta vaaraa asentaessa	
		Kokoonpano	

V	2	Teräpalan vaihdon/säädön oltava mahdollisimman nopeaa	
V	1	Terän kiinnittimen vaihdon oltava mahdollisimman nopeaa	
		Tarkastus	
V	1	Teräpaloja vastaavien pintojen toleranssit	

4.3 Alkuperäisen rakenteen analysointi

Suunnittelu oli helppo aloittaa alkuperäisen rakenteen tarkastelusta, koska hajonneita kappaleita löytyi (Liite 4). Silmiinpistävää oli, että kaikki kappaleet olivat hajonneet samasta kohdasta. Myös sellaisia kappaleita löytyi, joissa vaurio oli alkanut syntyä, mutta kappale ei ollut murtunut kokonaan. Jokaisen kappaleen murtuma johdatti samaa kaavaa. Murtuma oli syntynyt teräpalan taskun ylimpään kohtaan. Tähän vaikuttaa varmasti lovi, joka on teräpalan muodonmukainen, ja se, että materiaali on ohuimmillaan taskun yläosassa.

Murtumakohdan alussa pystyi havaitsemaan selvästi kiiltävämmän alueen, joka on juuri väsymisen aiheuttamaa murtumaa. Kun väsyttävä kuormitus on pidentänyt säröä tarpeeksi kauan, etenee se lopussa todella nopeasti. Kiiltävä kohta kappaleessa on sitkeämurtumista (Liite 5). Loppuosuus haurasmurtumista, joka on syntynyt, kun sitkeämurtuminen on edennyt tarpeeksi pitkälle, eikä rakenne ole kestänyt enää jännityksiä (Liite 5).

Myös voimilla, jotka kohdistuvat kappaleeseen, on selkeä merkitys kestävyys-teen. Yksi tekijä on se, että teräpalaa teroitetaan useasti, jotta sahauksen laatu pysyy kunnossa. Valmistaja on antanut ohjeavon, että terää voidaan teroittaa noin 20 mm. Tämä vaikuttaa selvästi voimia vastaanottavaan pinta-alaan kappaleessa ja näin jännitykset kasvavat suuremmiksi aina, kun teräpalaa teroite-

taan eli lyhennetään. Aina ei ole myöskään varmaa, noudatetaanko teroituksen ohjearvoa, jolloin rakenne joutuu vielä suunniteltua kovemille.

Rakennetta tarkasteltaessa kiinnittyi huomio koneistusasettoon. Terän kiinnitin on koneistettu aihioista juuri pahimmassa suunnassa murtumisen kannalta. Kuormitus pyrkii avaamaan valssattua rakennetta, mikä pitäisi pyrkiä estämään. Tähän olisi helppo ratkaisu kääntää aihio toisinpäin koneistusvaiheessa. Jos tämä ei onnistu joudutaan vaihtamaan ahiokokoa.

4.4 Rakenteen muutokset

Rakenteeseen ei voinut tehdä suuria muutoksia, koska geometria oli melko tarkoin määritelty, jotta rakenne toimii oikein. Tästä syystä rakenteen muutokset on harkittava tarkkaan. Ensimmäinen muutos on siirtää teräpalan taskua niin paljon kuin mahdollista (Liite 6). Suurin mahdollinen siirto oli tässä tapauksessa 2 mm. Tällä toimenpiteellä pyritään pienentämään jännityksiä rikkoutuma kohdassa.

Toinen ajatus on pyöristää teräpalan reuna siten, että sen reunassa on 2 mm säteen suuruinen pyöristys. Näin yritetään päästä eroon pahimmasta lovivaikutuksesta, jotta jännityskeskittymä jakautuisi tasaisemmin suuremmalle alueelle (Liite 7).

Kolmas mahdollinen vaihtoehto on kasvattaa teräpalan reunojen kulmaa (Liite 8), jolla pyritään saamaan loven vaikutusta pienemmäksi ja samalla jännityksiä alhaisemmiksi.

Viimeisenä vaihtoehtona voidaan ajatella terän kiinnittimen pinnanlaadun parantamista siltä osa-alueelta, johon teräpala osuu. Tällöin kosketuksesta saataisi tasaisempi, jolloin jännitykset jakautuisivat myös tasaisemmin. Samalla mahdollisista koneistuksessa jääneistä alkusäröistä päästäisiin eroon tai ainenkin niiden vaikutusta saataisiin pienennettyä. Esimerkiksi hionnalla päästäisiin Ra-arvoon 0.4.

4.5 FEM-laskenta

FEM-laskenta toteutetaan SolidWorksin yhteydessä toimivalla Simulations-ohjelmalla.

FEM-laskennassa elementtiverkon elementeissä on käytetty tetraedrimaista muotoa, joiden arvot ovat kaikissa samat: yleinen koko 2,0 mm ja toleranssi 0,1 mm. Tällöin tarkkuus on vähintään riittävä ja tuloksia voidaan vertailla, koska elementtikoko pysyy koko ajan samana. Elementtityyppi ei ole paras mahdollinen, mutta koska käytössä ei ollut parempaa elementtiä, simulaatiot suoritettiin sillä. Kiinnitykset simulaatiossa on suoritettu paikasta, josta terän kiinnitin on todellisuudessaakin kiinni. Vertailusimulaatioksi analysoitiin alkuperäinen malli materiaalina S355 ja voimana $F = 10000$ N (Liite 9). Simulaation tulosta voidaan pitää onnistuneena, sillä se osoittaa rikkoutuma kohdaksi samaa kuin todellisuuskkin.

Vertailusimulaation jälkeen voidaan tarkastella teräpalan lyhennyksen vaikutusta (Liite 10) jännityksiin. Kuvasta huomataan, että lyhennettäessä terää 20 mm kasvoivat jännitykset noin 38,7 % rakenteessa. Tästä syystä tulisi miettiä, voidaanko teräpalaa esimerkiksi pidentää 20 mm, jolloin teroittaminen ei vaikuttaisi jännityksiä kasvattavasti rakenteeseen.

Teräpalan lyhennyksen jälkeen analysoitiin taskun siirron vaikutus jännityksiin (Liite 11). Jännitykset laskivat arvosta $346,2$ N/mm² arvoon $280,7$ N/mm² eli pudotusta oli noin 19,1 %.

Seuraavassa vaiheessa simuloitiin pyöristyksen vaikutus rakenteeseen (Liite 12). Jännitykset pienenevät $112,5$ N/mm² eli noin 32,5 %.

Viimeiseksi katsottiin teräpalan kulman suurentamisen vaikutus jännityksiin (Liite 13) Tällä toimenpiteellä jännitykset laskivat $103,7$ N/mm² eli noin 30 %.

4.6 Käsinlaskenta

Käsinlaskentaa rakenteeseen ei voida suoraan soveltaa sen monimutkaisuuden vuoksi, joten avuksi tulee tässä vaiheessa FEM. FEMin avulla nähdään jänni-

tyskeskittymien suurimmat arvot, jonka jälkeen voidaan lovelle laskea muotolukua ja kappaleelle suhteellista kestoikää.

4.6.1 Symbolit

Seuraavassa esitetty laskuissa käytettävät symbolit.

σ_{\max} = suurin jännitys (lovesta)

σ_{\min} = pienin jännitys (lovesta)

σ_n = keskijännitys

α = lovenmuotoluku

l_t = kestoikä

4.6.2 Laskut

Seuraavassa on esitetty lovenmuotoluvun ja kestoian laskut.

Lovenmuotoluku eri tapauksissa : (Saarineva 1995, 12.1.2.)

$$\sigma_n = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} \quad (2)$$

Alkuperäisen rakenteen lovenmuotoluku

$$\sigma_n = \frac{346.2 \frac{N}{\text{mm}^2} + 57 \frac{N}{\text{mm}^2}}{2}$$

$$\sigma_n = 201.6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha = \frac{346.2 \frac{N}{\text{mm}^2}}{201.6 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\alpha = 1.72$$

Pyöristetyn rakenteen lovenmuotoluku

$$\sigma_n = \frac{346.2 \frac{N}{\text{mm}^2} + 116 \frac{N}{\text{mm}^2}}{2}$$

$$\sigma_n = 231.1 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha = \frac{346.2 \frac{N}{\text{mm}^2}}{231.1 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\alpha = 1.49$$

Kulmaa suurennetun rakenteen lovenmuotoluku

$$\sigma_n = \frac{346.2 \frac{N}{\text{mm}^2} + 61 \frac{N}{\text{mm}^2}}{2}$$

$$\sigma_n = 203.6 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha = \frac{346.2 \frac{N}{\text{mm}^2}}{203.6 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\alpha = 1.70$$

Jännityksien muutoksella saatu kestoiän pidennys:

$$\sigma_{max} * 2 = \frac{1}{8} * l_t \quad (3)$$

Teräpalan pituuden lyhennys 20 mm

$$1.387^3 = 2.668$$

$$\frac{1}{2.668} = 0.38$$

$$l_t = 37.5\%$$

Kiinnittimen kestoikä putoaa 62.5 % alkuperäisestä.

Taskun siirto

$$0.809^3 = 0.529$$

$$\frac{1}{0.529} = 1.88$$

$$l_t = 188\%$$

Kiinnittimen kestoikä kasvaa 88 % alkuperäisestä.

Pyöritys

$$0.675^3 = 0.308$$

$$\frac{1}{0.308} = 3.25$$

$$l_t = 325\%$$

Kiinnittimen kestoikä kasvaa 225 % alkuperäisestä.

Kulman suurennus

$$0.700^3 = 0.343$$

$$\frac{1}{0.343} = 2.91$$

$$l_t = 291\%$$

Kiinnittimen kestoikä kasvaa 191 % alkuperäisestä.

4.7 Materiaalin valinta

Materiaalin valinnassa kyseiseen sovellukseen tulisi hakea mahdollisimman hyviä lujuusominaisuuksia. Tämä johtaa siihen, että murtolujuuden R_m tulisi olla mahdollisimman suuri. Hyviin sitkeusominaisuuksiin ei ole tarvetta, koska ne alkavat vaikuttaa vasta siinä vaiheessa, kun vaurio on jo edennyt. Tästä syystä valinta suoritetaan murtolujuuden perusteella. Materiaalia tulee myös pystyä koneistamaan, jotta kiinnitin voidaan valmistaa. Taulukkoon 4.2 on kerätty mahdollisia vaihtoehtoja kiinnittimen materiaaliksi, vertailumateriaaliksi on asetettu perinteinen S355 rakenneteräs.

Taulukko 4.2 Materiaalin valinta (Sten 2012, Ruukki 2012.)

Materiaali	Myötölujuus (N/mm ²)	Murtolujuus (N/mm ²)	Kovuus (Hb)	Aihio
S355	355	520	100-200	Koot tilauksesta
M315	X	1000-1200	280-350	Koot tilauksesta
Raex 500	1250	1600	450-530	Koot tilauksesta
W720	X	1550-2080 (erkautushehkutuksen jälkeen)	300 (toimitustilassa)	Koot tilauksesta
Lisätiedot: X= ei ilmoitettu				

Lopulliseksi materiaaliksi valikoitui RAEX 500, koska kyseisen materiaalin lujuusominaisuudet ovat todella hyvät. Tällä hetkellä käytössä olevaan materiaaliin verrattuna murtolujuus on 60 % suurempi. RAEX 500 on helposti saatavilla oleva materiaali, jota käytetään esimerkiksi kaivosteollisuuden tuotteissa, kun vaaditaan suurta lujuutta ja hyvää kulutuskestävyyttä. Materiaali toimitetaan

valmiiksi karkaistuna, jolloin lujuusominaisuudet ovat ilmoitetut jo toimitus vaiheessa. Koneistuksessa on huomioitava materiaalin kovuus, työstöarvojen osalta.

4.8 Lopullisen rakenteen valinta

Lopullisiksi rakenteen muutoksiksi valikoitui teräpalan pyöristys, taskun siirto ja teräpalan pidennys. Pyöristys valikoitui siksi, että se pienentää parhaiten lovenmuotolukua ja jännityksiä rakenteessa. Taskun siirrolla saadaan pienempi vaikutus aikaiseksi, mutta se on helppo toteuttaa samalla pyöristyksen kanssa. Teräpalan pidennys on tärkeä suorittaa, sillä tällä hetkellä rakenteen kestoikä lyhenee radikaalisti teroituksen takia. Teräpalaa tulee pidentää 20 mm, jolloin päästään eroon teräpalan aiheuttamasta jännitysten kasvusta. Mikäli pidennys ei ole mahdollista teräpään geometrian osalta, voidaan teräpäähän jyrsiä kolo, jotta pidempi teräpala mahtuu paikalleen. Kulman kasvatusta ei valittu, koska siihen voi liittyä ongelmia teräpalan kiinnipysymisen kanssa. Jos nykyiset muutokset eivät riitä, kannattaa tätäkin muutosta kokeilla.

Materiaalin valinnan osalta RAEX 500 erottautui joukosta lujuutensa ja yleisyytensä vuoksi. Jos koneistuksessa tulee ongelmia, kannattaa miettiä myös Böhlerin W720 valintaa. Haittapuolena tässä on kuitenkin se, että tämä materiaali vaatii lämpökäsittelyn koneistuksen jälkeen, mikäli halutaan päästä yhtä hyvään lujuuteen RAEX 500 kanssa. Tämä lisää työvaiheita ja näin hintaa valmiiseen tuotteeseen.

Taskun pinnan Ra-arvon parantaminen lisäisi myös väsymisen kestoa ja tähän voisi harkita hiomista. Vaikutus ei kuitenkaan ole yhtä suuri, mihin päästään jännityksien ja lovivaikutuksen kautta.

5 Yhteenveto

Työn kohde eli terän pidin oli konkreettiselta kooltaan melko pieni. Pieneen koonsa nähden siihen mahtui kuitenkin monenlaisia eri ongelmia ja ongelman ratkaisua tuli miettiä monesta eri näkökulmasta. Työn onnistuminen edellytti suurimmilta osin lujuusopin, FEM-laskennan ja materiaalin valinnan osaamista.

Mielestäni työ onnistui hyvin ja olen tyytyväinen muutoksilla saatuihin tuloksiin. Tässä vaiheessa tulokset perustuvat teoriaan, mutta uskon niiden toimivan myös käytännössä. Jos muutokset toteutetaan rakenteeseen, tällöin pystytään vertailemaan todellisia, teoreettisia arvoja ja saadaan näin lisänäkemystä työn onnistumisesta.

Työn seuraava vaihe olisi tehdä sarja kappaleita, joihin on tehty muutokset, ja asettaa ne testikäyttöön. Testikäytössä tulisi kirjata kestoiät ylös ja laskea niistä tämän jälkeen keskiarvo. Huomattava on, että teorian osalta ei ole oletettu liikkuvan Wöhler-käyrällä ikuisen kestoiän alueella, ja näin kestoiän laskuissa on käytetty jännityksien potenssina kolmosta. Todellisuudessa voidaan liikkua jo ikuisen kestoiän alueella. Tämä johtuu siitä, että lähtötiedoissa ei ole ollut tarkkaa tietoa rakenteeseen kohdistuneista voimista ja näin saadut arvot ovat suhteellisia. Tulevaisuuden kannalta voidaan alkaa miettiä, millä rakenteeseen kohdistuvat voimat saadaan selville, jotta laskennasta saataisiin tarkempaa.

Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja haastavaa läpi työn, koska kyseessä oli oikea suunnittelutehtävä. Lopputulokseen pääsemiseen tarvitsi monen eri osa-alueen taitoja, joita insinöörikoulutuksessa on käyty läpi. Aihe ja työ olivat siis molemmat onnistuneita.

Kuvat

Kuva 1.1 Sahalinja SL250 TRIO (HewSaw 2012), s. 6

Kuva 1.2 HewSaw- maailmanlaajuisesti (HewSaw 2012), s. 7

Kuva 2.1 Wöhler-käyrä, s. 9

Kuva 2.2 Smithin piirros (Lähteenmäki 2012, 5), s. 9

Kuva 2.3 Goodmanin piirros (Lähteenmäki 2012, 8), s. 10

Kuva 2.4 Säröä avaavan kuormituksen perustyytit (Pennala 2002, 368), s. 12

Taulukot

Taulukko 2.1 Pinnankarheus eri menetelmillä (Hasari & Salonen, 2006, 168), s. 15

Taulukko 4.1 Vaatimuslista, s. 20

Taulukko 4.2 Materiaalin valinta (Sten 2012, Ruukki 2012), s.33

Lähteet

Hasari & Salonen, 2006. Teknillinen piirtäminen. Helsinki: Otava

HewSaw, 2012. HewSaw. www.hewsaw.com, Luettu 8.4.2012

Lähteenmäki M. Elementtimenetelmän perusteet.
http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf, Luettu 10.4.2012

Lähteenmäki M. Elementtimenetelmän perusteet
http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/luj2_pdf/vasy_k.pdf, 5, Luettu 10.4.2012

Lähteenmäki M. Elementtimenetelmän perusteet
http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/luj2_pdf/vasy_k.pdf, 8, Luettu 10.4.2012

Pennala, E. 2002. Lujuusopin perusteet. Helsinki: Yliopistonkustannus/Otatieto Oy

Ruukki, 2012. Terästuotteet.
<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet>, Luettu 10.5.2012

Saarineva, J.1995. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy

Sten, 2012. Teräsvarastoluettelo 2012.
www.sten.fi/document.php/.../edd20c6e24931e00f8d13fabbfd40205, Luettu 10.5.2012