



Linjaraivaussahan konstruktio

3D-mallinnus ja lujuuslaskenta

Roman Mertechev

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2011
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehitys
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehitys

MERTECHEV, ROMAN: Linjaraivaussahan konstruktio, 3D-mallinnus ja lujuuslaskenta

Opinnäytetyön valvoja: Lähteenmäki, Matti
Opinnäytetyön tilaaja: Suomen Linjaraivaus Oy
Opinnäytetyö 59 s. Liitteet 23 s.
Maaliskuu 2011

Linjaraivaus on viimeisten vuosien aikana nostanut suosiotaan käytettävänä työkaluna sähkölinjojen raivauksen työkaluna. Se on nopea ja helppo tapa raivata sähkölinjat puhtaaksi vaikeissa olosuhteissa. Tämä on aiheuttanut tarvetta sahan kehitystyölle, jotta sen käytöstä saataisiin mahdollisimman tehokasta, turvallista ja helppoa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on laatia sahasta tekniset piirustukset, suorittaa lujuusopillinen tarkastelu ja selvittää linjaraivaussahan toimintaperiaatetta. Tarve syntyi työn tilaajan toimesta, jotta sahan työstö, kehittäminen ja siihen tehtävät muutokset voisi toteuttaa nykyistä yksinkertaisemmin. Dokumentointia on parannettava. Työn tavoitteena on laatia selkeät kuvat ja ohjeet, jotta saha voidaan myös tarvittaessa tilata alihankkijalta. Lisäksi työn tavoitteena on parantaa sahan toimivuutta ja ratkaista sen nykyisiä ongelmia sekä kehittää sen nykyistä rakennetta.

Tärkein työkalu on Autodesk Inventor Professional 2011-ohjelma, jolla suoritetaan konstruktion 3-D mallinnus ja lujuuslaskenta. Ongelmat on ratkaistu sahan valmistaneiden henkilöiden kanssa, palaverien ja uusien ideoiden avulla. Nykyiseen rakenteeseen on päästy yrityksen ja erehdyksen kautta testaamalla sahan erilaisia sovelluksia ja rakenteita.

Opinnäytetyö onnistui kaikin puolin hyvin. Ongelmat ratkaistiin nopeasti ja päätökset tehtiin ilman erimielisyyksiä. Opinnäytetyö ja CAD-mallinnukset ovat hyvä apu linjaraivaussahan jatkuvan kehitystyön selventämiseksi.

Asiasanat: mallinnus, linjaraivaus, saha, helikopteri, lujuuslaskenta, CAD, konstruktio

ABSTRACT

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Research and Development Engineering

MERTECHEV, ROMAN: Technical Modeling of a Helicopter Saw

Graduating thesis 59 pages, appendices 23 pages
March 2011

There has always been a need for keeping the power lines clean from forestry and snow. Line cleaning that utilizes helicopter with an attached saw has become more popular recently, as a tool for getting the job done. The reason for that is effectiveness and efficiency achieved in various rough environments known to man. This has raised the need for development of the saw that is being used in such work. The process needs to be made faster, better, safer and more efficient.

The main subjects of this thesis consist of making construction 3D-modelling pictures using CAD program, stress calculations and finally explaining the assembling and logistics of the saw. The need for this project was raised by the owner of the company that's providing the service. The biggest need was to make the development, production and assembly easier to modify and accomplish. Another purpose was to simplify documentation and develop the saw further, while achieving better results. The saw can now be manufactured by another company if needed.

The main program used for this thesis is Autodesk Inventor Professional 2011. All 3-D pictures and stress calculations are made with the aforementioned program. The problems encountered were solved with people involved in this project. The assembly has changed numerous times during the making of this thesis. The final assembly presented in this thesis has been achieved through try and error.

Thesis was successful as a whole. The problems encountered were solved fast and changes to assembly were made without any problems. The CAD-models and drawings are going to be a huge help for further development of the saw.

Keywords: 3D-modelling, line cleaning, helicopter, assembly, CAD, construction design, stress analysis.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Suomen Linjaraivaus Oy:lle, koska heidän linjaraivaussahasta ei ole olemassa teknisiä dokumentteja, eikä CAD-mallinnuksia. Opinnäytetyö tulee olemaan tärkeä väline tulevaisuudessa sahan tuotekehittelyn ja suunnittelun perustana. Tähän opinnäytetyöhön on käytetty sahan viimeisintä prototyyppiä.

Haluan kiittää Markku Oikaraista ja Pertti Matilaista mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö Suomen Linjaraivaus Oy:lle. Haluan kiittää työn ohjaamisesta Matti Lähteenmäkeä. Lisäksi haluan kiittää perhettäni suuresta tuesta koko opiskeluaikanani.

25.03.2011 Tampereella

Roman Mertechev

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
2 YRITYKSEN ESITTELY	8
2.1 SUOMEN LINJARAIVAUS OY	8
2.2 MIKSI HELIKOPTERIRAIVAUS	9
3 LINJARAIVAUSSAHAN KÄYTTÖ	10
3.1 HELIKOPTERI	10
3.2 POLTTOAINESÄILIÖ FINNCONT DTD-2000	13
3.3 SAHAN TOIMINTAPERIAATE	14
3.4 SAHAN KAUKO-OHJAUS	18
3.4.1 Sahan ohjauksen vastaanotin	19
3.4.2 Sahan ohjauksen ja moottorin virtalähde	20
3.5 ONGELMAT	21
4 KONSTRUKTION 3-D MALLINNUS	23
4.1 MOOTTORI	24
4.2 VOIMANSIIRTO	27
4.3 RUNGON KEHIKON MALLINNUS	28
4.3.1 Kehikon mallinnus CAD-ohjelmalla	30
4.3.2 Akselin ja kytkimen kiinnitys kehikkoon	32
4.4 TERÄKOKONAISUUS	33
4.4.1 Teräkokonaisuuden mallinnus CAD-ohjelmalla	34
4.4.2 Palkin kiinnitys kehikkoon	36
4.4.3 Teräyksikön kiinnitys palkkiin	37
4.4.4 Sahan terä	39
4.4.5 Sahan kokonaiskuva CAD-ohjelmalla	40
4.5 KIIINNITYKSET	41
4.5.1 Helikopterin vaijerikiinnitys	41
4.5.2 Puomien laippakiinnitys	42
4.5.3 Kehikon kiinnitys helikopteriin	43
4.5.4 Puomin ja kehikon yläosan kiinnikkeen kiinnitys	44
5 LUJUUSOPILLINEN TARKASTELU	45
5.1 FEM-ANALYYYSIN RASITUSKUVAT	46
5.1.1 Laippakiinnitys	46
5.1.2 Kehikon yläkiinnitys	47
5.1.3 Kehikon ja teräkokonaisuuden kiinnitys	50
5.2 JOHTOPÄÄTÖKSET	52
6 SAHAN KOKOONPANO	53
6.1 KULJETUS	53
6.2 PURKU JA KOKOAMINEN	54
6.3 HUOLTO	55
7. POHDINTA	56

LÄHDELUETTELO.....	58
LIITTEET.....	59

1 JOHDANTO

Linjaraivaussaha on helikopteriin kiinnitettävä vertikaalinen n. 15 metrinen moottorilla toimiva teräyksikkö. Sen tarkoituksena on varmistaa, että sähkölinjat ja niiden ympäristö pysyvät siisteinä kasvillisuudesta, kuten puista ja pensaista. Sahaus toteutetaan ilmasta, ohjaamalla helikopteria eteen – ja taakse tapahtuvan liikkeen avulla, jolloin saha katkaisee ylimääräisen kasvillisuuden sähkölinjojen lähetyviltä.

Helikopterin käyttö mahdollistaa työn teon jopa äärimmäisissä olosuhteissa, teiden sähkölinjojen raivauksesta helpompaa ja nopeampaa. Se on palvelun tilaajalle edullisempi vaihtoehto verrattuna moneen muuhun käytössä olevaan työtapaan. Sahauksen tarve on kasvanut hyvää vauhtia viimeisten vuosien aikana aiheuttaen tarvetta sahan kehitystyölle, jolla työprosessia voidaan entisestään parantaa ja tehostaa. Uusien sahojen valmistaminen ja niiden kehitystyö vaatii teknisiä piirustuksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia linjaraivaussahasta mahdollisimman tarkat 3-D piirustukset, kokoonpanokuvat ja lujuuslaskennat sahan kiinnityskohdille. Sahan mallinnus ja lujuuslaskennat suoritetaan Autodesk Inventor Professional 2011 CAD-ohjelmalla. Tiedostot annetaan työn luovutuksen yhteydessä Suomen Linjaraivaus Oy:lle, jotta kehitystyö ja muutokset sahan rakenteeseen olisi tulevaisuudessa helppo toteuttaa.

Työssä esitetään linjaraivaussaha ja sen toiminta. Tarkastelun kohteena ovat myös sahan kiinnityskohdat, jotka suoritetaan FEM-analyysinä. Lopuksi käydään läpi kuljetus ja sahan kokoamisprosessi, jotta linjaraivaus voidaan onnistuneesti toteuttaa. Tekniset piirustukset esitetään liitetiedostoina työn yhteydessä.

2 YRITYKSEN ESITTELY

Kappaleessa esitellään yritys, jonka tilauksesta opinnäytetyö on tehty. Tarkastelun kohteena on yrityksen syntyhistoria ja sen tarjoaman palvelun esittely.

2.1 Suomen Linjaraivaus Oy

Suomen Linjaraivaus Oy on perustettu 2010 vuoden alkuvaiheessa, ja se rekisteröitiin kaupparekisteriin 02.03.2010. Yritys perustettiin kahden henkilön toimesta, joten yhtiön muotona toimii osakeyhtiö, ja sen työntekijöinä on Pertti Matilainen ja Jussi-Pekka Heikkinen.

Linjaraivauskokemusta molemmilla henkilöillä on jo melkein 15 vuotta. Ensimmäiset lennot ja sähkölinjojen raivaukset helikopterilla suoritettiin jo vuonna 1998. Tämän lisäksi Pertti Matilaisella on tuhansia lentotunteja ja niiden tuoma kokemus sekä linjaraivauksessa vaadittava tarkkuus.

Yrityksen perustamistarve syntyi, koska työtarjouksien määrä kasvoi jatkuvasti. Toinen ratkaiseva tekijä oli sahan teknisten ominaisuuksien parantaminen ja etenkin sahan kokonaispaino oli saatava kevyemmäksi. Yrityksen toiminta on tehostunut vuosi vuodelta ja tulevaisuuden näkymät ovat erittäin suotuisat linjaraivauksen tarpeen lisääntyessä entisestään. Viimeisen kahden talven suuri lumimäärä on aiheuttanut entisestään lisätyötä, jotta sähkönjakelu voidaan turvata kotitalouksille. (Suomen Linjaraivaus Oy esite)

2.2 Miksi helikopteriraivaus

Sähkölinjojen läheisyyttä ja niiden ympärillä olevaa kasvillisuutta on raivattu ja leikattu ihmisvoimin useiden vuosikymmenien ajan. Työ on usein suoritettu lihasvoimin käyttäen moottorisahaa tai kirvestä. Viimeisen vuosikymmenen ajan käytössä on ollut erilaisia metsäkoneita avuksi raivauksen toteuttamiseksi.

Ihmisvoimin työ on raskasta ja todella paljon aikaa vievää, joten tästä johtuen työkorvaukset saattavat nousta erittäin korkeiksi. Metsäkoneen käyttö nopeuttaa työntekoa, mutta välillä kulkuyhteydet ovat olemattomat ja pääsy alueelle estyy teiden puutteen vuoksi. Maaston vaikeus ja lisäksi mahdoton pääsy linjojen läheisyyteen maateitse osoittautuu erittäin usein esteeksi ajoneuvoille ja traktoreille. Tähän oli keksittävä uusi ratkaisu, joista yksi osoittautui olevan helikopterilla toteutettava linjaraivaus.

Helikopterilla suoritettava sähkölinjojen läheisyydessä olevan kasvuston poisto, on tehokas tapa suorittaa raivausoperaatio. Kasvuston poisto (eli sahaus) suoritetaan ilmasta käsin, joten maasto ja kulkuyhteydet eivät ole esteenä. Työ tehdään usein nopeasti, jälki on siisti ja sähkölinjojen läheisyys pysyy vuosia puhtaana metsän kasvustosta. Helikopteriraivaus on kustannustehokas ratkaisu niille, jotka haluavat nopean, tehokkaan ja siistin tuloksen. Uudelleenraivauksen tarve on usein 5-7 vuoden kuluttua Vattenfallin tekemän ohjeen mukaisesti. (https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13313/Merkkiniemi_Heli.pdf?sequence=1.)

3 LINJARAIVAUSSAHAN KÄYTTÖ

Luku käsittelee linjaraivauksessa käytettävien kokonaisuuksien, kuten helikopterin, polttoainesäiliön toimintaa ja niiden roolia prosessissa. Tämän jälkeen esitellään linjaraivaus ja kerrotaan miten se tapahtuu käytännössä. Lopuksi kartoitetaan ongelmia ja tilanteita, joita voi syntyä sahauksen yhteydessä.

3.1 Helikopteri

Käytössä oleva helikopteri on MD500 (versio Hughes 369D). Alun perin helikopteri on suunniteltu USA:n armeijan käyttöön. Helikopterin MD500-versio on otettu käyttöön 1976, joka on kehitetty Hughes 500 alkuperäisestä 5-paikkaisesta versiosta. Uusi helikopteri oli teknisesti parempi kuin edeltäjänsä kaikilla mahdollisilla tavoilla. Versio 369D on kaksipaikkainen helikopteri, mutta sinne mahtuu myös tarvittaessa 3 henkilöä.

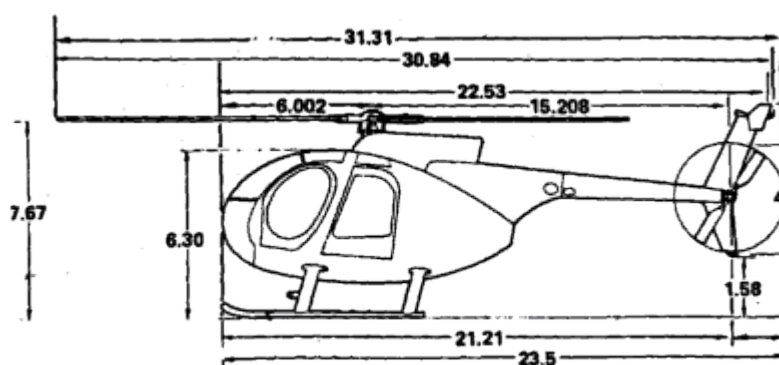


KUVA 1. Hughes MD500 (369D) (Kuva: Adrian Pingstone 2006)

Helikopterin käyttö Suomessa on keskittynyt erilaisiin työtehtäviin, joita ovat vesakontorjuntaruiskutukset, metsänlannoitus ja voimajohtolinjojen puiden sahaus.

Johtuen helikopterin loistavasta liikuteltavuudesta, ohjauksesta ja sen mahdollisuudesta laskeutua vaikealle maaperälle, oli se järkevä valinta sahauksen toteuttamiseksi parhaalla mahdollisella tavalla. Helikopterin ketterä käyttäytyminen ilmassa mahdollistaa tarkan sahauksen vaativissa olosuhteissa, kun vaaditaan tarkkuutta ja huolellista jälkeä.

Teknisesti helikopteri on edelleen yksi maailman parhaista pienistä helikoptereista. MD 369D on varustettu viisilapaisella pääroottorilla, T-pyrstöllä, Allison 250-C20B kaasuturbiinimoottorilla (420 hv) ja Bendix-polttoainejärjestelmällä. Helikopteriin voidaan asentaa tarvittaessa kuormakoukku, korkea jalaslaskuteline, kiinteä kelluketeline ja hätäkellukkeet, ns. Pop-Out-kellukkeet sekä pelastusvinssi. Linjaraivaussahauksessa helikopteriin on asennettu kiinnitykseen käytettävä koukku.



KUVA 2. Helikopterin mitat (mittayksikkönä jalka [ft])
(http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_md500.htm.)

Linjaraivauksessa käytettävän helikopterin on oltava mahdollisimman kevyt ja helposti ohjattava. Ylimääräinen paino vaikeuttaa sen liikkuvuutta ja ohjausta, joten ylimääräinen paino on poistettu. Voimme nähdä kuvan 2 ilmoittamista mitoista, että helikopteri ei ole kookas. Se on pieni ja suunniteltu teknisesti vaativiin töihin, joissa vaaditaan tarkkuutta. Helikopterin kokonaispituus on 7,16 m ja korkeus on 2,34 m.

Kuvassa 3 on esitetty helikopterin tekniset tiedot ja sen ominaisuudet. Kuvan ulkoasu on englanninkielinen ja monet sen mitoista on ilmoitettu Amerikkalais-ten standardien mukaisesti.

Type:	MD500 (Hughes 369D) Helicopter
Type Engine:	Allison 250-C20B turbo shaft 420 Horsepower
Crew:	1 pilot and up to 3 Scientists/Technicians
Service Ceiling:	12,500 feet (without supplemental oxygen) 16,000 feet (with supplemental oxygen)
Airspeed:	Hover to 156 knots
Max. Gross weight:	3,000 pounds (1361 kilograms)
Empty Weight:	1550 pounds (703 kilograms)
Useful Load:	1450 pounds (658 kilograms) (fuel, personnel, and cargo)
Fuel Load:	400 pounds (60 gallons) - standard fuel load 160 pounds (25 gallons) - additional capability with the addition of one auxiliary fuel tank
Type Fuel:	Jet A, Jet B, JP4, JP8
Fuel Burn Rate:	180 pounds/hour (~28 gallons/hour)
Range (normal):	225 Nautical miles ~2.2 hours @110 knots
Range (w/aux. fuel):	300 Nautical miles ~2.8 hours @110 knots
Dimensions (external):	Main rotor span - 26.41 feet Total length - 30.84 feet Tail height - 8.9 feet
Dimensions (internal):	42" Long x 42" Wide x 36" High
Useable Volumes:	Cabin - 30 cubic feet
Navigation:	GPS receiver Radar Altimeter VOR with DME Automatic Direction Finder (ADF)

KUVA 3. Helikopterin tekniset tiedot (pauna, jalka)

(http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_md500.htm.)

3.2 Polttoainesäiliö Finncont DTD-2000

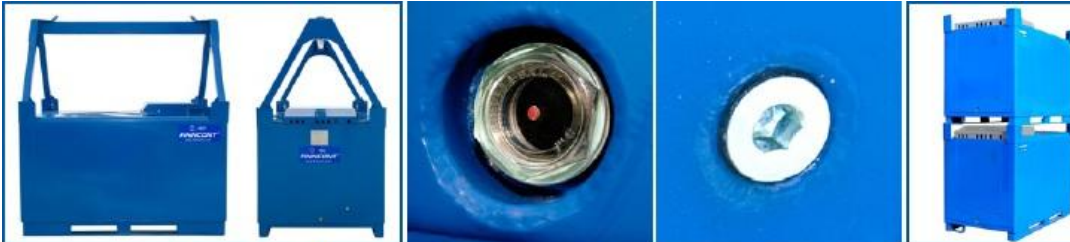
Sahauksen kesto saattaa vaihdella tunnista jopa neljään tuntiin kerrallaan.

Tämän vuoksi mukana on polttoainesäiliö Finncont DTD-2000, jonka tehtävänä on turvata polttoaineen riittävyys.



KUVA 4. Finncont DTD-2000 säiliö (Finncont)

Säiliön lisävarusteena on tankkausvarusteina jakeluletku ja –pistooli, polttoainemittari ja pumppu. Säiliö on myös varustettu tuplavaipalla ja valumaaltaalla vuodon hallintaan.



Tyyppi	Tilavuus (l)	Pituus L (mm)	Leveys W (mm)	Korkeus H (mm)	Korkeus H1 (mm)	Paino kg (tyhjä)	Materiaali
DTD-2000	2000	2045	1150	1310	1475	650	Teräs S355MC

KUVA 5. Finncont DTD-2000 säiliön tekniset tiedot (Finncont)

3.3 Sahan toimintaperiaate

Sahausprosessi lähtee käyntiin asiakkaan tilauksesta, jolloin tietoon saadaan sahattava alue ja sen sijainti. Asiakkaalle ilmoitetaan sahaukseen käytettävä aika, jolloin sovitaan työn ajankohta. Suomen Linjaraivaus Oy huolehtii sahauskaluston kuljetuksesta paikalle, jonka jälkeen tehdään taustatutkimus sahattavan alueen ongelmista ja mahdollisista esteistä, joita sahauksen edessä saattaa ilmetä. Työn suoritustapa, aikataulut ja sahaustarpeet valmistellaan jo ennalta. Aikataulu kerrotaan työn tilaajalle ja tehdään arviointi työn kustannuksesta asiakkaalle.



KUVA 6. Voimalinjat ennen sahausta (<http://www.helimatic.se>.)

Voimme todeta kuvan 6 avulla, että lumen määrän lisääntyessä oksat saattavat katketa, josta johtuen ne voivat katkaista sähkölinjoja. Tämä voi pahimmillaan aiheuttaa monen tunnin tai jopa päivien mittaisia sähkökatkoja asuinalueille. Se aiheuttaa todella pahoja lisäkustannuksia sähköyhtiöille, koska sähkölinjojen korjaaminen on usein pitkä ja kallis toimenpide.

Ongelmallisin aika on talvella, koska sähköä käytetään esim. lämmitykseen ja monen ihmisen päivittäiset askareet ovat vaarassa jäädä tekemättä sähkökatkoksesta johtuen. Kuvassa esiintyvän voimalinjojen läheisyydessä olevan kasvillisuuden poistoon linjaraivaus on nopea ja erinomainen keino puhdistaa voimalinjojen välitön läheisyys ja täten varmistaa sähkönjakelun jatkuvuus ilman ongelmia tai katkoksia.

Työn suoritus aloitetaan valmisteluiden jälkeen. Helikopteri tuodaan sahattavan alueen läheisyyteen, jotta sahan kiinnitys ja sahaus voidaan myöhemmin aloittaa. Turvallisuuden takia on aina varmistettava kiinnitykset ja puomin irrotuksessa käytettävän mekanismin toiminta. Helikopterin tarkastus on myös suoritettava ennen lennon aloittamista.

Lento aloitetaan tasaiselta paikalta, joka usein on esim. peltoalue. Tämä on esitetty kuvassa 7, josta näemme sahan puomin kiinnitettyinä helikopterin alle sijoitettavaan kiinnitykseen.



KUVA 7. Helikopteri valmiina lentoon (<http://www.helitour.fi>.)

Sahaus aloitetaan ilmasta, jolloin pilotti seuraa kollegansa antamia ohjeita. Maassa sijaitseva toinen henkilö, joka on voimalinjojen läheisyydessä, ohjeistaa pilottia sahauksen läpiviennissä. Tämä johtuu siitä, että pilotille tuottaa välillä vaikeuksia hahmottaa sahan tarkkaa sijaintia monen metrin korkeudesta.

Saha riippuu n. 18 m. päässä pilotin ohjaamosta ja koostuu 9 terästä, joiden sahauspinta-ala on melkein 10 m. Tästä johtuen yleensä riittää, kun sahataan kerta/puoli. Terien lukumäärän vuoksi juuri tarvittavat oksat ja ylimääräinen kasvillisuus saadaan raivattua ja poistettua.

Onnistunut linjaraivaus tuottaa kuvassa 8 nähtävän tuloksen. Kuva on otettu linjaraivauksen jälkeen täysin samasta kohdasta, joka näkyi aiemmin kuvassa 6.

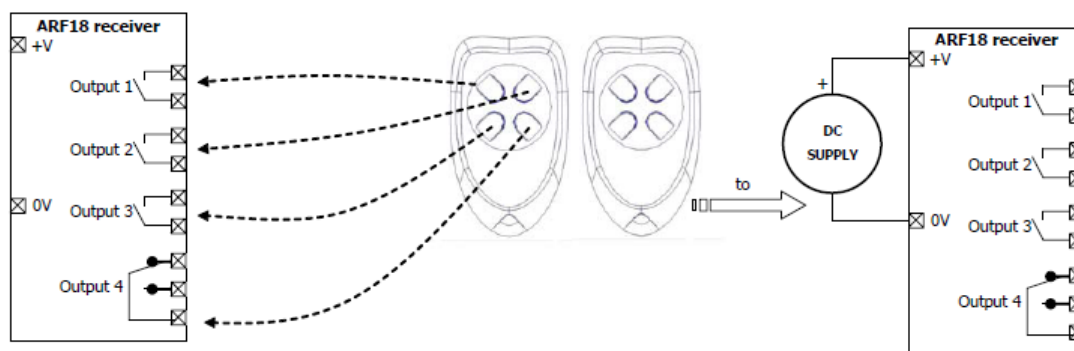


KUVA 8. Voimalinjat sahauksen jälkeen (<http://www.helimatic.se>.)

Kuvasta 8 voi nähdä, että putoava lumi ja liian pitkiksi kasvaneet oksat on eliminoitu ja raivattu. Sähkölinjat pysyvät ehjinä, eikä sähkökatkoksia edellä mainituista ongelmatilanteista johtuen tapahdu.

3.4 Sahan kauko-ohjaus

Sahan ohjaus tapahtuu ohjausjärjestelmällä, jonka on luonut ADEUNIS R.F. Se koostuu 4-näppäimisestä kaukosäätimestä (mallinumero ARF7291) ja vastaanottimesta (mallinumero ARF7341).

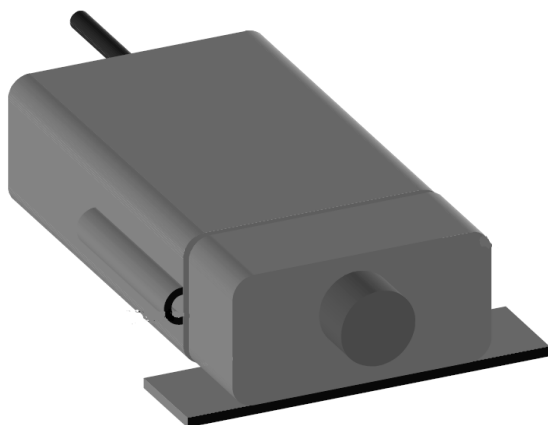


KUVA 9. Sahan moottorin ohjaus (ADEUNIS R.F.)

Ohjaus tapahtuu painamalla nappia 1, jolloin moottori käynnistyy. Moottori sammutetaan painamalla samaa nappia 1. Nappia 2 painamalla, saadaan kierros-luku asetetulle arvolle, sahan tapauksessa 3400 r/min. Napista 3 sahan kierros-luku lasketaan käyntinopeudelle. Ohjaus on erittäin yksinkertainen ja helppotoiminen, johon suunnitteluvaiheessa on pyritty. Lentäjällä täytyy olla mahdollisimman yksinkertainen sahan ohjaus, jotta keskittyminen itse helikopterin ohjaukseen säilyy tärkeimpänä tehtävänä.

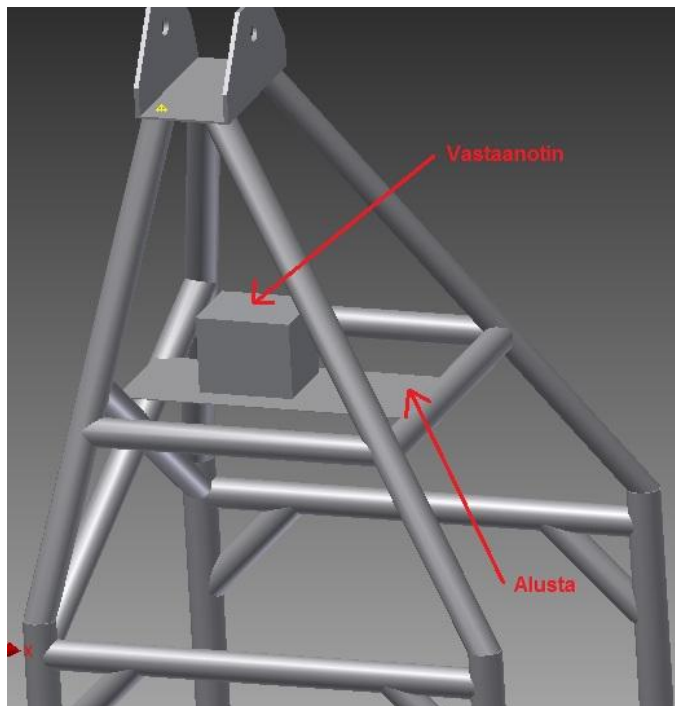
Helikopterilentäjällä on käytössä radiopuhelin, jonka kautta hän saa ohjeistusta maatasolla olevalta työntekijältä sahauksen onnistumisesta ja mahdollisista korjauksista lentoradan suhteen. Lentäjä saa myös informaatiota mahdollisista esteistä, vaikeista leikkuukohtista ja muista ongelmista joita sahauksen edetessä saattaa ilmetä. Maatasolla oleva työntekijä myös siivoaa isot oksat pois ja pitää huolen, ettei sahauksesta aiheudu vahinkoa sähkölinjoille tai niiden välittömään läheisyyteen.

3.4.1 Sahan ohjauksen vastaanotin



KUVA 10. Kauko-ohjauksen vastaanotin (ADEUNIS R.F.)

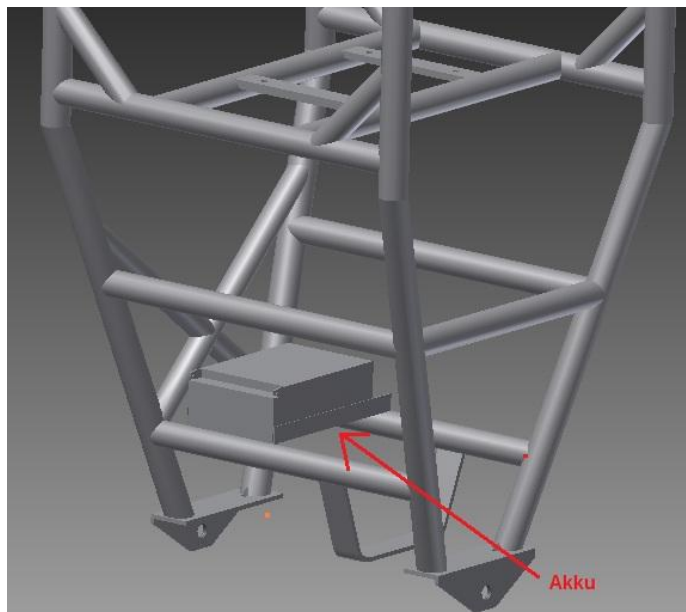
Vastaanotin, johon signaali kaukosäätimeltä tuodaan, sijaitsee moottorin alapuolella kiinnitettynä runkokehykseen. Ulkokuori on valmistettu muovista, josta johtuen ainoa turvallinen kiinnityspaikka sijaitsee runkorakenteen sisällä. Alusta on kiinnitetty paikoilleen remmeillä. Kiinnitys on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Vastaanottimen sijainti kehyksen sisällä

3.4.2 Sahan ohjauksen ja moottorin virtalähde

Kehyksen sisälle on myös sijoitettu akku, joka toimii moottorin käynnistyksen ja ohjauksen virtalähteenä. Käytössä on 12 V akku, joka on sijoitettu moottorin alapuolelle. Kiinnitys on toteutettu hihnoilla, jotka on sijoitettu akun ja alustan ympärille. Akun sijainti kehyksen sisällä on osoitettu kuvassa 12.



KUVA 12. Akun kiinnityspaikka kehikossa

Akun ja vastaanottimen kiinnityksessä olisi kehitettävää. Ruuveilla kiinnitetty alusta tai kenties eri sijoituspaikka kehikon sisällä voisi olla parempi ratkaisu. Akun koko voisi olla pienempi tulevissa sahan variaatioissa.

3.5 Ongelmat

Helikopterilla toteutettavaan raivaukseen liittyy myös ongelmia, jotka on otettava huomioon työtä tehdessä ja myös ennen sen aloittamista. Hyvän raivaustuloksen aikaansaamiseksi sääolosuhteet nousevat tärkeään rooliin. Hyvä näkyvyys, kohtalainen tai hento tuuli sekä tarvittava valaistus ovat ehdottomia tarpeita työn suorittamisen kannalta. Talviaikaan kova lumisade tai tuuli ovat rajoittavia tekijöitä, jolloin raivaus täytyy toteuttaa myöhemmin – yleensä seuraavana päivänä. Tämä johtuu vaikeuksista, joita helikopterin ohjaus ja sahan ylimääräiset liikkeet aiheuttavat huonojen sääolosuhteiden takia. Toinen ongelma on kasvillisuus ja etenkin tiheään kasvaneet puut/oksat, jotka keräävät todella suuria määriä lunta. Ne saattavat aiheuttaa ongelmia sahattaessa linjojen läheisyydessä, koska oksien putoaminen on aiheutettava niin, että ne eivät vahingoita sähkölinjoja.



KUVA 13. Kasvillisuuden aiheuttama ongelma (Kuvaaja: Kate Penn 2011)

Kuvassa 13 esitetty tilanne on kärjistetty esimerkki siitä, miten myrsky tai lumen painon vaikutuksesta puu voi kallistua tai jopa kaatua sähkölinjojen päälle. Kuvassa esiintyvää tilannetta pyritään juuri ehkäisemään oikein suoritettulla linjaraivauksella.

Ongelmatilanteita muodostavat myös sahaan ilmenevät tekniset ongelmat. Hihnojen katkeaminen on yleisin korjausta/huoltoa vaativa toimenpide. Se suoritetaan paikan päällä helpon vaihto-operaation vuoksi, joten sahaus voidaan saattaa loppuun asti. Huoltoa vaativat ongelmat, kuten ohjauksen ja moottorin viat vaativat yleensä vaativampia toimenpiteitä, jolloin sahaus täytyy keskeyttää. Vakavien ongelmien esiintyminen on kuitenkin erittäin harvinaista, josta johtuen linjaraivaus voidaan 95 % ajasta suorittaa täysin ilman minkäänlaisia ongelmia.

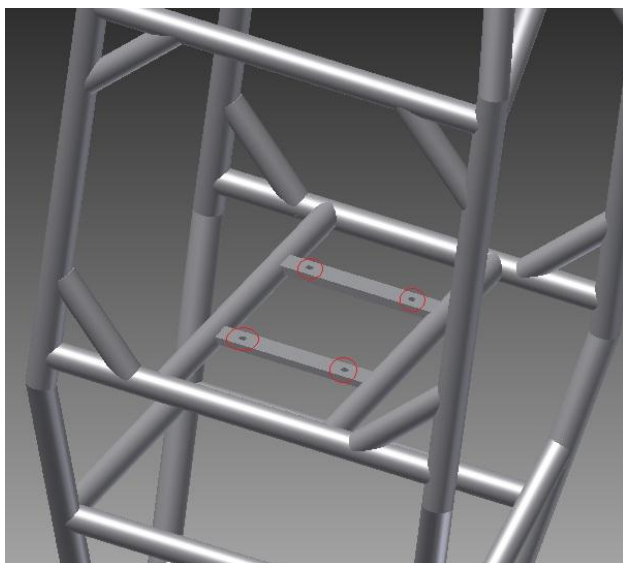
4 KONSTRUKTION 3-D MALLINNUS

Kappaleessa käydään läpi konstruktion CAD-mallinnus ja sahan eri osat, jotka on mallinnettu käyttäen Autodesk Inventor Professional 2011-ohjelmaa. Tutustutaan ensin sahassa käytössä olevaan moottoriin, joka toimii voimanlähteenä kaikille 9 terälle. Tämän jälkeen esitetään kehikko, joka on rakennettu moottorin ympärille ja sitten siirrytään itse teräkokonaisuuteen. Viimeisenä osiona esitetään konstruktion kiinnitykset ja puomi, jonka varassa saha riippuu helikopterin alla.

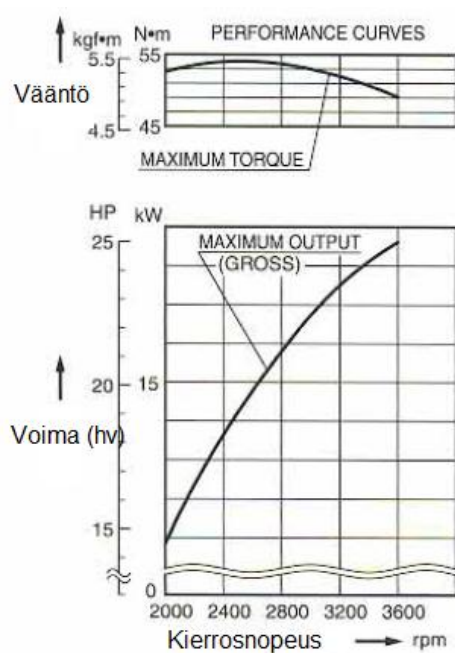
Työn liitetiedostoissa esitetään jokaisen kokonaisuuden piirustukset ja mitat, joiden avulla sahakokonaisuus voidaan tulevaisuudessa tilata alihankintatyönä. CAD-mallinnuksen tiedostot ja kuvat luovutetaan työn yhteydessä tilaajalle eli Suomen Linjaraivaus Oy:lle tulevaisuudessa tehtävää tuotekehitystyötä varten. Sahaan tehtävät muutokset ovat tästä johtuen helposti päivitettävissä sähköisesti, jotta dokumentaatio pysyy ajan tasalla.

Tarvittaessa uusien kokeilujen simulointi ja esim. tulevaisuudessa tehtävät materiaalimuutokset ovat kokeiltavissa etukäteen CAD-ohjelman avulla. Tämä tulee säästämään tulevaisuudessa aikaa, rahaa ja kehitystyöstä aiheutuvia työtunteja.

Konstruktion mallinnuksessa esiintyi ongelmia, koska monet konstruktion osista on valmistettu käsityönä. Ongelman ratkaisemiseksi päädyttiin käyttämään mittoja, joita voi helposti noudattaa osien valmistuksessa. Tärkeimmät ominaisuudet, joita sahalta vaaditaan, ovat sen keveys, mahdollisimman pieni koko ja kiinnitysten varmuus- sekä kestävyys.



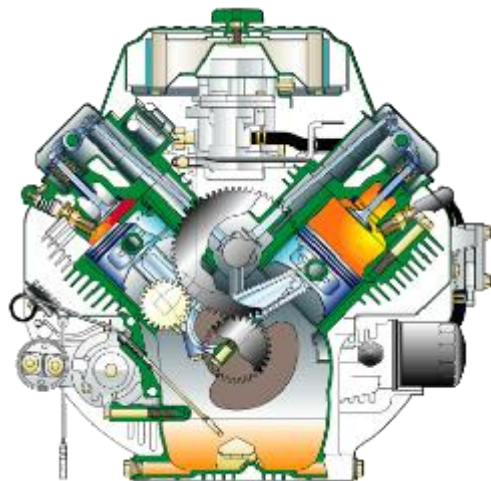
KUVA 15. Moottorin kiinnitys kehon sisällä



KUVA 16. Moottorin tehokäyrät (Robinamerica)

Moottorin yleisin käyttöalue on 3400 r/min. Silloin moottori tuottaa n. 23 hevosvoimaa, joten tehoa on vielä varalla hitusen verran. Kaikkea tehoa ei ole tarvetta ottaa ulos, koska sirkkeliä leikkuuteho riittää erinomaisesti oksien katkaisuun. Sahan käynnistämisen yhteydessä ilmenee kuitenkin puutetta moottorin suorituskyvyn kanssa.

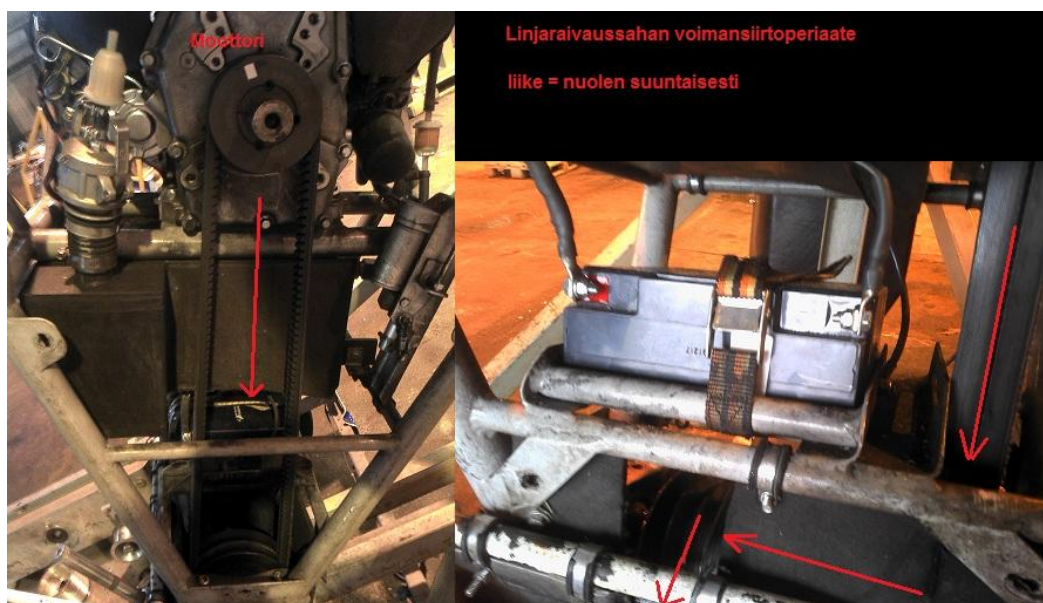
Sahan kaikki yhdeksän terää vaatisivat suuremman vääntömomentin, koska niiden hitausmomentit ovat sen verran suuret, että viimeisen terän kiihdyttäminen optimaaliseen nopeuteen kestää jopa muutaman minuutin. Nopeus saavutetaan kuitenkin vaivattomasti, joten tarvetta suuremmalle teholle ei vielä ole. Moottorin poikkileikkaus on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Subaru EH72 DS-moottorin poikkileikkaus (Robinamerica)

4.2 Voimansiirto

Linjaraivaussahan voimansiirto toteutetaan erittäin yksinkertaisesti. Moottorin akselilta lähtevä voima viedään kiilahihnan avulla akselille, joka sijaitsee kehi-
kon alaosassa. Tämä välittää pyörimisvoiman toiselle akselille, jossa sijaitsee
kiilahihna. Tämä kiilahihna pyörittää ensimmäistä terää. Näin moottorilta tuo-
daan pyörimisnopeus terille. Tapahtuma on esitetty kuvassa 18.



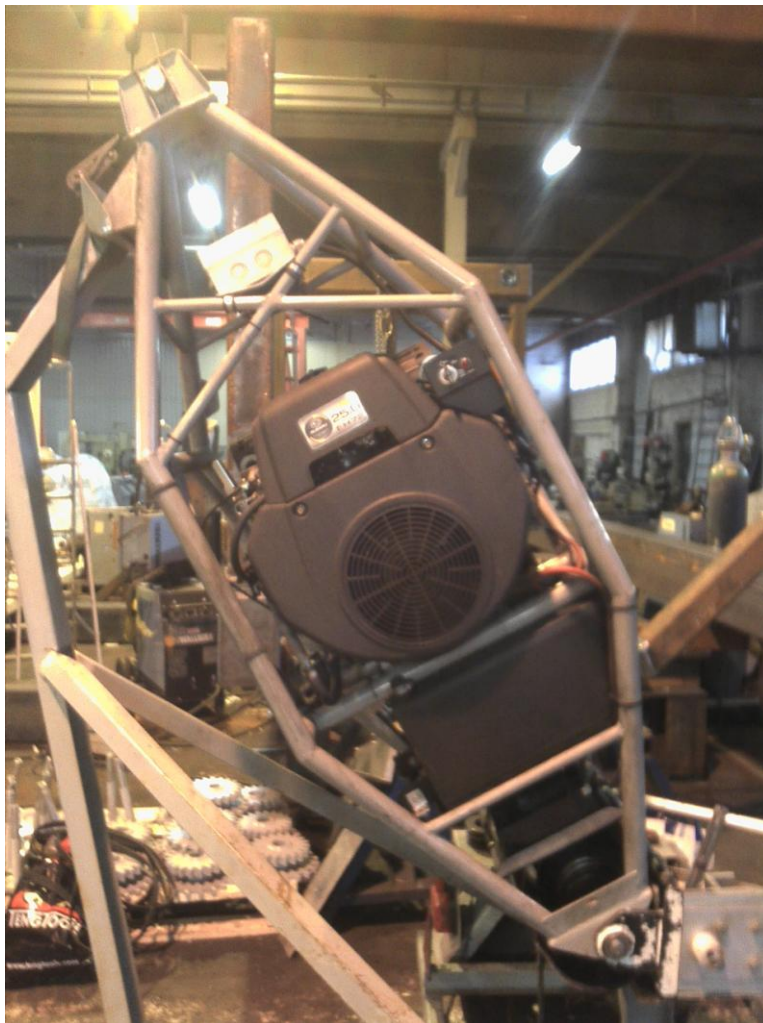
KUVA 18. Voimansiirto moottorilta terille kiilahihnojen avulla

4.3 Rungon kehikon mallinnus

Kehikko, jonka sisällä moottori sijaitsee, on valmistettu käsityönä. Materiaalina on käytetty teräsputkea S355 (d=35 mm.) sen keveyden, hyvän hitsattavuuden ja lujuuden vuoksi. Kehikko on mitoitettu niin, että moottori voidaan sijoittaa ja kiinnittää sen sisälle. Kehikon mitat eivät ole tarkkoja, vaan ne on mitoitettu käyttäen rullamittaa.

CAD-mallinnuksessa on käytetty kokonaislukuja, joten valmistuksessa ei vaadita liian tarkkaa mittatyön jälkeä. Virhemarginaali voi olla jopa useita millimetrejä, koska moottorin kiinnitys suoritetaan vain neljästä kohdasta, jotka sijaitsevat kehikon sisällä. Kehikko on toisin sanoen mallinnettu täysin moottorin ja sen eri osien, kuten bensiinitankin, akun ja kauko-ohjauksen vastaanottimen mukaisesti.

Kehikon tärkein tehtävä on suojata moottoria, kytkintä ja elektronisia laitteita. Oksien, lumen ja käpyjen vuoksi kehikko on päällystetty kovamuovista valmistetulla suojakotelolla. Sen kiinnitys ja irrotus tapahtuu kehikkoon sijoitetuista kiinnityskohdista, joita on 4 kappaletta, tehden kiinnityksestä nopean ja helppokäyttöisen. Opinnäytetyöhön ei ole mallinnettu suojakoteloa, jotta kehikon rakenne saadaan esitettyä kokonaisuudessaan.



KUVA 19. Linjaraivaussahan kehikon rakenne

Kuvassa 19 on esitetty kehikon rakenne sivulta katsottuna. Kehikon yläosassa sijaitsee vastaanotin, jonka tehtävänä on ohjata moottorin toimintaa. Keskellä sijaitsee Subarun moottori, joka on kiinnitetty poikittaispalkkeihin neljällä mutterilla. Moottorin alapuolella sijaitsee akku, josta saadaan virta moottorin käynnistämiseksi.

4.3.1 Kehikon mallinnus CAD-ohjelmalla



KUVA 20. Kehikko mallinnettuna Autodesk Inventor CAD-ohjelmalla

Kuva 20 esittää kehikon rakenteen ja miten mallinnus toteutettiin. Kehikko on valmistettu käsityönä, joten mittoja tai piirustuksia ei ole ennestään saatavilla. Mitat on otettu pajalla omakätisesti käyttäen Stanley Fat Max 5 metrin rullamittaa.

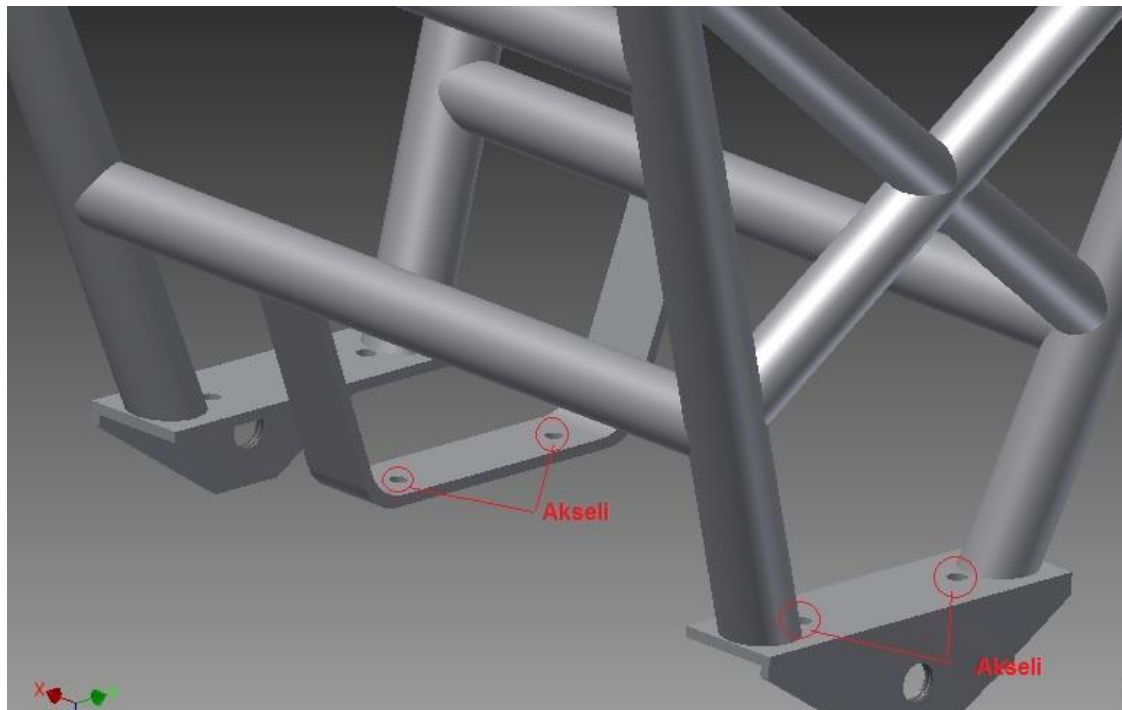
Mittaustavasta johtuen virhemarginaali saattaa olla usein jopa muutamia millimetrejä. Kehikon tärkein tehtävä on moottorin suojaus, joten tästä johtuen moottorin kiinnityspaikat on tarkasti mitoitettu. Kiinnityskohdat on esitetty aikaisemmin kuvassa 15.

Kehikon tukirakenne, joka on esitettyä kuvassa 20 vasemmalla puolella, on valmistettu taivuttamalla 35 millimetrin halkaisijaltaan olevaa pyöreää putkea kuvassa 20 esitettyyn muotoon. Tukirakenteen säkäkorkeus on n. 1,6 metriä. Kehikon yläpäähän hitsattuun kiinnityskohtaan kiinnitetään puomi. Kehikon alaosassa sijaitsevat kaksi kiinnikettä on hitsattu kehikkoon. Niiden tehtävänä on toimia kiinnityskohtana teräkokonaisuuden ja kehikon välillä. Molemmat kiinnikkeet ovat helposti nähtävissä kuvassa 21. Teräkokonaisuuden kiinnitys kehikkoon toteutetaan kahdella M18-pultilla.

Kuvan 20 oikealla puolella on esitetty tukirakenteeseen hitsattavat putket, joiden pääasiallinen tehtävä on antaa kehikon rakenteelle tukea. Ne antavat myös mahdollisuuden sijoittaa kehikon sisälle tarvittavat komponentit, kuten mm. akku, vastaanotin, voimansiirtoakseli ja kytkin.

Kehikkoon hitsattavien putkien halkaisija on 32 millimetriä. Tukirakenteeksi valittiin pienempi halkaisija, koska näin paino saadaan pidettyä mahdollisimman alhaisena ja saha kevyenä. Hitsisauman a-mitta on n. 1,5-2 mm. suuruusluokkaa. Hitsi on tehty MIG/MAG-hitsauslaitteistoa käyttäen. Putkien etäisyydet ja niiden sijainti kehikossa on ilmoitettu liitetiedostoina työn lopussa.

4.3.2 Akselin ja kytkimen kiinnitys kehikkoon



KUVA 21. Akselin ja kytkimen kiinnitys kehikkoon

Kehikon alapuolelle sijoitetaan akseli, johon tuodaan moottorin tuottama vääntömomentti. Kytkimestä voima siirtyy seuraavalle akselille, josta se vie kiilahihnan avulla suoraan terille hihnojen avulla. Kiinnitys on esitetty kuvassa 21. Kiinnitykseen käytetään M8 pultteja, joita on yhteensä 4 kappaletta.

Kehikkoa mallinnettaessa esiintyi paljon ongelmia. Mitat olivat epätarkkoja ja putkien hitsaussaumot, kiinnityskohdat ja niiden sijainti aiheuttivat paljon haastetta. Työn etenemiseksi oli tehtävä kompromisseja ja pyöristettävä joitain mittoja, jotta kehikko saataisiin mahdollisimman selkeärakenteiseksi ja helpommin valmistettavaksi. Työn liitetiedoissa on esitetty valmistuskuvat ja tekniset piirustukset, joiden avulla kehikko voidaan tarvittaessa tilata alihankintatyönä.

4.4 Teräkokonaisuus

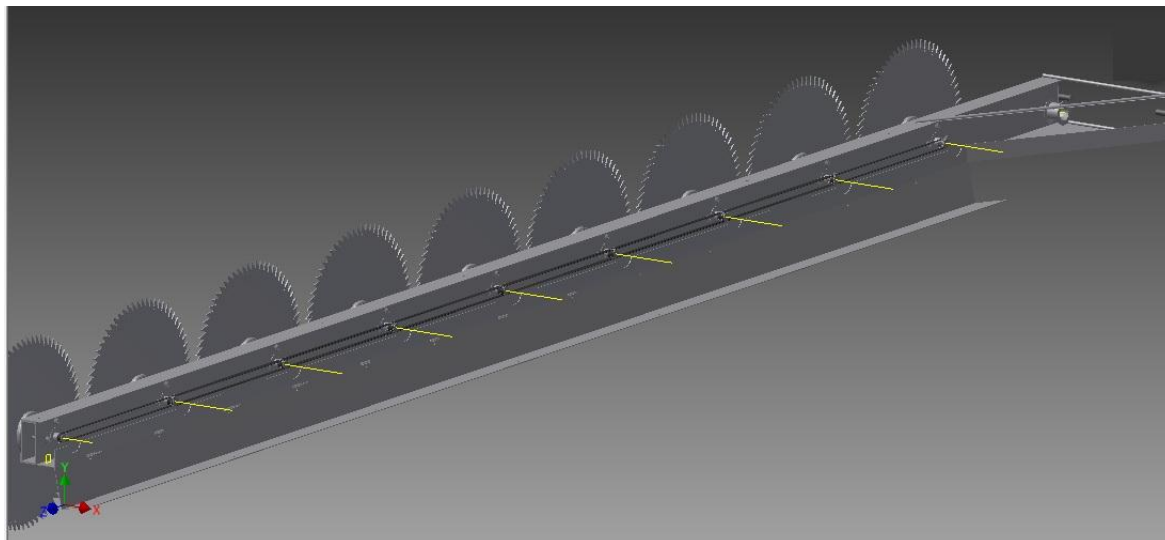
Teräkokonaisuus on se linjaraivaussahan osa, johon terät kiinnitetään. Sen tehtävänä on toimia suojakotelona hihnoille ja tukirakenteena, johon sijoitetaan terät ja teräyksiköt. Teräyksiköt ovat se osa, johon kiilahihnojen avulla tuodaan moottorilta lähtevä momentti. Akselilta voima siirretään hihnoja pitkin terille, jotka pyörivät haluttua kierrosnopeutta. Alla on esitetty kuva teräkokonaisuudesta, johon on kiinnitetty viisi sahan terää. Kuvassa 22 näkyy kiinnityskohta kehikkoon ja terien sijainti.



KUVA 22. Kehikko ja osa teräkokonaisuutta

Teräkokonaisuus koostuu monen eri osan kokoonpanosta. Palkki, johon kiinnitetään terät, terälaipat, kiristyspyörä, hihnapyörät, hihnat, akselit ja suoja on esitetty kokonaisuutena kuvassa 24. Palkin materiaalina on käytetty alumiiniseosta Tibnor AW6060-T6, sen keveyden vuoksi ja suhteellisen hyvän kestävyuden vuoksi. Se on yksi eniten käytettyjä alumiiniseoksia, joita on tarjolla. Edullinen hinta ja loistava työstettävyys olivat myös suurena vaikuttavana tekijänä materiaalin valinnassa, koska teräpalkilta ei vaadita suuria kestävyysarvoja.

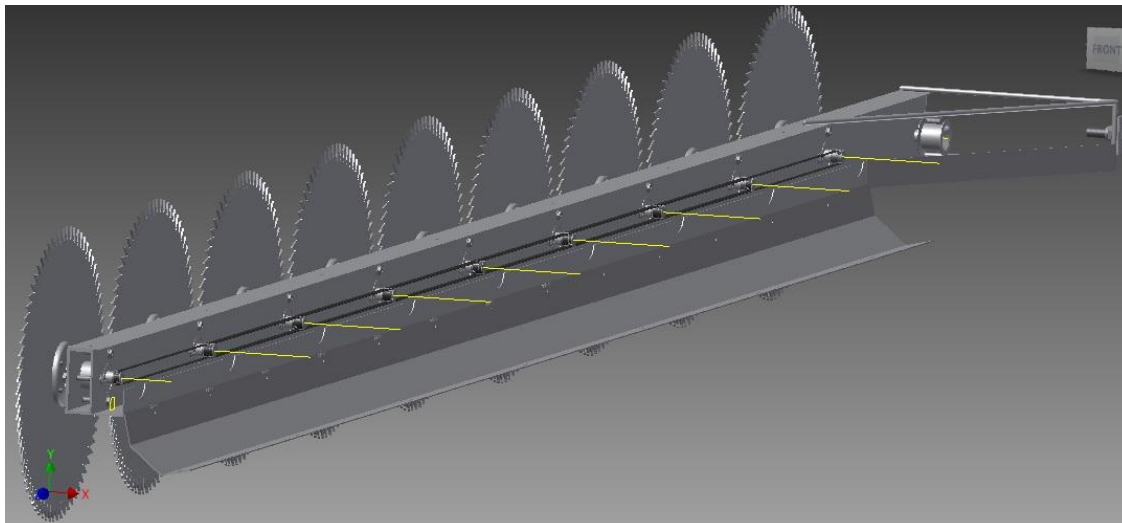
4.4.1 Teräkokonaisuuden mallinnus CAD-ohjelmalla



KUVA 23. Teräkokonaisuus auki olevalla vanhalla suojalla

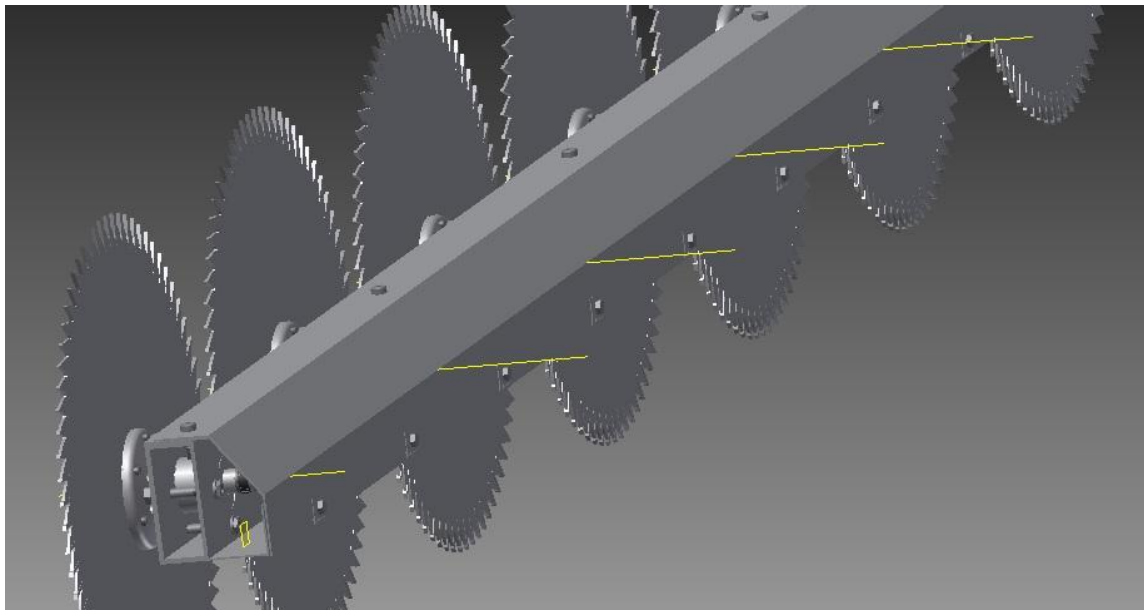
Teräkokonaisuus koostuu yhdeksästä terästä ja sen kokonaispituus on n. 4,9 m. Terät kiinnitetään palkkiin, johon on sijoitettu yhdeksän reikää 560 mm välein. Palkin tehtävänä on suojata hihnoja katkenneilta oksilta ja epäpuhtauksilta. Kuvassa 24 on nähtävissä suojaläppä, joka on auki. Sen kiinnitys alhaalta on toteutettu saranoilla, joita on yhteensä 12 kappaletta. Yläkiinnitys toteutetaan sen sijaan pikaruuveilla, joita on kahdeksan kappaletta. Palkin nelikulmaisen muodon vuoksi päätettiin muuttaa sen rakennetta. Uusi suoja on ”puolikas 8-kulmainen”, joka on myös esitetty kuvassa 24.

Vanha suoja on esitetty kuvassa 23 ja sen rakenne on nelikulmainen. Sen käytöstä luovuttiin, koska neliömäinen rakenne aiheutti paljon iskuja teräkokonaisuuteen.



KUVA 24. Uusi teräkkokonaisuuden suoja

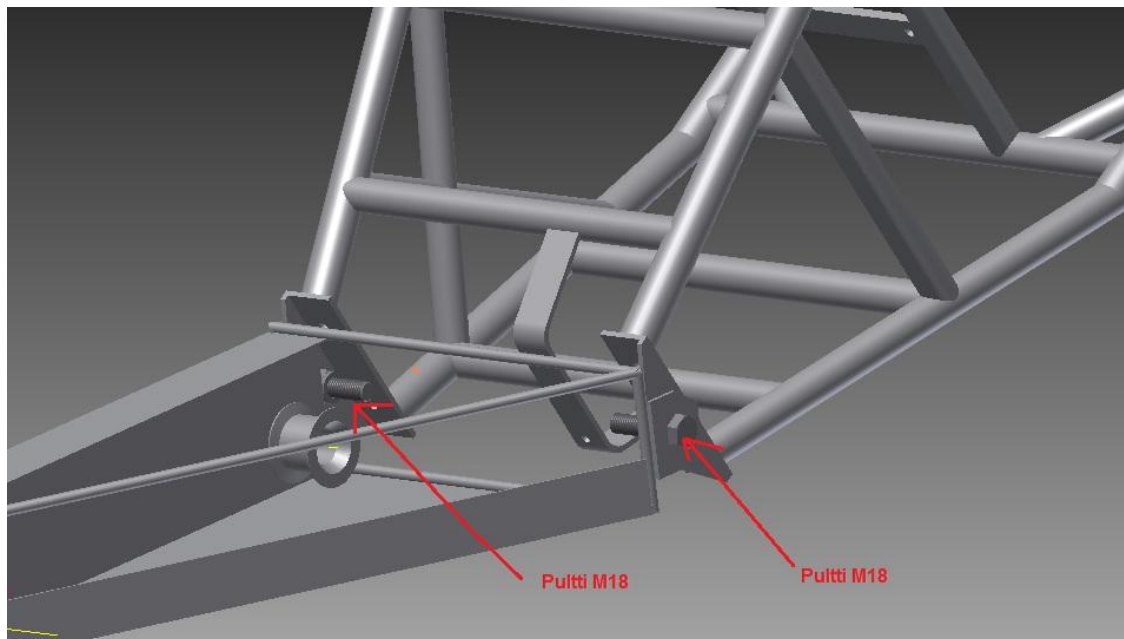
Ratkaisuun päädyttiin, koska edellinen suoja otti liikaa iskuja vastaan sen neliskulmaisen rakenteen vuoksi. Alkuun ideana oli tehdä pyöreä suojaläppä, mutta kanttaamalla valmistettava suojaläppä on sekä halvempi, että helpompi valmistaa. Päädyttiin ”viistoon” kulmaan, joka valmistetaan kanttauskoneella. Uusi ratkaisu mahdollistaa paremman sahauksen, koska suojaläppään kohdistuu vähemmän kovia iskuja sen uuden rakenteen vuoksi. Oksat liukuvat paremmin syrjään pois tieltä suojan kulman takia. Kuvassa 25 on esitetty uusi suojaratkaisu, johon päädyttiin.



KUVA 25. Teräkokonaisuus uuden suojan ollessa kiinni

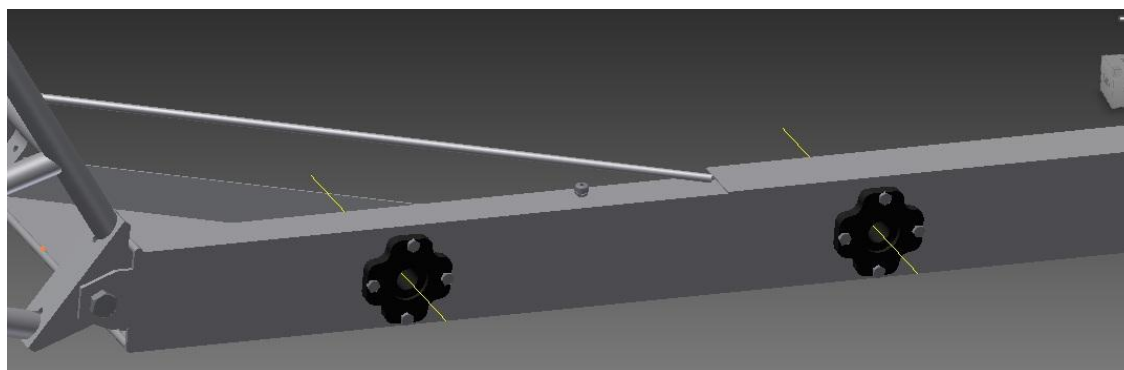
4.4.2 Palkin kiinnitys kehikkoon

Palkki kiinnitetään kahdesta kohdasta kehikon alapuolelle. Kiinnityksessä on käytetty kahta M18 ruuvia, jotta kiinnitys kestäisi iskut ja teräkokonaisuudesta aiheutuvan painon. Pultit ovat standardiosia, joita saa rautakaupasta. Pultit vaihdetaan tietyin väliajoin, jotta mahdolliset väsymiset ja vauriot eivät aiheuttaisi vaaratilanteita tai ongelmia kiinnitykseen. Pultit ovat tarkoituksella ylimitoitettuja, jotta ne kestävät rajujakin kuormia ja iskuja. Kiinnitys ei ole pettänyt kertaakaan. Pultit ja kiinnitys on esitetty kuvassa 26.



KUVA 26. Teräspalkin kiinnitys kehikkoon

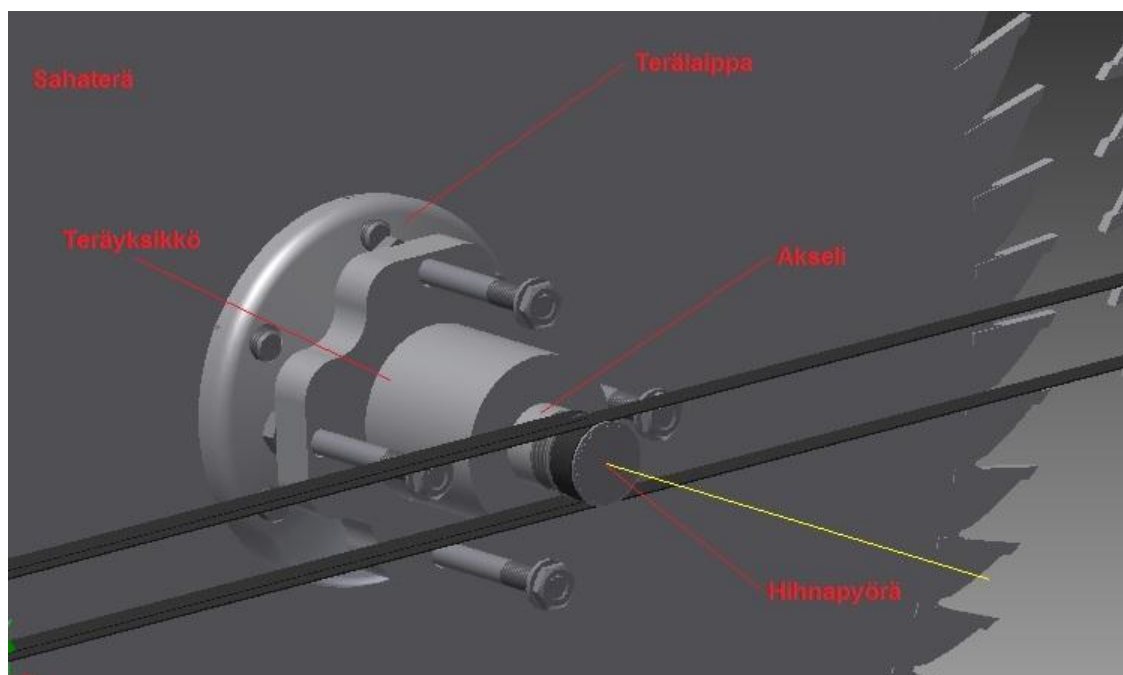
4.4.3 Teräyksikön kiinnitys palkkiin



KUVA 27. Teräyksikön kiinnitys palkkiin

Teräyksikkö on kiinnitetty neljällä ruuvilla teräkokonaisuuteen. Kiinnityksen ja teräyksikön voi nähdä kuvasta 27, jossa esitetään kaksi teräyksikköä. Niiden sisältä kulkee akseli, jonka toiseen päähän kiinnitetään hihnapyörä ja toiseen päähän sijoitetaan laippa. Terä kiinnitetään laippaan kuudella ruuvilla.

Akseli, jonka päähän on kiinnitetty hihnapyörä, sijaitsee teräyksikön sisällä. Laakerointi on hoidettu voitelulla ja kuulalaakereilla. Näin akseli voi pyöriä teräyksikön sisällä ilman kulumista tai hankausta. Hihnapyöriä pyörittävät kiilahihnat, joita on kaksi pyörää kohden. Ainoastaan viimeistä ja ensimmäistä hihnapyörää pyörittää yksi kiilahihna. Voimansiirto tapahtuu, kun hihna siirtää voiman pyörään ja toinen hihna vie sen eteenpäin seuraavalle pyörälle jne. Hihnoina käytetään Optibelt XPA-sarjan kiilahihnoja.

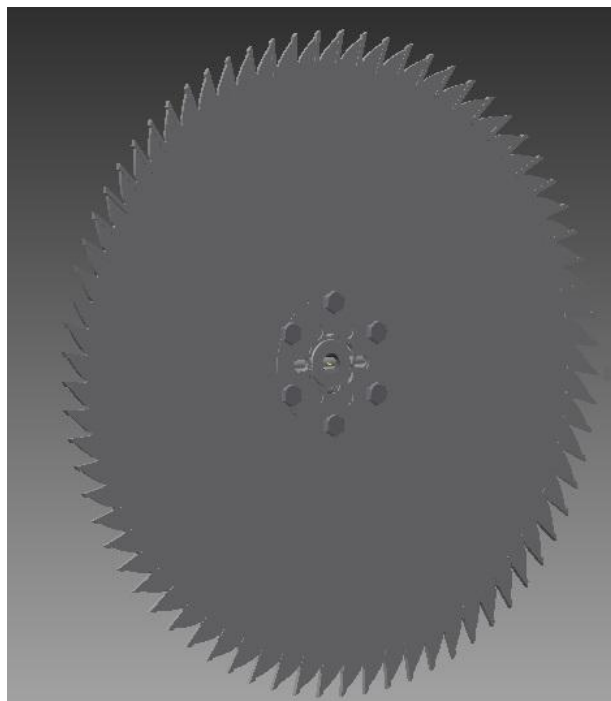


KUVA 28. Teräyksikön osat

Kuvasta 28 voi nähdä, kuinka teräyksikkö koostuu monen eri osan kokoonpanosta. Kuvasta näkyy sen eri osat ja voimansiirron periaate hihnojen avulla.

4.4.4 Sahan terä

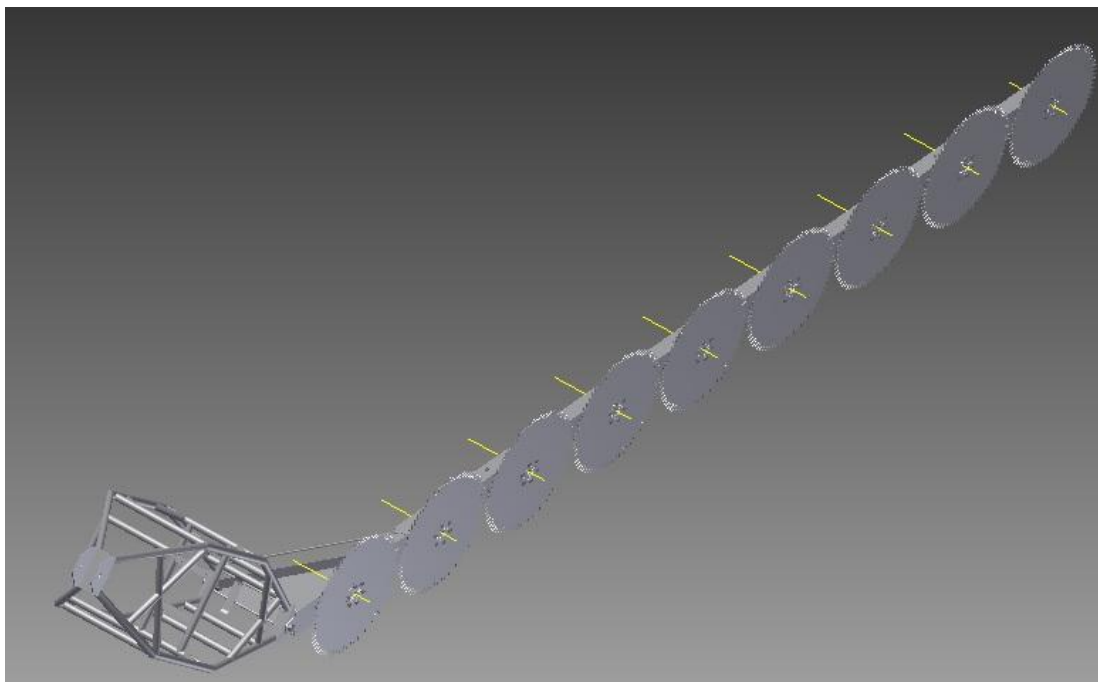
Sahan terinä on käytössä alihankintana tilattuja teriä, joita on yhteensä yhdeksän kappaletta. Ne sisältävät 72 hammasta, joissa kaikissa on kovapalaterät. Terien vahvuudet ovat 3 mm. ja hampaiden leveydet 4 mm. Kiinnitykseen käytetään M8x25 pultteja, joita on yhteensä kuusi kappaletta terää kohden. Terä on esitetty kuvassa 29.



KUVA 29. Sahan terä

4.4.5 Sahan kokonaiskuva CAD-ohjelmalla

Sahan kokonaiskuva CAD-mallinnuksen jälkeen on esitettyä kuvassa 30. Siinä näkyy kehikko, johon on kiinnitetty palkki. Palkissa sijaitsevat kaikki yhdeksän terää, jotka ovat kiinnitettynä teräkokonaisuuksiin.



KUVA 30. Linjaraivaussahan valmis 3D CAD-mallinnus

4.5 Kiinnitykset

Kappaleessa käydään läpi linjaraivaussahan tärkeimmät kiinnityskohdat. Jokainen kiinnitys esitellään erikseen ja niitä myös tarkastellaan tarkemmin konstruktion erillisinä osina.

4.5.1 Helikopterin vaijerikiinnitys

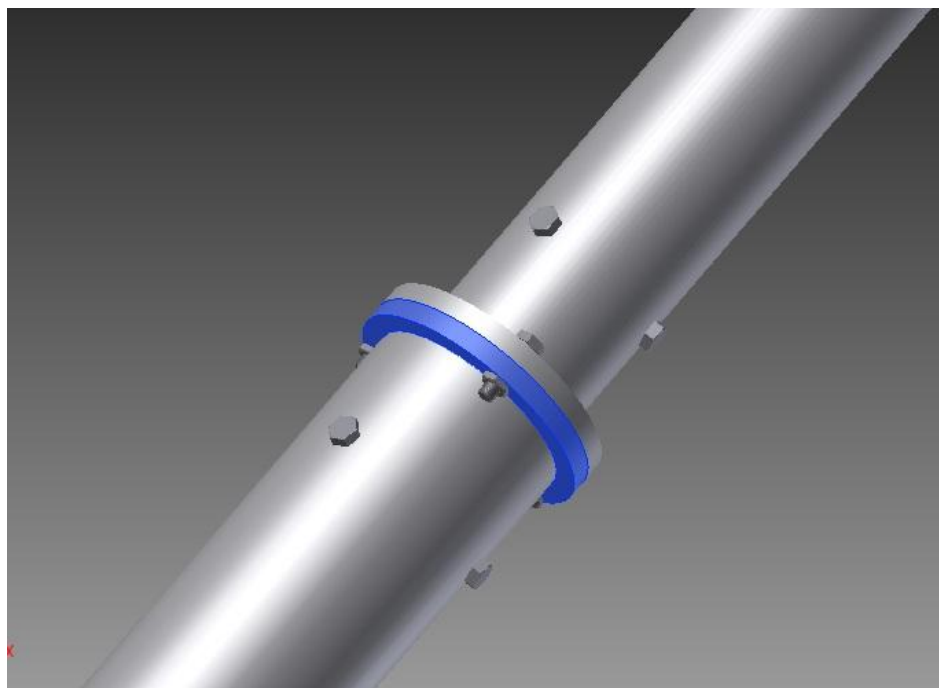
Kehikko kiinnitetään helikopterin pohjassa sijaitsevaan kiinnikkeeseen. Helikopterissa sijaitseva poikittaispalkki toimii myös laukaisumekanismina, joka halutessaan voidaan irrottaa vaaratilanteen sattuessa. Pilotti laukaisee mekanismin, joka päästää holkin putoamaan ja tämä puolestaan aiheuttaa sahan irrotuksen helikopterista. Järjestelmä on toimiva ja yksinkertainen, eikä vaadi sähköistä laukaisumekanismeja. Saha on saatava pudotettua helikopterin kyydistä, jos tilanne sitä vaatii.



KUVA 31. Helikopterista roikkuvan vaijerin kiinnike (Kuvaaja: Matilainen 2010)

4.5.2 Puomien laippakiinnitys

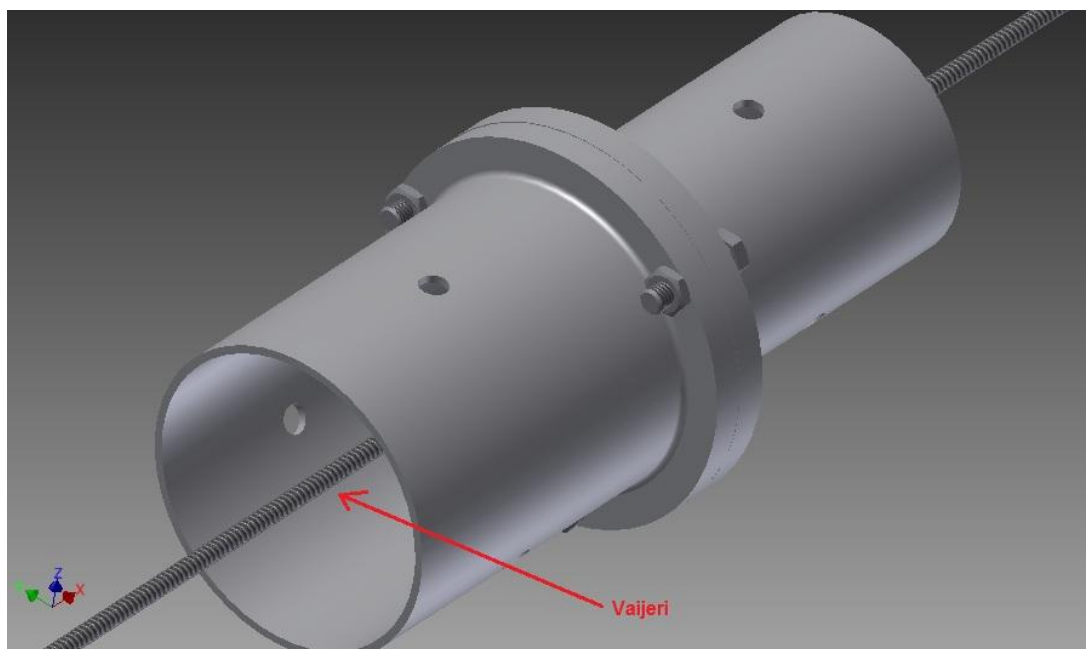
Puomi jonka sisällä sijaitsee vaijeri, johon kehikko kiinnitetään, on 15 metriä pitkä. Se koostuu kahdesta erikokoisesta putkesta, jotta sahan kuljetus sahauspaikalle helpottuu. Puomien kiinnitys on toteutettu kahdella laipalla, jotka kiinnitetään toisiinsa pulteilla. Kiinnitys puomien ja laippojen välille on toteutettu yhteensä kuudella M8 pultilla, jotka ruuvataan laippojen ja puomien läpi. Laipat ovat myös kiinnitettynä toisiinsa M8- pulteilla. Kiinnitys on tarvittaessa helppo avata ja sulkea, jotta sahan kokoaminen sahauspaikalla saadaan valmiiksi mahdollisimman nopeasti.



KUVA 32 Puomien laippaliitos

4.5.3 Kehikon kiinnitys helikopteriin

Helikopterin alla sijaitsevasta kiinnityskohdasta alkaa 8 metriä pitkä puomi, jonka halkaisija on 80 mm ja seinämäpaksuus 2,5 mm. Materiaalina toimii Tibnorin AW6063-T6 Al Mg-seos, joka on erittäin kevyttä ja hyvin kestävä materiaalia. Sen murtolujuus on vähintään 245 MPa luokkaa. Puomin alaosassa 8 metrin päässä sijaitsee laippa, johon kiinnitetään toinen puomi. Toinen puomi on 7 m pitkä ja sen halkaisija on 100 mm ja seinämäpaksuus 2 mm. Materiaali on sama kuin edellisessä puomissa. Alla sijaitseva puomi kiinnitetään kehiin M20 ruuvilla. Puomin sisällä kulkee teräs vaijeri, jonka varassa saha riippuu. Tämä on esitetty kuvassa 33. Vaijeri kiinnitetään alhaalla sijaitsevaan M20 ruuviin. Käytössä oleva vaijeri kestää usean tonnin suuruisia kuormia, josta johdettua vaijerin katkeamisen suhteen ei ole vaaraa.



KUVA 33. Puomin sisällä kulkeva vaijeri

4.5.4 Puomin ja kehikon yläosan kiinnikkeen kiinnitys

Puomin alaosa kiinnitetään kehikon yläosassa sijaitsevaan nelikulmaiseen kiinnikkeeseen. Puomin ja kiinnikkeen läpi kulkee jo aikaisemmin mainittu M20 ruuvi. Puomi on tukevasti kiinni reunoistaan kiinnikkeeseen, jonka pääasiallinen tehtävä on tukea puomia ja helpottaa sahan ohjaamista. Puomi ei oikeastaan kannattele sahan painoa, mutta sillä toteutetaan ja tuetaan sahan liikkeitä. Puomi estää myös kaiken sivuttaisliikkeen, joka aiheutuu sahattaessa puita. Näin ohjaus pysyy tarkkana ja leikkausjälki on hyvä.

Puomin kiinnitys on esitetty kuvassa 34. Kuvasta näkyy, kuinka tuenta on toteutettu sivuttaissuuntaisesti. Kehikon ja sahan liike on mahdollinen vain pitkittäissuuntaisesti, koska sahan aiheutuu jatkuvasti iskuja sen osuessa puiden oksiin. Tuenta kaikista neljästä suunnasta on melkein mahdoton toteuttaa, sillä se vaatisi lujempia materiaaleja, jotta sahan tuenta kestäisi kaikki siihen aiheutuvat rasitukset.



KUVA 34. Puomin kiinnitys kehikkoo

5 LUJUUSOPILLINEN TARKASTELU

Linjaraivaussahan lujuusopillinen tarkastelu suoritettiin myös Autodesk Inventor Professional 2011 ohjelmalla. Työn tilaaja arveli, että on suotavaa varmistaa rakenteen ja kiinnityskohtien kestävyys. Alusta alkaen oli selvää, että rakenne on ylimitoitettu melkein kaikkialta. Käytetyt ruuvit ovat erittäin järeitä eikä sahan ominaispainon ollessa kuin n. 300 kg, niihin kohdistu niin isoja rasituksia, jotta pelkoa murtumisesta tai materiaalin myötörajan ylityksestä olisi epäilyksiä.

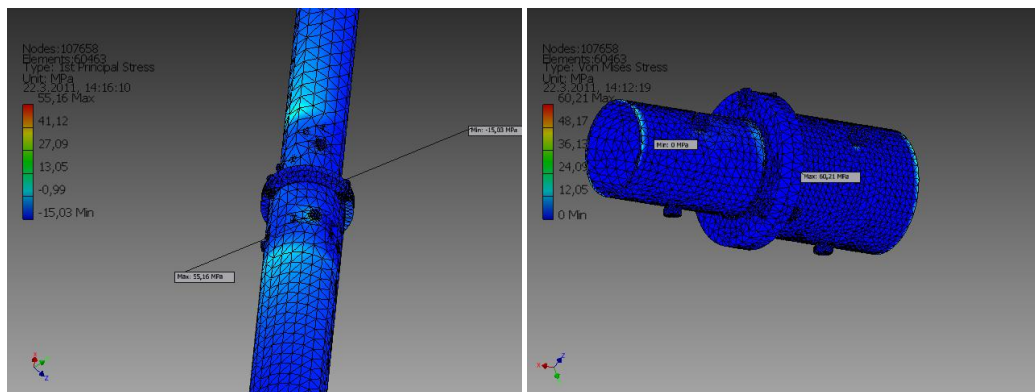
FEM-analyysi suoritettiin käyttämällä voimia, joiden on arveltu vaikuttavan rakenteeseen. Tarkastelu suoritettiin kolmelle linjaraivaussahan osalle, joiden arveltiin olevan suurimman rasituksen kohteena. Nämä olivat puomien laippaliitos, kehikon yläkiinnitys ja teräkokonaisuuden kiinnitys kehikkoon. Mittauksia puomiin, kiinnityksiin tai laippaliitoksiin kohdistuvista voimista ei ole tehty. Tästä johtuen sahan ominaispainoa on suurimmaksi osaksi käytetty rasituksen lähteenä.

Saaduista tuloksista voi päätellä, että ylimitoitusta on reilusti, tarkasteltavien rakenteiden osalta. Rakenteeseen olisi varaa tehdä muutoksia, jotta painoa voitaisiin saada edelleen kevyemmäksi nykyisestä.

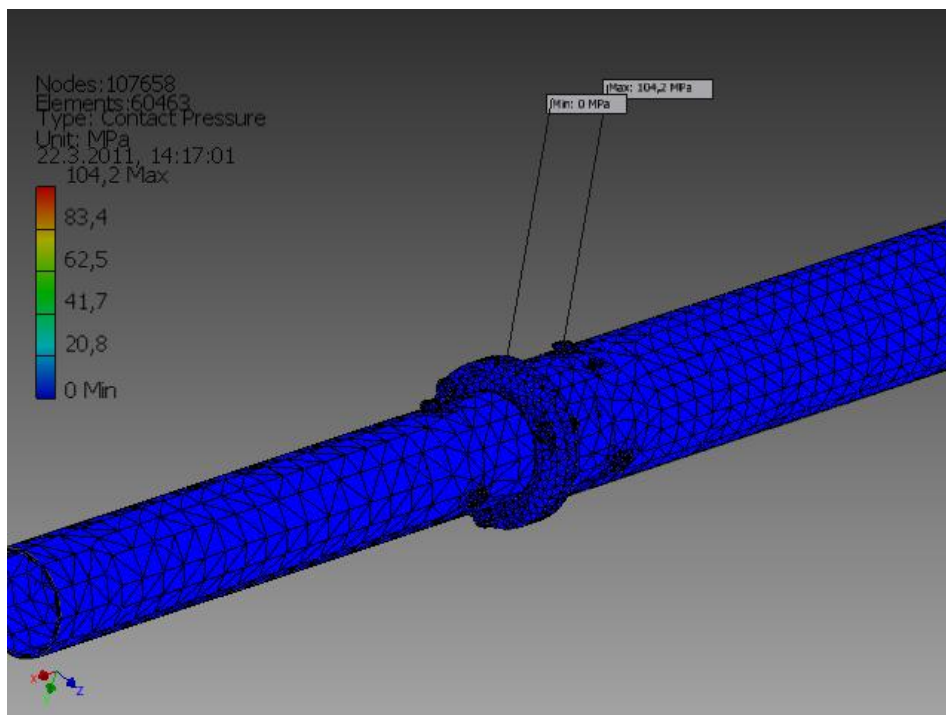
5.1 FEM-analyysin rasiuskuvat

Rasiuskuvat, joista voi nähdä suurimmat rasiuskohdat rakenteessa on esitettyä kolmelle kiinnitykselle. Kuviin on otettu rasiukset, siirtymät ja pintajännitykset joita konstruktion aiheuttaa ulkoisista voimista. Opinnäytetyön liitetiedostona on esitetty kiinnitysten tarkat rasiusarvot ja jännitykset.

5.1.1 Laippakiinnitys

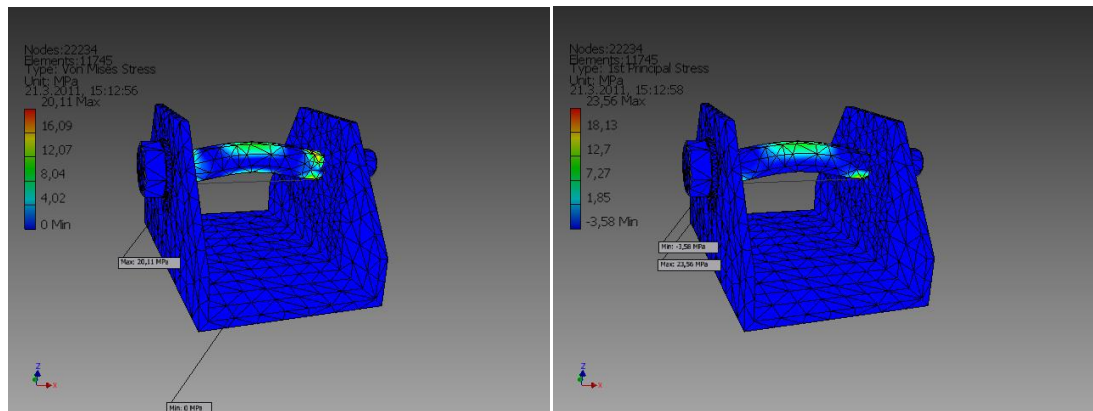


KUVA 35. Laippakiinnityksen suurimmat jännitykset ja rasiukset

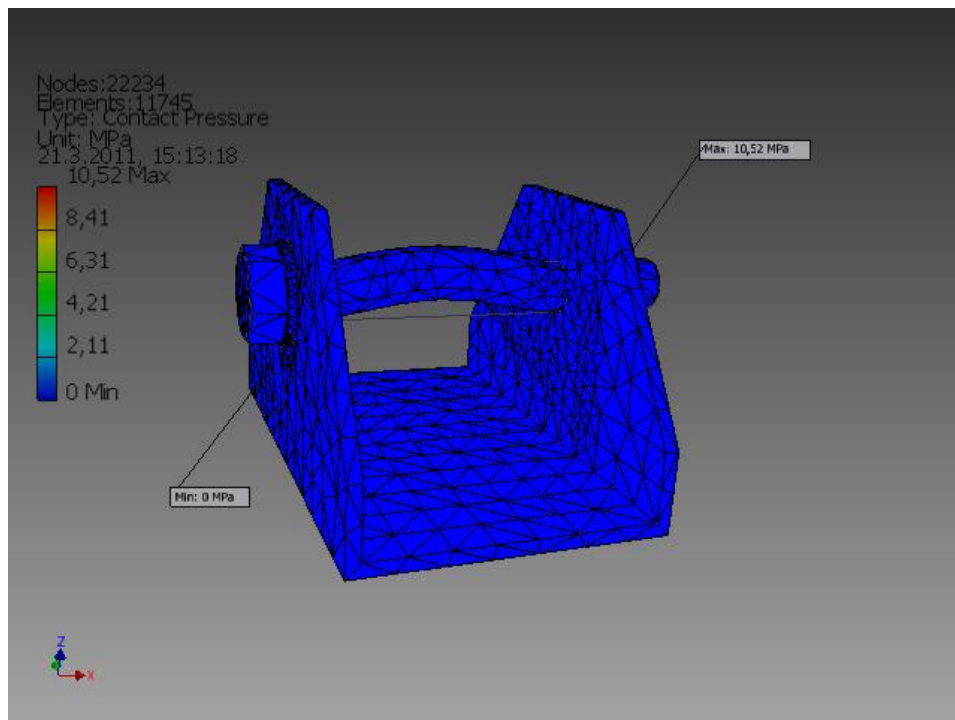


KUVA 36. Pintojen välinen suurin rasius

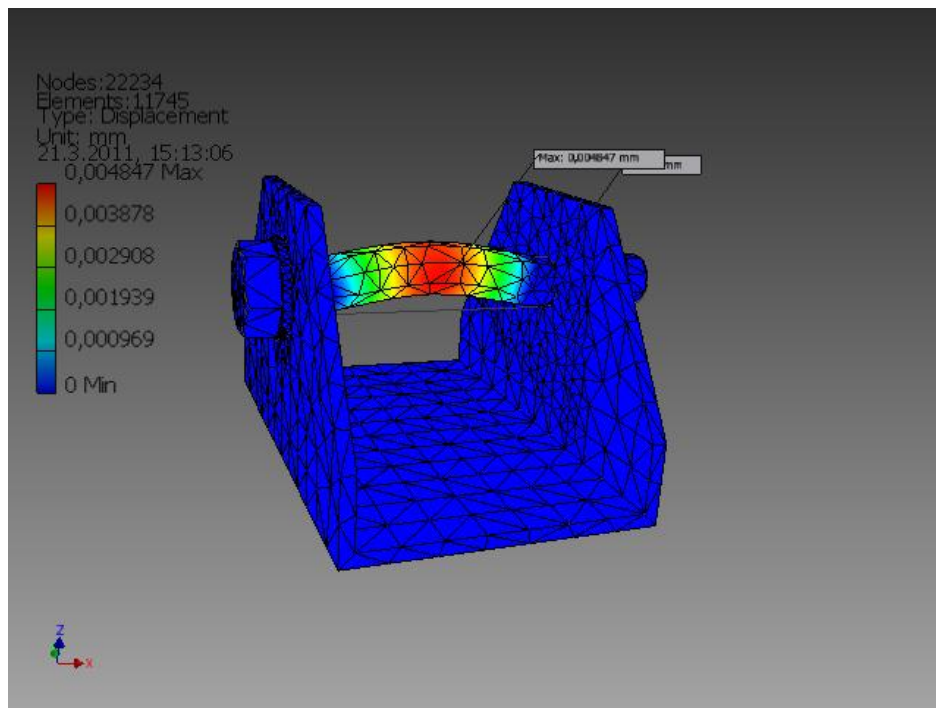
5.1.2 Kehikon yläkiinnitys



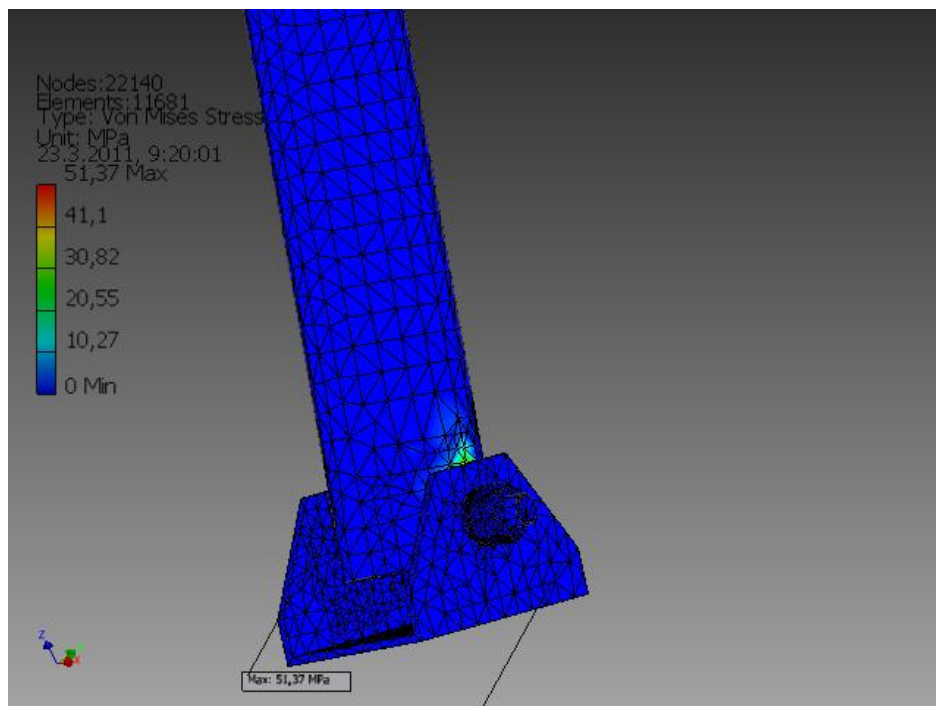
KUVA 37. Kehikon ruuvin yläkiinnitykseen kohdistuvat jännitykset ja rasitukset



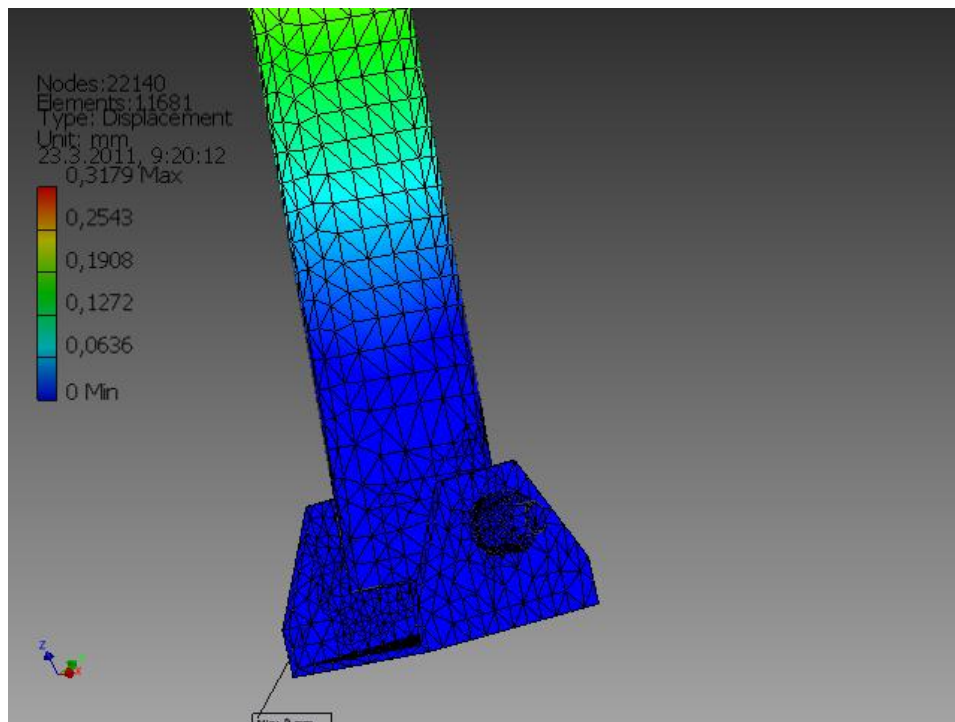
KUVA 38. Kosketuspaineen maksimiarvot



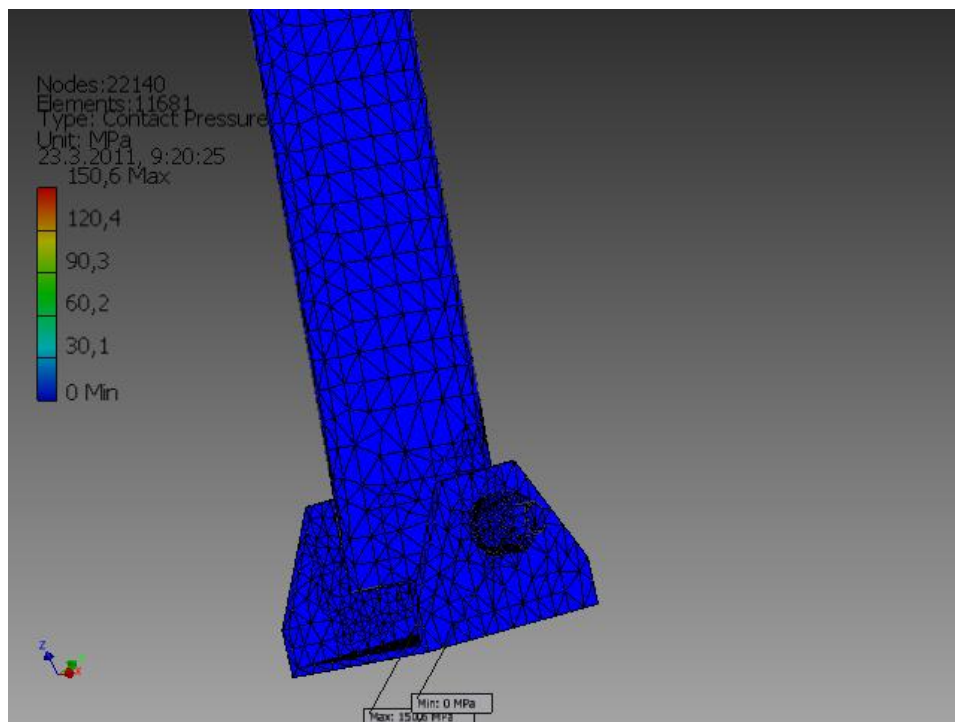
KUVA 39. Siirtymät



KUVA 40. Jännitykset putken ja kiinnikkeen välillä



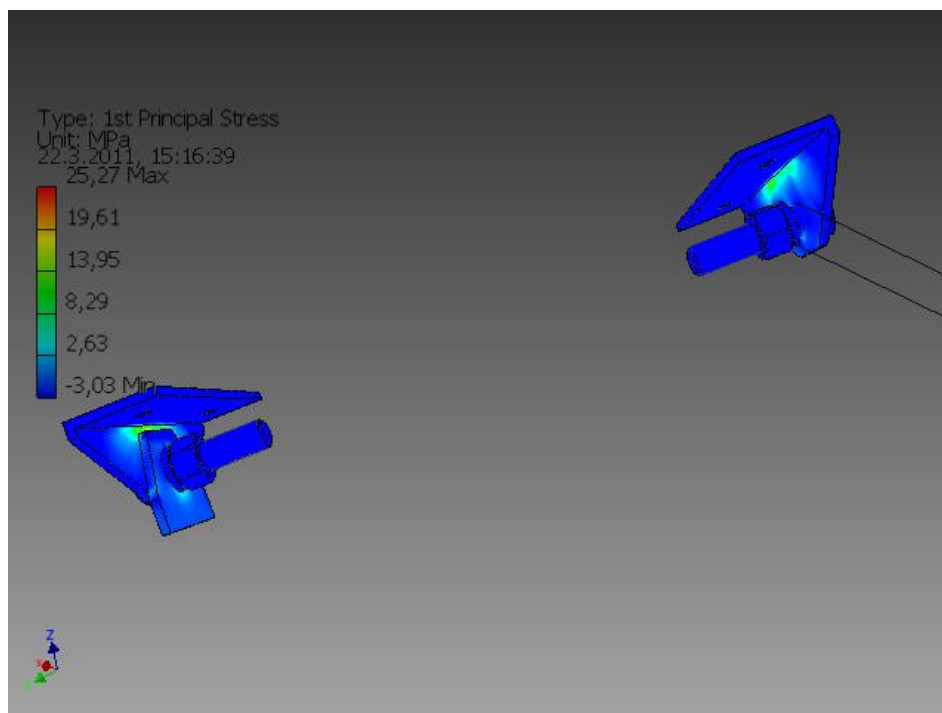
KUVA 41. Siirtymät puomiin aiheutuvista voimista



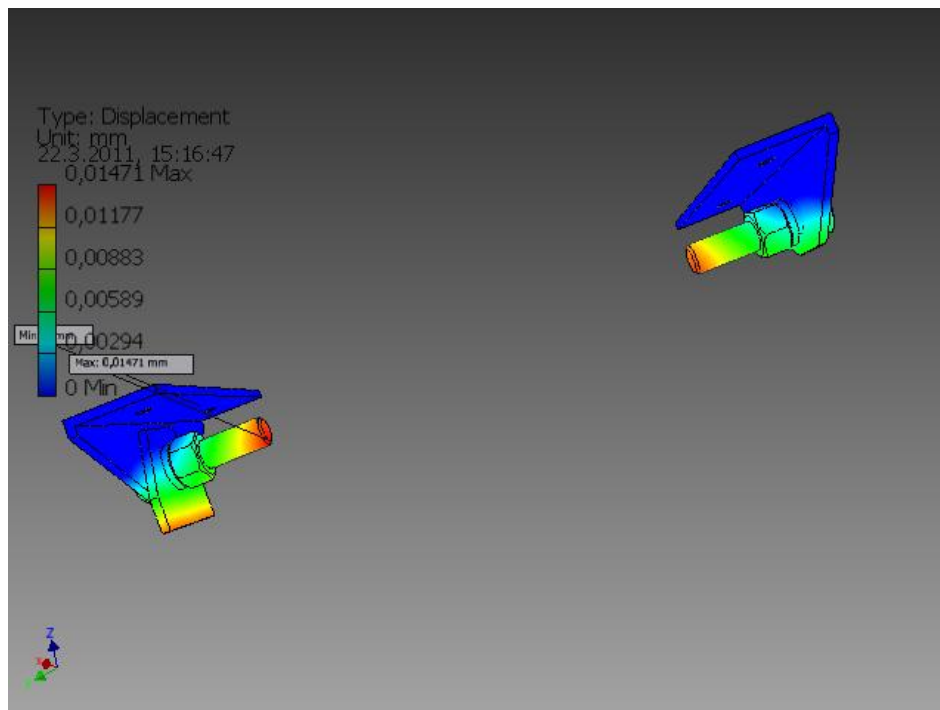
KUVA 42. Kosketuspaine puomin ja kiinnikkeen välillä

Puomin ja kiinnikkeen välinen tarkastelu oli haastavin. Linjaraivaussahaa ohjataan puomin avulla, koska sen reunat ovat tuettuina kiinnikkeen seiniin. Sahan paino on kuitenkin vaijerin varassa, joten puomiin ei oikeastaan kohdistu suoranaista rasiitusta sahan painosta. Siihen aiheutuu voimia, kuten tuulen tuoma vastus ja puista/oksista aiheutuvat sivuttaissuuntaiset iskut. Käytin n. 1000 Newtonin voimaa, joka on varmasti suurempi kuin siihen kohdistuvat rasiitukset. Puomin ja ruuvin välinen kosketuspaine oli yllättävän korkea, juuri ruuvin reiän ulkokehällä. Todellisuudessa kosketuspaine ei ole noin suuri. Las-kujen mukaan rakenne kestää kyllä hyvin tuollaisenkin voiman vaikutuksen.

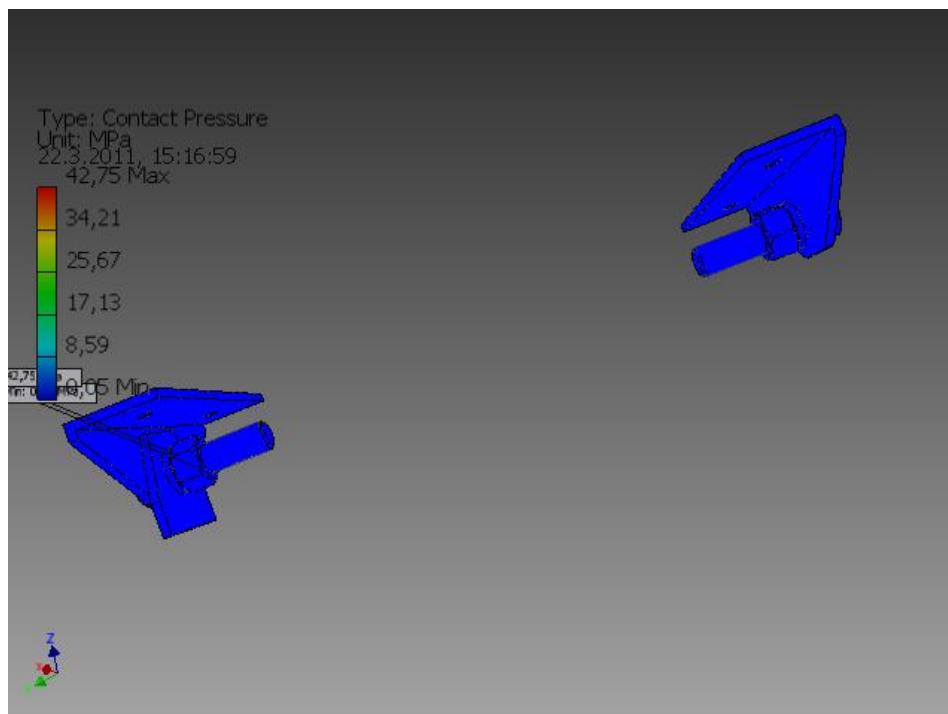
5.1.3 Kehikon ja teräkokonaisuuden kiinnitys



KUVA 43. Kiinnitykseen vaikuttavat voimat



KUVA 44. Kiinnityksen siirtymät



KUVA 45. Kiinnityksen kosketuspaine

5.2 Johtopäätökset

Lujuustarkastelu suoritettiin käyttämällä konstruktion kokonaispainoa ja sen vaikutusta rakenteeseen. Vaikuttavat voimat ovat täysin arvioituja, ja ne ovat puomin sekä teräkokonaisuuden kiinnikkeen tapauksissa ylisuuret. Linjaraivaussahan kokonaispaino on n. 300 kg, josta johtuen mikään kiinnityskohta tai materiaali ei ole vaarassa murtua eikä pettää. Sahan painoa käytettiin rakenteeseen vaikuttavien voimien perustana. Vaikuttavat voimat olivat joko kokonaan sahan paino tai esim. sivuttaissuuntaisesti puolet sahan painosta.

Heikoimmat kohdat sahasa ovat puomin molemmat kiinnityskohdat. Ne ovat kuitenkin tähän rakennelmaan tarpeeksi kestävä, eikä esim. paksumman materiaalin käyttö ole tarpeen. Alumiini, jota käytetään, on muutenkin tarjolla olevista seoksista lujimpia.

Lujuustarkastelusta saadut tulokset antavat selvästi kuvan siitä, että linjaraivaussahaan vaikuttavat voimat ja ulkoiset rasitukset eivät ole niin suuria aiheuttaakseen ongelmatilanteita. Rasituksista aiheutuvat jännitykset ovat selvästi alle materiaalien murtolujuusarvojen. Linjaraivaussahan kiinnityskohtien, ruuvien tai materiaalin murtumiseksi tarvittaisiin muita ongelmia. Näitä voisivat olla korroosio, komponenttien epäkunto tai ulkoinen kova voima/rasitus.

Lujuustarkastelu on aiheellista tehdä tarkemmin vasta silloin, kun esim. kiinnityskohdissa käytetään pienempiä ruuveja ja kehikon rakenne on reilusti nykyistä kevyempi ja ohuempi.

6 SAHAN KOKOONPANO

Saha on saatava purettua mahdollisimman moneksi osaksi, jotta kuljetus ja varastointi on helppo toteuttaa. Helikopterin kuljetus paikan päälle suoritetaan lentämällä. Saha on kuljetettava maateitse, josta johtuen nousi tarve uusille kuljetusjärjestelyille. Sahaa varten tehtiin traileri, joka on mitoitettu juuri tarpeiden mukaan. Siihen voi kätevästi sijoittaa kehikon, teräkokonaisuuden ja puomit. Kuljetus voidaan kätevästi hoitaa sahauspaikan läheisyyteen, jolloin saha voidaan koota toimintavalmiiksi.

6.1 Kuljetus



KUVA 46. Kuljetukseen käytettävä traileri (Kuvaaja: Roman Mertechev 2011)

Kuljetukseen käytetään erillistä traileria. Kuvassa 46 on esitetty paikat, joihin sahan eri osat kiinnitetään kuljetusta varten. Tuenta on riittävä sekä kehikolle, että teräkokonaisuudelle.

Puomit sijoitetaan trailerin sivuille teräkokonaisuuden alle ja tuetaan tiukasti traileriin kiinni. Traileri on katsastettu ja se on läpäissyt EU:n turvamääräykset ja vaatimukset.

6.2 Purku ja kokoaminen

Puomi voidaan purkaa kahdeksi erilliseksi osaksi, joiden maksimipituus on 8 metriä. Kehikon korkeus on 1,6 metriä ja se kuljetetaan erikseen. Teräkokonaisuus on myös kuljetettava paikan päälle erillisenä osana.

Terät, laipat, teräyksiköt, pultit ja kaikki pientavara tuodaan sahauspaikalle ja kootaan ennen sahauksen aloittamista. Tämä mahdollistaa myös osien tarkastuksen, jotta mahdolliset vauriot voidaan havaita ennen sahauksen aloittamista. Kokoamiseen aikaa kuluu n. puoli tuntia. Ruuvikiinnitykset on helppo kiinnittää paikoilleen, eikä purku tai kokoaminen tuota ongelmia.

Nopea kokoamis- ja purkumahdollisuus mahdollistavat paikan päällä suoritettavan huollon ja osien, kuten mm. remmien vaihdon. Suojakuori sijoitetaan kehikon päälle helposti ja vaivattomasti.

6.3 Huolto

Sahauksen yhteydessä esiintyy välillä huoltoa vaativia ongelmia, kuten esim. hihnojen katkeamisia. Tällöin linjaraivaus keskeytetään ja helikopteri lennätetään lähtöpaikalle, jossa huoltotoimet voidaan kätevästi suorittaa. Useimmin juuri hihnat ovat kovan rasituksen vuoksi aiheuttaneet huoltotarpeen. Hihnojen vaihtoon kuluu aikaa muutaman minuutin verran, ellei niiden katkeaminen ole aiheuttanut muita vaurioita teräkokonaisuuden sisällä.

Muita huoltotoimenpiteitä ovat öljyn vaihto, tankkaus, sähköongelmat tai mahdollinen akselin katkeaminen. Helikopterin huoltotoimenpiteet vaativat ammattilaisosaamista, jolloin linjaraivaus lopetetaan kunnes vika on korjattu.

7. POHDINTA

Työn tekeminen oli haastavaa, mutta samalla erittäin antoisa kokemus. Linjaraivaussahan toiminta ja koko sahausprosessi oli entuudestaan täysin tuntematon käsite. Ennen projektin aloittamista, tutustuin linjaraivaukseen sähköisesti. Yllättäen menetelmä on käytössä yleisesti Ruotsissa, Etelä-Amerikassa, Amerikassa ja Kanadassa. Suomessa ainakin kaksi yhtiötä tarjoaa helikopteri-raivausta, joista toinen on Suomen Linjaraivaus Oy. Opinnäytetyön alussa käytiin läpi linjaraivauksen eri osa-alueita ja sen toteuttamista. Prosessi esitettiin helikopterin teknisten ominaisuuksien, linjaraivaussahan toiminnan, käytettävien laitteiden ja ongelmien kautta hyvin perusteellisesti.

Työn edetessä prosessi tuli entistä paremmin tutuksi ja mietimme myös kehitystyön kautta parannuksia sahan rakenteeseen. Näin tapahtuikin, sillä jo nyt käytössä on erilainen teräkokonaisuuden suoja. Standardikomponenttien käyttö on myös huomasti kasvanut, jolla on saatu hintakustannukset alas. Hihnojen, ruuvien, pulttien ja valmistusmenetelmien kanssa on menty yksinkertaisempaan ja halvempaan ratkaisuun.

Sahan mallinnus oli ajoittain vaikea toteuttaa, koska rakenne on valmistettu suurimmaksi osaksi käsityönä. Mitat, etenkin kehikon tapauksessa, ovat ”suurin piirtein” sinne päin ja tarkkuus ihmisen kädenjälkeä. Autodesk Inventor Professional 2011-ohjelma oli erittäin hyvä työn tekoon. Ohjelma on erittäin käyttäjäystävällinen, eikä sen käyttö osoittautunut hankalaksi.

Uskon pystyneeni hyvään lopputulokseen CAD-mallinnusten kanssa vastoin käymisistä huolimatta. Rakenne on toimiva ja näyttää täysin oikealta, kuten sen on tarkoitus. Mitat ovat oikeat ja tämän opinnäytetyön ohjeistamana linjaraivaussaha on valmistettavissa tulevaisuudessa tarpeen niin vaatiessa.

Mallinnus suoritettiin luomalla ensin kehikon ulkoinen rakenne. Tämän jälkeen sisälle luotiin tukikehikko ja sisälle sijoitettavien komponenttien kiinnityskohdat. Teräkokonaisuus, joka kiinnitetään kahdella ruuvilla kehikkoon, luotiin tämän jälkeen. Teräkokonaisuuteen asennettiin kokoonpanon avulla teräyksikön osat ja terät. Lopuksi koko rakenteesta tehtiin kokoonpano, jotta linjaraivaussahan tarkastelu kokonaisuutena olisi mahdollista. Kokoonpanon avulla voi tarkastella sahan liikkeitä, terien pyörimisen simulointia, hihnojen sijoittamista ja mahdollisten muutoksien vaikutusta konstruktion. Tuotekehityksen kautta tehdyt muutokset on nyt helppo päivittää sahan rakenteeseen ja tutkia sen kautta, onko muutos toimiva ja onko siihen tarvetta.

Lujuusopillinen tarkastelu osoittautui tarkemman mietinnän jälkeen lähes puolituhalta, koska niin monet konstruktion osat on ylimitoitettu. Tarkastelun kohteeksi valittiin kolme heikoimmaksi oletettua kohtaa, jonka jälkeen ne simuloitiin Autodesk Inventor Professional 2011-ohjelmalla. Ohjelman lujuuslaskentakäyttö oli kaikille projektin osapuolille tuntematon, joten simulointi suoritettiin sen tiedon avulla joka käytössä oli. Tulokset ovat suuntaa antavia, sillä rakenteeseen ja kiinnityksiin vaikuttavista voimista/rasituksista ei ole tarkkaa tietoa.

Linjaraivaussahan painoa käytettiin monien rasitusten aiheuttajana, koska rakenteeseen ei kohdistu muita suuria ulkoisia voimia. Monet käytetyistä voimista olivat reilusti ylimitoitettuja, jotta saisimme tietoa rakenteen kestävydestä vaikeissakin olosuhteissa. Tulokset olivat hyviä, eikä niiden perusteella rakenteessa tai sen kiinnityksissä ole vaaraa murtumisen tai katkeamisen suhteen.

Työn tavoitteet ja sen toteutus onnistuivat hyvin. CAD- mallinnukset ja lujuus-tarkastelu on suoritettu onnistuneesti. Tämän lisäksi helikopterilla suoritettava linjaraivaus ja palvelua tarjoava yritys on esitelty asiasta kiinnostuneille henkilöille ja yrityksille. Saha ei ole aikaisemmin tehty melkein pä lainkaan teknisiä dokumentteja. Sahaan tästä edespäin tehtävät muutokset ja sen kehitystyön dokumentointi on paljon helpompi toteuttaa.

LÄHDELUETTELO

Suomen Linjaraivaus Oy esite

Merkkiniemi, H. 2010. Opinnäytetyö. Johtoukeiden luontoarvot sekä Vattenfall Verkko Oy:n tavoitteet ja toimenpiteet niiden lisäämiseksi. Luettu. 12.3.2010.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13313/Merkkiniemi_Heli.pdf?sequence=1.

Aircraft Operations Center. Aircraft. 2011. Luettu 20.3.2011.
http://www.aoc.noaa.gov/aircraft_md500.htm.

Helikopteriraivaus. Helimatic. 2011. Luettu 13.3.2011. <http://www.helimatic.se>.

Helikopteripalvelut. Helikopteriraivaus. 2011. Luettu 11.3.2011.
<http://www.helitour.fi>.

LIITTEET

Liite 1: Linjaraivaussahan tekniset piirustukset

Liite 2: Lujuusopillisen tarkastelun tulokset

Liite 3: CAD-Mallinnustiedostot (CD-ROM)