



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VESAKKOMURSKAIMEN PROTOTYYPIN SUUNNITTELU JA OSAVALMISTUS

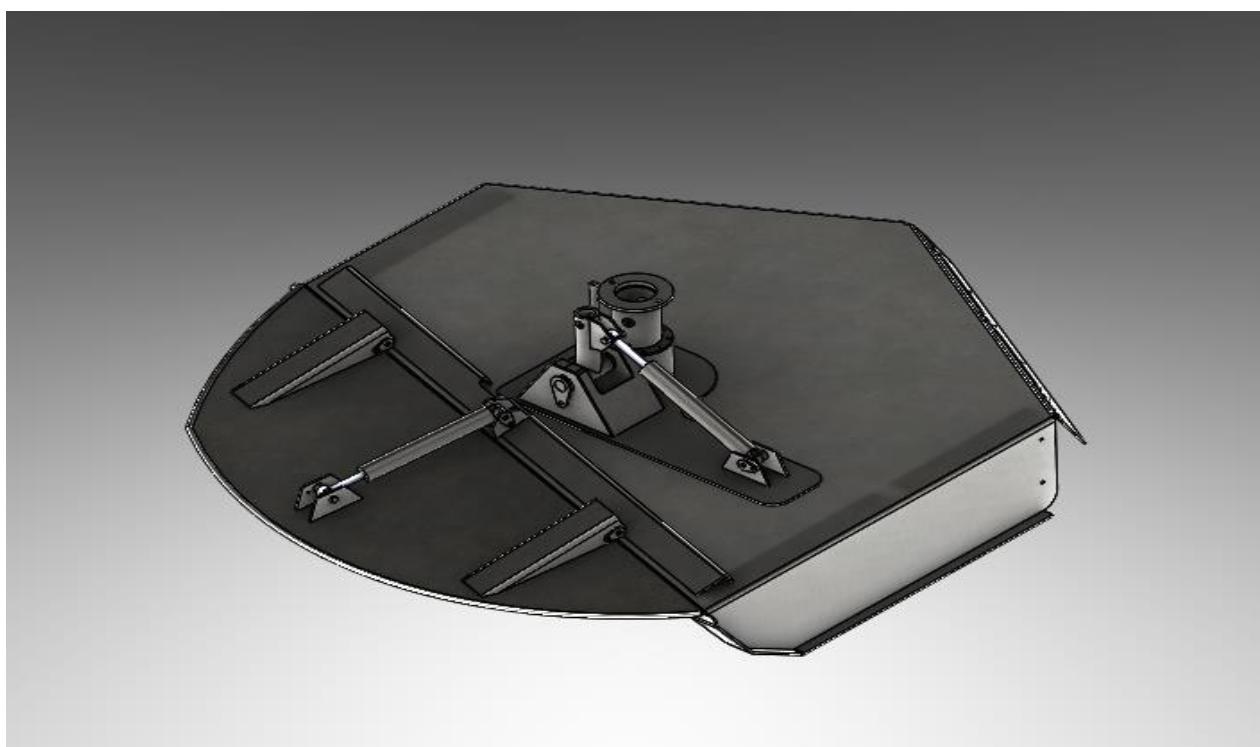
TEKIJÄ: Henrik Tolvanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Henrik Tolvanen			
Työn nimi Vesakkomurskain prototyypin suunnittelu ja osavalmistus			
Päiväys	21.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	30/0
Ohjaajat Päätoiminen tuntiopettaja Sami Ipatti ja Tutkimusinsinööri Jussi Asikainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Joutsenlammen maatila, Heikki ja Marja-Leena Tolvanen			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja valmistaa osat puutavaranosturiin sijoitettavaan vesakkomurskaimeen. Työn osavalmistus suoritettiin yhteistyössä HitSavonian ja alihankkijoiden kanssa.</p> <p>Vesakkomurskaimen suunnittelussa käytettiin koneensuunnitteluun soveltuvia tietokoneohjelmistoja, joiden avulla vesakkomurskain voitiin optimoida geometrioiden, sekä käytettävien materiaalien osalta. Modernien työstöohjelmien käytön ansiosta työssä muodostuva materiaalihukka oli vähäinen ja työstökoneiden ohjaus nykyaikaista. Työssä käytetyt valmistusmenetelmät soveltuvat myös sarjatuotantoon.</p> <p>Työssä onnistuttiin täyttämään opinnäytetyön kohteena olevalle vesakkomurskaimelle asetetut vaatimukset. Lopputuloksena valmistui osat vesakkomurskaimeen, joka on teknisesti kilpailukyinen sarjatuotannossa oleviin vesakkomurskaimiin verrattuna.</p>			
Avainsanat Suunnittelu, Osavalmistus, 3D-mallinnus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Henrik Tolvanen			
Title of Thesis Copse Mulcher Design and Parts Manufacturing			
Date	21.12.2018	Pages/Appendices	30/0
Supervisors Mr Sami Ipatti, Lecturer and Mr Jussi Asikainen, Research Engineer			
Client Organisation /Partners Joutsenlampi farm, Heikki and Marja-Leena Tolvanen			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the project was to design and manufacture parts to a copse mulcher which is attached to a forwarder crane. Manufacturing the parts was performed in cooperation with Hitsavonia and the contractors.</p> <p>The copse mulcher designing was made by using some machine designing programs, which were useful in optimizing the geometries and the materials. The Modern machining programs were helpful in minimizing the material losses and also the machining tools control became modern when using machining programs. The manufacturing methods, which were used at this work, are suitable to the serial production.</p> <p>As the result of the project, the parts for the copse mulcher were made and the requirements of the project were fulfilled. The copse mulcher that was designed in this project is technically competitive compared with serially manufactured copse mulchers.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Design, Parts manufacturing, 3D-modeling</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Toimeksiantaja	5
2	PROTOTYYPIN SUUNNITTELUN VAIHEET	6
2.1	Vesakkomurskaimen toimintaperiaate	8
2.2	3D-mallinnus	9
2.3	Tekniset ominaisuudet	11
3	VALMISTUKSEN SIMULOINTI	19
3.1	Autopol työskentely.....	19
3.2	Mastercam polttoratojen luominen	20
4	OSAVALMISTUS	21
4.1	Osien plasmaleikkaus ja särmäys	21
4.2	Koneistettavat osat	22
5	TURVALLISUUS JA KESTÄVYYS.....	24
5.1	Koneen työturvallisuus	25
5.2	Turvallisuutta koskevat säädökset	27
6	YHTEENVETO.....	28
7	LÄHTEET	29



1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa osat vesakkomurskaimeen, joka sijoitetaan toimeksiantajan maataloustraktorin puutavaranosturiin. Työn aihe muodostuu toimeksiantajan tarpeesta saada vesakoituneet pientareet siistittyä koneellisesti. Aiemmin pientareita on hoidettu raivaussahalla, sekä heinän katkaisuun tarkoitettulla niittokoneella. Niittokone on suunniteltu tasaisille pelloille ja kuljettavaksi matalien jalaksien varassa. Epätasaisista ja kivisistä pientareista johtuen konetta on jouduttu kuljettamaan ilmassa noin 30cm korkeudessa, joka kuormittaa koneen teräpalkkia. Niittokonetta ei ole suunniteltu puuston katkaisuun, joten puusto on täytynyt kaataa raivaussahalla. Törmäykset kiviin aiheuttavat niittokoneessa terärikkoja. Puuston raivaus raivaussahalla kaltevilla pientareilla on hidasta ja liukastumisvaara on suuri. Raivaussahan terävän terän jättämä siisti leikkauspinna puunkannossa myös vesakoituu uudelleen nopeasti.

Työn tavoitteena on selvittää, voiko vesakkomurskain konseptiin tehdä parannuksia markkinoilla oleviin koneisiin verrattuna. Tällaisia parannuksia ovat esimerkiksi koneen tehokkuuden nostaminen. Koneen suunnittelussa pohditaan komponenttien mitoittamiseen liittyviä asioita, sekä valmistusteknisiä asioita.

1.1 Toimeksiantaja

Toimeksiantaja on Joutsenlammen maatila, jonka omistavat Heikki ja Marja-Leena Tolvanen. Maatilan edustajana opinnäytetyössä toimii Heikki Tolvanen. Heikki ja Marja-Leena Tolvanen ovat harjoittaneet tilan päätuotantosuuntana lypsykarjataloutta vuodesta 1990. He ovat kehittäneet ja laajentaneet tuotantorakennuksia nykyajan vaatimuksia vastaavaksi, sekä lisänneet viljelypinta-alaa. Tila on saanut muun muassa Walter Ehrström säätiön kultamitalin pitkäaikaisesta ja menestyksellisestä työstä elintarvikehygienian edistämiseksi, tuottamastaan laatumaidosta. Tilan omistajien ansiokkaasta työstä kertoo myös 100 000 maitokilon kantakirjaluokkaan merkitty eläin. Tilan pelloilla viljellään pääasiassa nurmea ja lisäksi rehuviljaa.

Joutsenlammen maatila harjoittaa myös metsätaloutta, sekä koneurakointia. Metsänhoidollisissa hakkuutöissä apuna käytetään tilalla suunniteltuja ja valmistettuja koneita, kuten harvesterikouraa, sekä traktorin keulapumppujärjestelmää. Koneurakointi sisältää kaivinkoneella tehtävät maansiirtotyöt, sekä traktorilla suoritettavat teiden hoito ja kunnossapitotyöt.

2 PROTOTYYPIN SUUNNITTELUN VAIHEET

Vesakkomurskaimen suunnitteluosiossa tutustutaan markkinoilla oleviin koneisiin ja käyttökohteisiin, joihin ne ovat suunniteltu. Vesakkomurskaimille tyypillisiä käyttökohteita ovat pientareiden kasvillisuuden poisto, ks. kuva 1. Pientareen kasvillisuus aiheuttaa näkemäesteitä, jotka huonontavat liikenneturvallisuutta. Tiealueella kasvavat puut myös haittaavat tienhoitoa ja ne kohottavat onnettomuusriskiä tieltä suistuttaessa.



KUVA 1. Vesakoitunutta piennarta (Tolvanen 2018.)

Tunnettuja vesakkomurskain valmistajia ovat muun muassa Kronos, Slagraft ja Elho. Koneiden työlevydet ovat 1,2 metrin ja 2,1 metrin välillä.

Vesakkomurskaimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään rakenteensa perusteella. Suurin eroavaisuus näiden kahden konetyypin välillä on murskaimen eri pyörimissuunta. Kelamurskaimissa murskaus tapahtuu pyörivään kelaan kiinnitettyjen terien avulla, ks. kuva 2. Kelamurskaimissa murskain pyörii työskentelysuunnassa eteenpäin tai taaksepäin. Kelamurskaimen etuja ovat hyvä työjälki myös heinikossa ja pyörimissuunnasta johtuva vähäinen murskausjätteen sinkoileminen työalueelta.



KUVA 2. Kelamurskain (Elho 2018.)



KUVA 3. Vaakatasomurskain (Elho 2018.)

Kuvassa 3 olevassa vaakatasomurskaimessa murskaus tapahtuu vaakatasossa pyörivillä ketjuilla. Ketjulla varustettuna, sillä pystyy työskentelemään myös kivisissä työkohteissa koneen vaurioitumatta. Vaakatasossa pyöriviä vesakkomurskaimia voidaan varustaa kevytrakenteisella terävarustuksella heinän niittoon, mutta teriä ei ole suunniteltu vesakonmurskaukseen ja kivikkoon.

Vesakkomurskaimien voimansiirto on hydraulinen tai mekaaninen. Hydrostaattisessa voimansiirrossa polttomootorin tuottama teho muutetaan hydraulipumpulla hydraulioöljyn paine-energiaksi. Hydraulioöljyn paine-energia siirretään vesakkomurskaimelle hydrauliletkuilla ja muutetaan mekaaniseksi tehoksi hydraulimoottorilla, ks. kuva 4.



KUVA 4. Hydraulimoottori (Salhydro 2018.)

Mekaanisessa voimansiirrossa polttomoottorin tuottama teho siirretään akseleiden, hammaspyörien ja hihnojen välityksellä vesakkomurskaimelle. Mekaanisessa voimansiirrossa on yleensä hyvä hyötysuhde, mutta voimansiirron komponentit asettavat rajoituksia vesakkomurskaimen sijainnille ja vaapaalle liikuttamiselle.

Vesakkomurskain tulee olla sijoitettavissa nosturiin ilman mekaanisen voimansiirron asettamia liikerajoituksia ja tästä syystä suunnittelussa keskitytään hydrauliseen voimansiirtoon. Vesakkomurskaimelle asetettuna vaatimuksena on myös työskentelymahdollisuus kivisissä olosuhteissa koneen rikkoontumatta, jonka takia konetyyppinä suunnittelussa on vaakatasomurskain.

2.1 Vesakkomurskaimen toimintaperiaate

Markkinoilla olevat nosturiin kiinnitettävät vesakkomurskaimet ovat pääsääntöisesti hydrostaattisella voimansiirrolla varustettuja vaakatasomurskaimia. Hydraulimoottori pyörittää akselia, jonka toisessa päässä on ketjujen kiinnityslevy. Levyyen kiinnitetään murskausketjuja, joita on yleensä kaksi ja ne ovat pääsääntöisesti materiaalivahvuudeltaan 10mm tai 13mm, ks. kuva 5. Ketjujen kiinnityslevy kasvattaa myös ketjujen kiinnityspisteiden etäisyyttä toisistaan, estäen ketjujen kietoutumisen toisiinsa ja käyttöakselin ympärille. Pyörivien ketjujen kehänopeus on noin 100 metriä sekunnissa, jolloin ketjut toimivat murskaavana. Suuren kehänopeuden ansiosta ketjut pysyvät suorina, myös murskattavaan materiaaliin osuessaan. Ketjujen kehänopeuden ollessa liian pieni ketjut eivät pysy suorana murskaustapahtumassa eivätkä murskaa halutulla tavalla.



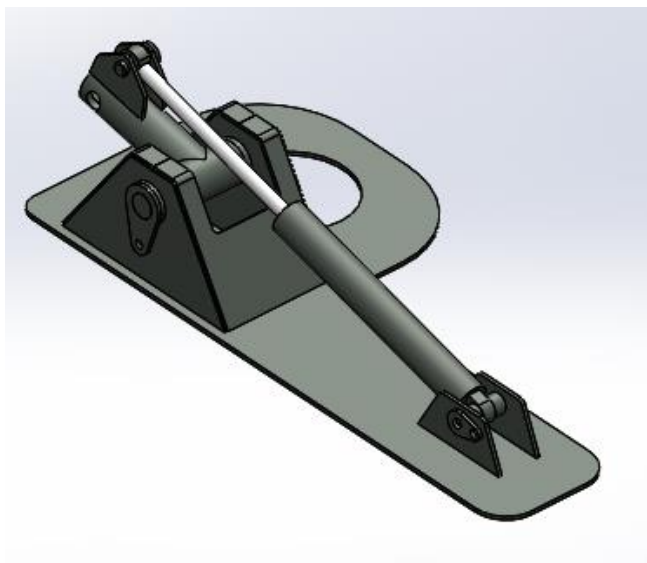
KUVA 5. Vesakkomurskaimen ketju (Lantmännen Agro 2018.)

Ketjujen pituus vaikuttaa myös murskaustehoon. Lyhyet ketjut murskaavat tehokkaammin, koska ne pysyvät paremmin suorina murskattavaan esteeseen osuttaessa. Lyhyitten ketjujen takia työleveys jää kapeaksi. Jos ketjut halutaan pitää lyhyenä, mutta työleveyttä halutaan kasvattaa, joudutaan myös ketjujen kiinnitys kiekon halkaisijaa kasvattamaan, jolloin myös ketjujen kiinnityspisteiden etäisyyttä voidaan kasvattaa. Suuri halkaisijainen kiekko nostaa koneen painoa ja asettaa akselin laakeroinnille isommat vaatimukset.

Toinen vaihtoehto työlevyden kasvattamiselle on lisätä ketjujen ja ketjun kiinnityskiekkojen lukumäärää. Tällöin voidaan asettaa halkaisijaltaan pieniläpimittaisia kiekkoja rinnakkain ja ketjut voidaan pitää lyhyenä, saavuttaen riittävä työleveys. Myös vesakkomurskaimen pituutta voidaan lyhentämään, koska halkaisijaltaan pienemmät kiekot eivät vaadi pyöriäkseen niin suurta tilaa. Useammalla kuin yhdellä kiekolla varustettujen koneen voimansiirrosta muodostuu monimutkaisempi tai vastaavasti koneeseen joudutaan sijoittamaan useampia hydraulimoottoreita. Voimansiirron rakentaminen useammalle kiekolle nostaa valmistuskustannuksia ja koneen massan pitäminen alhaisena on haastavaa.

2.2 3D-mallinnus

Vesakkomurskaimen rakenteen suunnittelussa apuna käytettiin SolidWorks 3D-mallinnusohjelmaa, jonka avulla rakenteen geometriaa pystyttiin hahmottelemaan. Ohjelman avulla voitiin havainnoida osien liikkumista toisiinsa suhteessa, jolloin osat eivät pääse missään tilanteessa törmäämään toisiinsa. Esimerkiksi nivelien liikeradat voitiin 3D-mallin ansiosta mitoittaa yleisimmin käytössä olevien hydraulisynterierien iskunpituuksille, ks. kuva 6.

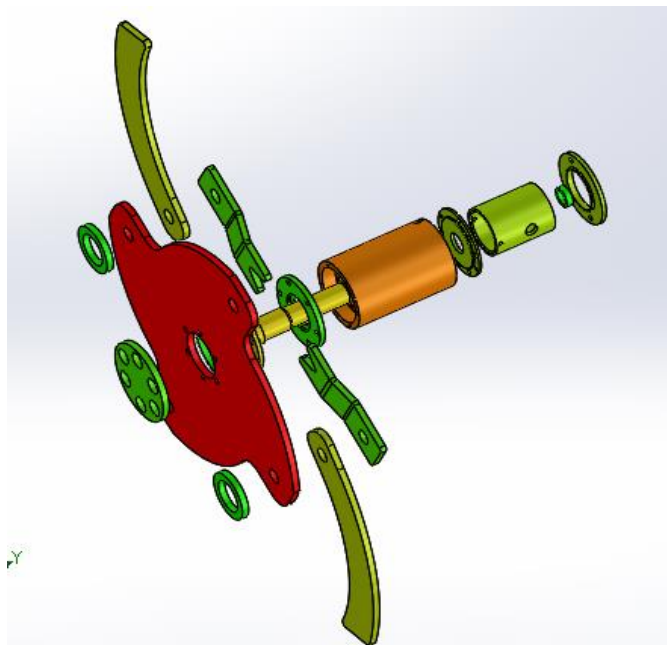


KUVA 6. Nivelen liikeradan määrittäminen (Tolvanen 2018.)

Rakenteen tarkka suunnittelu mahdollisti myös koneeseen vaikuttavien voimien kohdistamisen pienelle alueelle. Tällöin rakenne pystyttiin tukemaan riittävän vahvaksi maksimijännitysten kohdalta ja materiaalivahvuus toisissa rakenteen kohdissa, kuten suojapelleissä pystyttiin pitämään kohtuullisena. Myös hitsausliitosten sijainteihin ja niiden dimensioihin pystyttiin 3D-mallinuksen ansiosta vaikuttamaan rakenteen epäjatkuvuuskohtien ehkäisemiseksi.

Vesakkomurskaimen voimansiirto suunniteltiin varustettavaksi yhdellä murskausvälineiden kiinnityskiekolla, koska tällöin rakenne pystyttiin suunnittelemaan yksinkertaiseksi ja kestäväksi. Mallinnuksen ansiosta osien geometrioiden vaikutusta voitiin verrata massaansa ja kestävyytteen. Koneen massa tuli pitää minimaalisena, jonka takia kooltaan merkittävät osat pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman kevyiksi kestävyyttä ja toimivuutta heikentämättä. Kokonaismassan muodostumisen

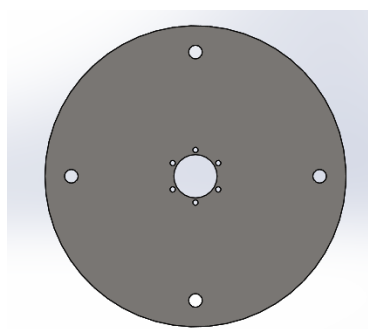
määrittämisessä apuna käytettiin SolidWorks mallinnusohjelman visualisointi toimintoa. Visualisointi toiminnossa voitiin käyttää apuna värejä osien massatarkastelussa, joka auttoi selvittämään kokonaisuutta merkittävästi kohottavien osien sijaintia. Kokoonpanon painavimmat osat näkyivät tummanpunaisella ja kevyimmät osat tummanvihreällä, ks. kuva 7. Painavimpien osien sijaintien kartoituksen jälkeen voitiin arvioida tarvetta niiden uudelleensuunnittelulle.



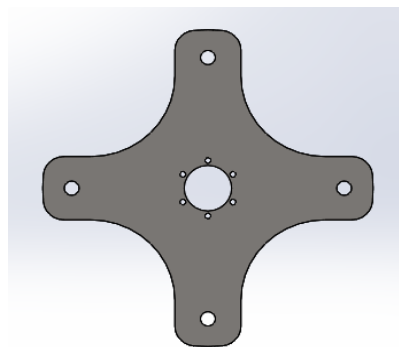
KUVA 7. Voimansiirron massatarkastelu (Tolvanen 2018.)

Murskausketjujen kiinnityskiekkon massa oli ensimmäisessä suunnitteluversiossa 60,8 kilogrammaa, ks. kuva 8. Kiekkon materiaalivahvuuden pienentäminen olisi heikentänyt kiekkon kestävyyttä ilman merkittävää massansäästöä. Massaa päädyttiin pienentämään kiekkon uudelleen muotoilulla. Kuvassa 9 olevasta kiekkosta on muotoilun avulla kevennetty 30,2 kilogrammaa ensimmäiseen versioon verrattuna eli sen massa on 30,6 kilogrammaa.

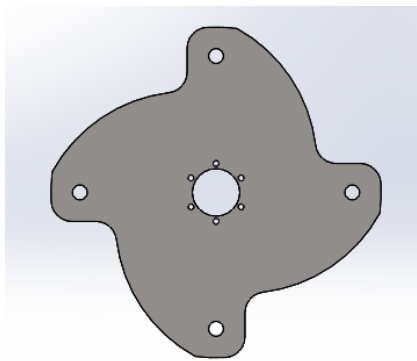
Kiekkon uudelleenmuotoilun havaittiin huonontavan pyörivän kappaleen toiminnallista geometriaa. Kivien ja kantojen läheisyydessä pyörivän kiekkon geometriassa ei voi olla kulmia, jotka haittaavat tai estävät kiekkon pyörimistä. Kuvassa 10 oleva kiekko on suunnittelun tulos, jossa geometria on toimiva, mutta massa on 18 kilogrammaa lähtökohtaa kevyempi.



KUVA 8. Kiekko 1 (Tolvanen 2018.)

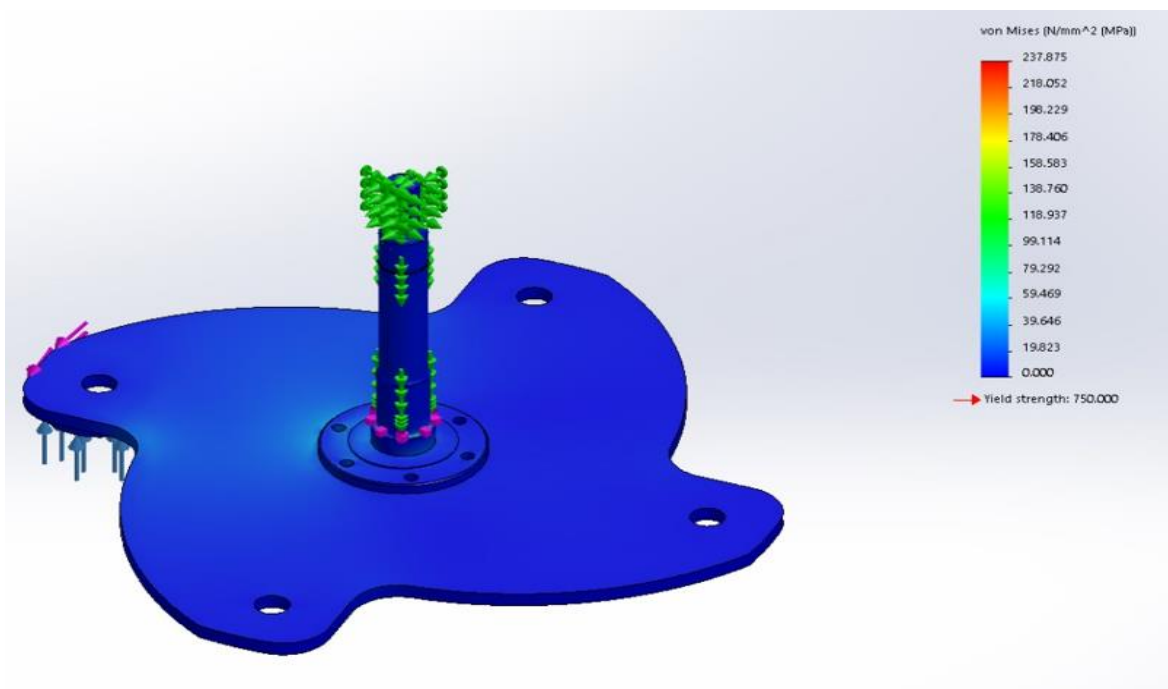


KUVA 9. Kiekko 2 (Tolvanen 2018.)



KUVA 10. Kiekko 3 (Tolvanen 2018.)

Solidworks Simulation ohjelman avulla voitiin 3D-mallia kuormittaa staattisesti, jolloin varmistuttiin rakenteen kestävydestä ja maksimijännitystilojen sijainnista. Simulation ohjelma näyttää laskennallisesti saadut arvot 3D-mallissa eri väreillä. Vesakkomurskaimessa Simulation ohjelman tuloksia tarkasteltiin rakenteen jännityksien osalta, ks. kuva 11.



KUVA 11. Kiinnityskiekon ja akselin jännitykset normaalikuormituksessa (Tolvanen 2018.)

2.3 Tekniset ominaisuudet

Koneen tehokkuutta haluttiin nostaa markkinoilla olevia koneita paremmaksi. Murskausvälineiden liike-energia on merkittävässä asemassa koneen murskaustehokkuudessa. Liike-energian kaavassa 1, liike-energiaan vaikuttaa kappaleen nopeuden lisäksi kappaleen massa (Siirilä&Tytykoski 2016, 388). Kiekossa pyörivän kappaleen massan kaksinkertaistuttua myös kappaleen liike-energia kaksinkertaistuu. Ketjulla varustetussa vesakkomurskaimessa jokaista ketjun lenkkiä on käsiteltävä omana yksikkönä. Yksittäiseen ketjun lenkkiin ei saada sidottua massaa, jolloin myös ketjun lenkin liike-energia jää pienemmäksi.

Liike-energia lasketaan kaavalla

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Liike-energian kasvattamiseksi ketjujen tilalle suunniteltiin myös vaihdettavat terät, jotka ovat esitettynä kuvassa 12. Terän kiinnikkeitä murskaimeen suunniteltiin kaksi ja samat kiinnityspisteet toimivat myös ketjujen kiinnityspisteinä. Ketjuja koneeseen voidaan asentaa kaksi tai neljä, tilanteesta ja tarpeesta riippuen.



KUVA 12. Terien kiinnityskiekko varustettuna terällä (Tolvanen 2018.)

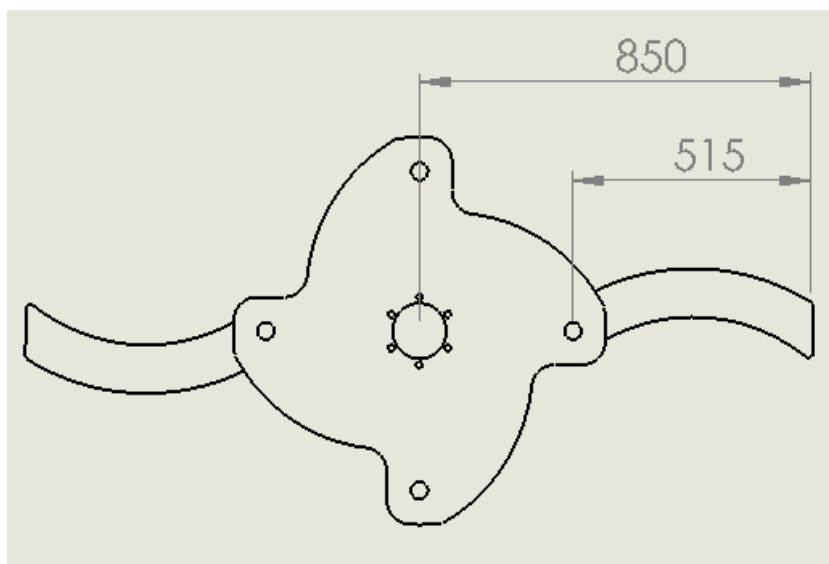
7,4 kilogrammaisen terän liike-energian riittävyden toteamiseksi liike-energian määrä varmistettiin laskennallisesti. Liike-energian laskemiseksi selvitettiin terän keskipisteen pyörimisnopeus kaavalla 2. Laskussa tarvittavat dimensiot ilmenevät kuvasta 13. Pyörimisnopeuden ja terän painon avulla laskettiin terän liike-energia kaavalla 3. Laskuista tuloksesi saatu liike-energian arvo vastaa massaltaan 250kg painoisen esineen kimmotonta törmäystä 60km/h nopeudesta, jonka todettiin olevan riittävä terän pinta-alalle suhteutettuna. Liike-energian määrän vaikutusta työturvallisuuteen käsitellään osiossa 5.1.

Terän keskipisteen nopeus pyörimisnopeudenkaavalla kiekon pyöriessä 1500 $\frac{1}{min}$

$$v = \omega r = 2\pi * 25 \frac{1}{s} * 0,59m = 93 \frac{m}{s} \quad (2)$$

Terän liike-energia kiekon pyöriessä 1500 $\frac{1}{min}$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0,5 * 7,4 \text{ kg} * 93^2 \frac{m^2}{s^2} = 32kJ \quad (3)$$



KUVA 13. Kiekon ja terän dimensiot (Tolvanen 2018.)

Koneen rakenteissa käytettiin S355 rakenneterästä, sekä Quard 400 kulutusterästä. S355 rakenneteräksen myötölujuus on opinnäytetyössä käytetyissä alle 16mm teräslevyissä minimissään 355 N/mm². Quard 400 kulutusteräksen myötölujuus on 1160 N/mm². Kulutusteräket kestävät hyvin kulutusta ja siitä syystä niitä käytettiin osissa, jotka joutuvat kosketukseen puustoon, kiviin tai maahan.

Rakenteen ulkogeometria pyrittiin pitämään muodoltaan mahdollisimman pyöreänä. Pyöreä muoto jäljittelee parhaiten pyörivien terien ja ketjujen geometriaa. Tällöin myös välttyttiin lisäpainoa tuovilta ylimääräisiltä kulmilta. Kuvassa 14 oleva koneen päällyspelti muodostaa koneen rungon ja sama levy kaareutuu koneen sivupelleiksi. Koneen työleveydeksi valittiin 1700mm, koska silloin koneen päällyspelti voitiin särmätä yhdestä 1500mm x 3000mm kokoisesta levystä.



KUVA 14. Runko särmättynä (Tolvanen 2018.)

Sivupelttien rinnalle särmättiin toiset sivulevyt, jolloin saatiin muodostettua sivulle kahden levyn kotelorakenne. Kotelorakenteen pohja mahdollistaa jalasten tukevan kiinnittämisen. Jalasten kannattelemana vesakkomurskainta voidaan kuljettaa epätasaisessa maastossakin säilyttäen murskauskorkeus vakiona. Murskauskorkeuden säilyminen vakiona parantaa työpölyä ja turvallisuutta, koska terät eivät tällöin joudu helposti kosketukseen maan tai irtokivien kanssa.

Koneen etuosaan suunniteltiin kuvassa 15 oleva hydraulisesti avattava luukku, joka mahdollistaa puuston syöttämisen murskaimen ketjujen/terien ulottuville. Avattava etuluukku helpottaa halkaisijaltaan suurempien puiden ja tiheiden vesakoiden murskausta, koska koneen runko ei törmää pystyssä oleviin puihin ennen kuin ne ovat katkaistu. Avattavalla etuluukulla estetään puiden kaatuminen vesakkomurskaimen suuntaan, koska luukulla voidaan pakottaa puiden kaatuminen kulkusuunnassa eteenpäin. Luukun avaus astetta muuttamalla, myös isot rungot saadaan kaatumaan hallitusti oikeaan suuntaan.



KUVA 15. Aukeava etuluukku auki asennossa (Tolvanen 2018.)

Rungon päällyyslevyn päälle lisättiin vahvikelevy, joka mahdollisti nostopisteen ja yläpuolelle sijoitetun laakeripesän tukevuuden. Vahvikelevyn ansiosta päällyyslevyn materiaalivahvuus pystyttiin minimoimaan ja välttyttiin paksumman levyn aiheuttamalta turhalta massalta. Työkunnossa olevan koneen kokonaismassaksi muodostui noin 330 kg.

Pääakselin laakerointi sijoitettiin keskelle konetta, jonka takia koneen varsinainen nostopiste täytyi sijoittaa laakeroinnin etupuolen välittömään läheisyyteen optimaalisen painojakauman saavuttamiseksi. Nostopisteen sijoittaminen laakeroinnin yläpuolelle olisi nostanut rakenteen korkeutta. Korkeampi rakenne olisi vaatinut rakenteelta enemmän tukemista. Matalammalla sijaitseva nostopiste toimii paremmin myös koneen liikuttelussa, koska murskain ei käännä niin helposti keulalleen esteeseen osuessaan vaan pyrkii ylittämään sen. Myös keskilinjan etupuolelle sijoitettu nostopiste edesauttaa koneen vakaata liikutteluvuutta ja kompensoi aukeavan etuluukun tuomaa lisäpainoa. Nostopiste suunniteltiin siten, että kallistussylinterin alapää ja kallistusnivelen alaosa sijaitsevat koneen

rungossa kiinteästi. Kallistussylinterin yläpää sijoitettiin kallistusnivelen yläosaan, josta vesakkomurskain kiinnittyy nosturiin. Kallistusnivelen yläosa kallistuu suhteessa runkoon mahdollistaen vesakkomurskaimen sivusuuntaisen kallistamisen ja kaltevien pientareiden murskauksen.

Kuvassa 16 olevan pääakselin laakerointi toteutettiin koneistamalla kahdelle laakerille laakeripinnat kuvassa 17 olevaan ainesputkeen.



KUVA 16. Pääakseli varustettuna teräkiekon kiinnityslaipalla, laakerilla ja lukkorenkaalla (Tolvanen 2018.)



KUVA 17. Koneistettu ainesputki laakerilla (Tolvanen 2018.)

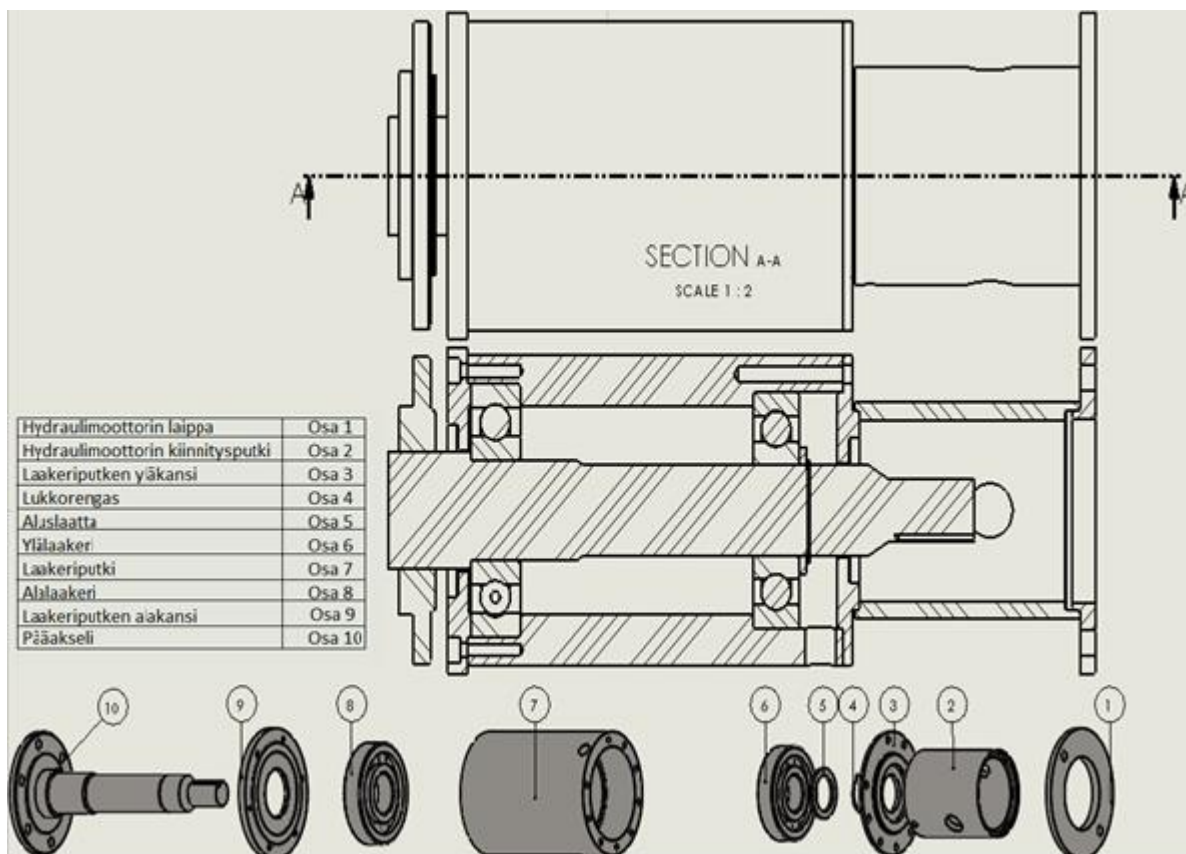
Laakerit ovat öljyvoidellut, koska ainesputki suunniteltiin öljytäyttöiseksi. Ainesputken ylä- ja alapään koneistettiin kuvassa 18 näkyvät kannet, joihin tehtiin paikat akselitiivisteille. Akselitiivisteet mahdollistavat pääakselin läpiviemisen kansien läpi, ilman öljyn karkaamista laakeriputkesta. Laakeriputkeen tehtiin öljyn täyttöputki sekä huohotin, joka mahdollistaa laakeriputken pysymisen paineettomana, öljyn lämpötilavaihteluista huolimatta.



KUVA 18. Ainesputken kannet varustettuna akselitiivisteillä (Tolvanen 2018.)

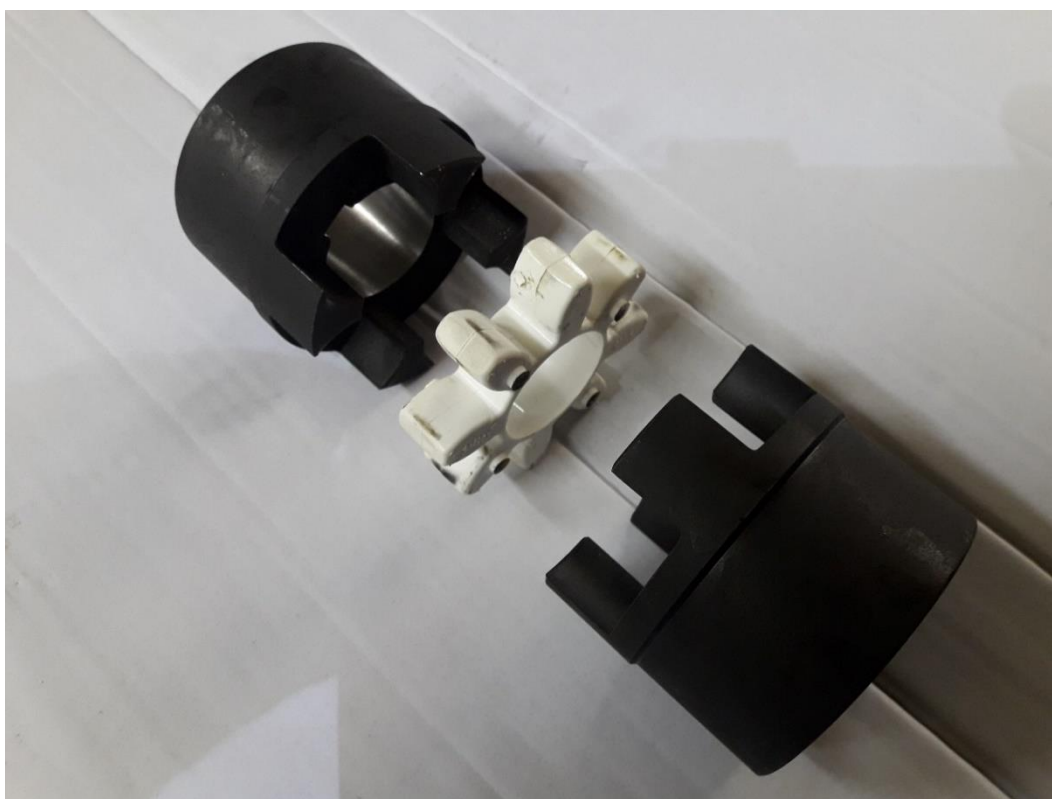
Pääakselin materiaaliksi valikoitui 42CrMo4 nuorrutusteräs. Nuorrutusteräkset ovat valmiiksi nuorrutettuja ja ne soveltuvat hyvin esimerkiksi lujuutta vaativien akselien valmistukseen. Nuorrutusteräksille ominaisia piirteitä ovat erinomaiset lujuus-sitkeysominaisuudet. (Ovako 2013)

Akselin alaosaan tehtiin kuvassa 19 näkyvään ja nuoli numero 10 osoittama olake, jonka avulla ylöspäin kohdistuva pystykuorma kohdistetaan alempaan laakeriin. Akselin alaspäin kohdistuva pystykuorma otettiin vastaan ylemmästä laakerista lukkorenaan ja aluslaatan avulla.



KUVA 19. Voimansiirron komponentteja (Tolvanen 2018.)

Akselin alapäähän tehtiin laippa, joka mahdollistaa ketjujen ja terien kiinnityslevyn kiinnittämisen akseliin. Akselin yläpäähän tehtiin kiilaura kuvassa 20 olevaa sakarakytkintä varten, jonka avulla hydraulimoottorin teho saatiin välitettyä pääakseliin.



KUVA 20. Sakarakytkin polyuretaani joustoelementillä (Tolvanen 2018.)

Ainesputken yläkannen yläpuolelle sijoitettiin kuvassa 21 näkyvä putki hydraulimoottorin kiinnittämistä varten. Moottorinkiinnitysputki mahdollistaa sakarakytkimien sijoittamisen suojaisaan paikkaan putken sisälle ja samalla hydraulimoottorille saadaan riittävän tukeva jalusta. Moottorin kiinnitysputken ansiosta kaikki voimansiirtoon kuuluvat osat ovat koneistettavissa sorvilla ja tällöin myös linjatavissa suoraan toisiinsa nähden. Putken kylkeen koneistettiin kolo, sakarakytkimen oikeaoppisen kohdistumisen varmistamiseksi.



KUVA 21. Hydraulimoottorin kiinnitysputki (Tolvanen 2018.)

Koneen voimansiirto suunniteltiin siten, että hydraulimoottoriksi voidaan valita hankintahinnaltaan edullinen hammaspyörämoottori tai mäntämoottori. Koneessa olevan pääakselin laakeroinnin takia hydraulimoottorin laakereihin ei kohdistu säteis-/aksaalikuormia, mikä mahdollistaa kevyesti laakeroitun hydraulimoottorin käytön. Hydraulimoottorin tehtäväksi muodostuukin ainoastaan hydraulipumpulta saadun hydraulisen tehon muuttaminen öljynvälityksellä vesakkomurskaimen akselia pyörittäväksi mekaaniseksi tehoksi

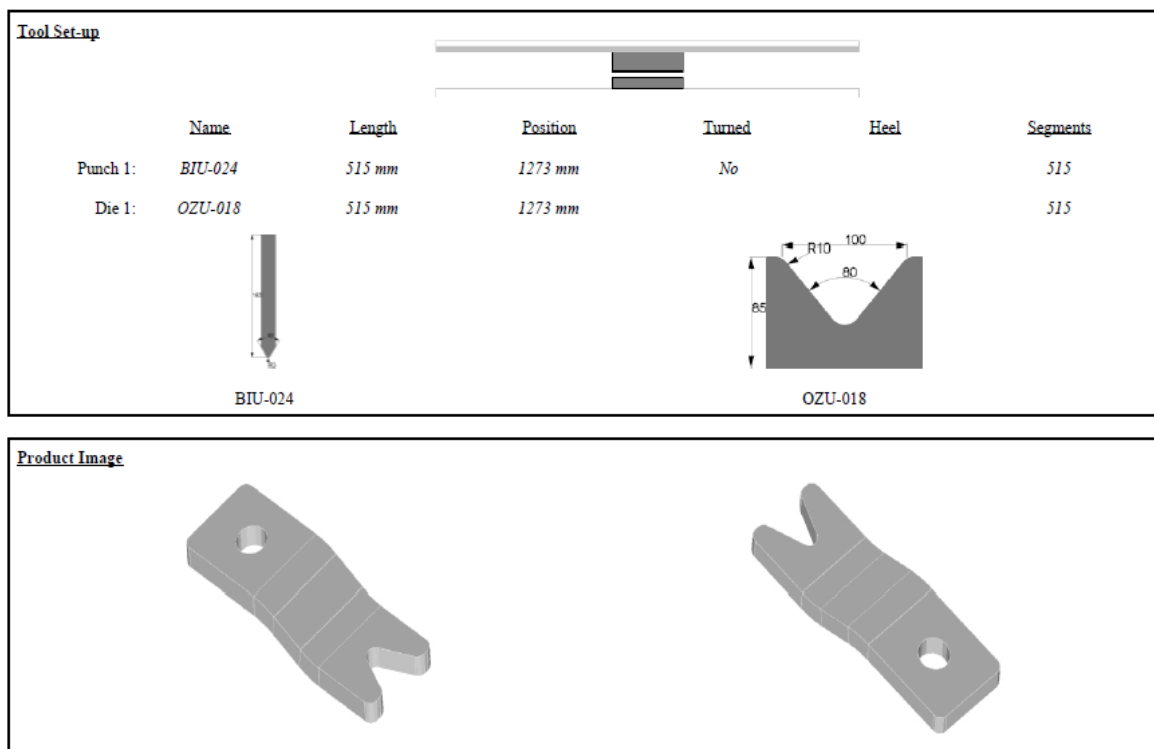
3 VALMISTUKSEN SIMULOINTI

Valmistuksen simuloinnissa käytettiin Autopol ja Mastercam tietokoneohjelmia. Simuloinnissa käytetyt tietokoneohjelmistot soveltuvat työstökoneiden ohjauksessa käytettävän NC-koodin valmistamiseen. Simulointi ohjelmien avulla voidaan simuloida työstökoneiden toimintaa tietokoneella, jolloin voidaan minimoida työstökoneiden ohjelmointivirheet.

3.1 Autopol työskentely

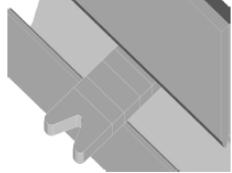
Autopol ohutlevyohjelman avulla saatiin varmuus levyosien särmäysgeometrian onnistumisesta. Kappaleiden särmäyksen simuloinnin avulla varmistuttiin, ettei kappaleet törmää särmäyskoneeseen särmäyksen aikana. Autopol ohjelmalla suoritettiin myös laskelmat särmäysvoimista. Laskennasta saatujen tietojen perusteella, pystyttiin kappaleiden särmäykset määrittämään käytettävissä olevan särmäyskoneen teholle. Laskennan avulla myös varmistuttiin Savonian särmäysohjetaulukosta valittujen työkalujen kestävydestä ja soveltuvuudesta valituille taivutussäteille.

Särmäyksen simuloinnin jälkeen Autopol ohjelmasta saatiin särmäys ohjelmat särmäys koneelle ja dokumentaatio simuloinnista. Dokumentaatiosta löytyy tiedot muun muassa työkalu valinnoista ja työkalujen pituudesta ks. kuva 22. Lisäksi dokumentaatiosta löytyy tärkeää tietoa särmäyksen kanalta kuten käytettävät voimat, takaisinjousto, taivutuskulma ja takavasteiden asema, ks. kuva 23. Autopol ohjelmasta saatiin tarkat levityskuvannot särmättävistä kappaleista, jotka mallinnettiin SolidWorksillä. Levityskuvien avulla levyosien geometria voitiin siirtää Mastercam työstökone ohjelmaan. Levityskuvien siirtoon ohjelmien välillä käytettiin DXF tiedostomuotoa.




KUVA 22. Särmäystyökalut terän kiinnikkeelle (Tolvanen 2018.)

Bend: 1					
Angle:	166°	Length:	100 mm		
Springback:	3.51°	Force:	13.57 ton		
Radius (Ri):	118.29 mm	Tool load:	135.74 ton/m		
Deduction (BD):	1.1 mm	Y:	152.73		
		Y-Opening:	48		
Finger 1:	X	96.46	Finger 2:	X	96.46
	Z	1492.5		Z	1567.5
	R	-13.01		R	-13.01
	Retract	0		Retract	0



Bend: 2					
Angle:	166°	Length:	100 mm	<i>Flipover, Rotate 180°</i>	
Springback:	3.51°	Force:	13.57 ton		
Radius (Ri):	118.29 mm	Tool load:	135.74 ton/m		
Deduction (BD):	1.1 mm	Y:	152.73		
		Y-Opening:	40.87		
Finger 1:	X	99.97	Finger 2:	X	99.97
	Z	1492.5		Z	1567.5
	R	0		R	0
	Retract	0		Retract	0

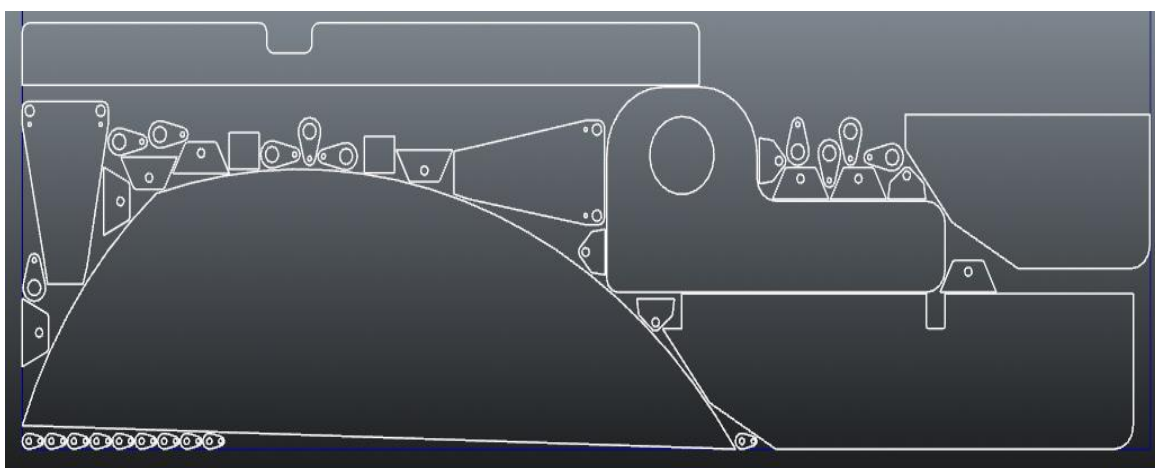


KUVA 23. Autopol ohjelman dataa osan särmäyksestä (Tolvanen 2018.)

3.2 Mastercam polttoratojen luominen

Mastercam työstökoneohjelmaa tarvittiin DXF kuvien mukaiseen polttoratojen valmistukseen. Särmäittävästä osista DXF kuvannot tuotiin Autopol ohjelmasta ja muista levyosista DXF kuvannot tuotiin suoraan SolidWorksisistä.

Mastercam ohjelmassa olevan nestaus toiminnon avulla DXF kuvat sijoitettiin ohjelmaan. Nestaus toiminnolla DXF kuvat järjestettiin ohjelmalle annettavien ehtojen mukaiseen järjestykseen ja tiettyille etäisyyksille toisistaan, ks. kuva 24. Nestauksen avulla pystyttiin optimoimaan osien muodot leikattavalle levyille, materiaalihukan välttämiseksi. Materiaalihukan minimoiminen vähentää vesakkomurskaimen valmistamisesta aiheutuvia kustannuksia ja parantaa koneen ekologisuutta.



KUVA 24. 6mm osat nestattuna Mastercam ohjelmassa (Tolvanen 2018.)

Nestattujen kappaleiden geometrian avulla kappaleille määritettiin polttoradat termistä leikkausta varten. Polttoradat luotiin Mastercam ohjelmalla ja siihen konfiguroiduilla Messer hienosädeplasma asetuksilla. Mastercam ohjelmalla polttoradoille luotiin lähestymis- ja poistumisvektorit, sekä poltto-suunta. Lisäksi määritettiin polton aloituspaikka ja polttojärjestys.

Polttoratojen luonnin jälkeen ne postprosessointiin Mastercam ohjelmalla NC-koodiksi. NC-koodin avulla saatiin polttoleikkauskone liikkumaan Mastercam ohjelmassa luotujen polttoratojen mukaisesti.

4 OSAVALMISTUS

Levyosien osavalmistuksessa käytettiin HitSavonian levytyö kalustoa. Hyvän kaluston ansiosta osavalmistusta, sekä osien suunnittelu voitiin tehdä vesakkomurskaimen teknisistä ominaisuuksista tinkimättä ja mittatarkasti.

4.1 Osien plasmaleikkaus ja särmäys

Osien plasmaleikkaus suoritettiin HitSavonian Messer hienosädeplasmaleikkauskoneella. Levyjen leikkaus suoritettiin Mastercam ohjelmalla tehdyllä NC-koodilla, joka siirrettiin plasmaleikkauskoneelle muistitikulla. Hienosädeplasman tuottama leikkausjälki on siisti ja viimeistelyn tarve vähäinen. Plasmaleikkauksen jälkeen särmättävät osat siirrettiin HitSavonian Finn-Power särmäyspuristimelle. Autopol ohjelmasta saadun tiedon perusteella särmäyspuristimeen asetettiin oikeat työkalut, joiden avulla saatiin halutut taivutussäteet. HitSavonian särmäyspuristinta on mahdollista käyttää Autopol ohjelmasta saadulla NC-koodilla, jolloin käyttäjän tärkeimmäksi tehtäväksi muodostuu kappaleen sijoittaminen Autopol ohjelman määrittämällä tavalla takavasteeseen kiinni. Särmäyksen jälkeen levyosat olivat valmiina kokoonpantavaksi, ks. kuva 25.

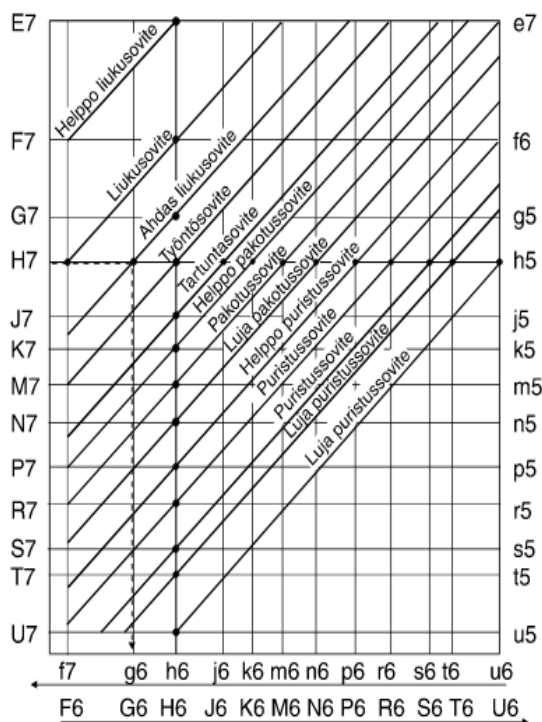


KUVA 25. Särmätyt osat ja polttoleikkeitä (Tolvanen 2018.)

4.2 Koneistettavat osat

Koneistettavat osat koneistettiin alihankintana. Koneistuksen suorittaminen alihankintana mahdollisti tarkoitukseen soveltuvien työstökoneiden käytön, jolloin saavutettiin vaadittavat mittatarkkuudet.

Osien sovitteiden määräämisessä apuna käytettiin toleransseja. Toleranssi ilmoittaa sallitun mitta-
poikkeaman annettuun mittaan verrattuna. Toleranssien valinnassa käytettiin kuvassa 26 olevaa to-
leranssikaaviota. Toleranssikaaviossa toleranssiasteiden IT7/6 reiät vasemmalla ja akselit alareu-
nassa. IT6/5 toleranssiasteiden reiät alareunassa ja akselit oikealla sivulla. (Kivioja 2011, 7).



KUVA 26. Toleranssikaavio (Kivioja 2011, 7.)

Koneistettavien osien toleranssit valittiin osakomponenttien valmistajien toleranssi suositusten mukaiseksi.

Liukulaakeroidut laakeripesät koneistettiin H7 toleranssiin ja akselit e7 toleranssiin. Toleranssit valittiin laakerivalmistajan suositusta vastaavaksi. (Debearings 2016)

Pääakselin ja laakeriputken laakeri toleranssit valittiin SKF laakerivalmistajan ohjeen mukaisesti (SKF 2016). Ainesputkessa olevat laakeripesät koneistettiin M7 toleranssiin, joka mahdollistaa laakereiden kuormittamisen säteis- ja aksiaali suunnissa. Pääakselissa olevat laakerien paikat koneistettiin h5 toleranssiin, mahdollistamaan akselin oikeaoppinen asennus laakeriputkeen.

Pääakselin ja terien kiinnityskiekon väliin koneistettiin ahdistussovite, jonka avulla kiekko saadaan liitettyä akseliin välyksettömästi. Kiekkoon koneistettiin H7 toleranssi pesä ja akseliin s6 toleranssissa oleva sovite pinta.

Laakeriputken kansien sovite pinta koneistettiin g6 toleranssiin, koska silloin kansien asennus on mahdollista laakeriputkessa olevaan M7 toleranssiin. Tällöin kansien ja laakeriputken välille saatiin riittävän tarkka sovite, joka on myös purettavissa. Kansien ja laakeriputken välille tarvittiin sovitetta, koska pääakseli tiivistyy kansien läpivienneistä akselitiivisteillä. Tästä syystä kannet eivät asemoidu riittävän tarkasti kohdalleen pelkästään pulttien avulla. Myös laakeriputken ja kansien välinen tiivistäminen tiivistyspaperilla vaatii tarkasti paikallaanpysyvät vastinpinnat. Akselitiivisteille koneistettiin kansiin valmistajan suositusten mukaiset h8 toleranssi pesät ja akselin tiivistyspinnat koneistettiin h11 toleranssiin, ks. kuva 27.



Akseli

Toleranssit: h11
 Pinnansileys: Ra 0,3 - 0,5 µm pistohionta
 Pinnan kovuus: 40 - 60 HRC

Tiivistepesä

Toleranssi: H8

KUVA 27. Akselitiiviste (Tiivistekeskus 2015.)

Sakarakytkimen kiinnitykseen käytettiin tartuntasovitetta, joka yhdessä kiilauran ja kiilan kanssa mahdollistaa suurien momenttien siirtämisen. Akselin sovitepinta koneistettiin js6 toleranssiin ja sakarakytkin H7 toleranssiin. Tarkoitukseen sopivien sovitteiden valinnassa käytettiin Aimo Peren Koneenpiirustus 1&2 kirjaa, ks. kuva 28.

	Reikäkanta				Käyttökohteita
	H7	H8	H9	H11	
Ahdistusovite		u7			Luja ahdistusovite. Liittäminen kutistamalla tai paineöljyllä. Vääntömomentin siirtoon ilman kiilaa.
	s6				Ahdistusovite. Liittäminen puristamalla tai kutistamalla. Siirtää pienehkön vääntömomentin.
	p6				Helppo ahdistusovite. Kestää pienen vääntömomentin. Laakeriholkki pesässään, hihnapyörä ja vinohampainen hammaspyörä kiilaliitoksella akselillaan.
Välisovite	m6				Pakotusovite. Koottava yleensä puristimella. Vaatii kiilavarmistuksen vääntömomenttia siirrettäessä.
	k6				Helppo pakotusovite. Koottavissa vasaroimalla. Pysyvästi asennetut ketjupyörät ja suorahampaiset hammaspyörät akselillaan.
	js6				Tartuntasovite. Liikuteltavissa käsin tai kevyesti vasaroimalla. Purettavat hammas- ja käsipyörät akselilla.

KUVA 28. Sovitteita (Pere 2012, 20-28.)

Toleranssipintojen pinnankarkeus (Ra) olivat pääsääntöisesti 3,2µm. Ahdistus- ja laakerisovitteissa käytettiin pinnankarkeuden arvoa 0,8µm (Pere 2012, 21-19). Akselin tiivistyspinnat koneistettiin pinnankarkeudeltaan tiivistevalmistajan suosittelemaan arvoon 0,5µm, ks. kuva 22.

5 TURVALLISUUS JA KESTÄVYYS

Suurella nopeudella pyörivät osat ja vaihtelevat työskentelyolosuhteet asettivat vaatimuksia koneen suojaukselle ja kestävyydelle. Koneen pääasiallinen käyttö tapahtuu epätasaisilla pinnoilla ja kiinteiden esteiden, kuten kivien ja kallioiden välittömässä läheisyydessä. Esteisiin törmäykset aiheuttavat teräviä iskuja koneen runkoon ja voimansiirtoon. Törmäyksiä kiinteisiin esteisiin ei voida estää ja vaan ne oli huomioitava suunnittelussa. Kestävyttä arviotiin laskemalla kriittisiä dimensiota koneen rakenteesta ja kuormittamalla rakennetta tietokoneavusteisesti. Kestävyuden arvioinnissa huomiotiin myös mahdolliset ylikuormitustilanteet, kuten vahinko ja onnettomuustilanteet. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi vesakkomurskainta kannattelevan alustakoneen kaatuminen tai äkillinen kallistuminen. Onnettomuustilanteissa vesakkomurskaimeen saattaa kohdistua suuria ylhäältäpäin kohdistuvia voimia, jotka aiheutuvat alustakoneen massasta. Näissä tilanteissa vesakkomurskaimen rakenne ei voi joustaa hallitsemattomasti tai jopa rikkoontua kriittisistä kohdista, kuten voimansiirrosta. Tästä syystä rakenteissa käytettiin tarkoitukseen soveltuvia materiaaleja kuten kulutus- ja nuorrutusteräksiä, jolloin rakenteet voitiin mitoittaa riittäviksi myös onnettomuustilanteisiin. Koneen paino ja materiaalikustannukset voitiin myös pitää mahdollisimman alhaisena, kun materiaalivalintoihin kiinnitettiin huomiota.

Koneensuunnittelussa yhtenä tavoitteena oli työturvallisuus, joka pyrittiin huomioimaan kaikissa koneen osissa. Lähtökohtana oli noudattaa konelakia, jonka mukaan valmistajan tulee suunnitella ja valmistaa kone siten, ettei se tarkoituksenmukaisessa käytössä aiheuta vaaraa käyttäjälle eikä ulkopuolisille henkilöille.

5.1 Koneen työturvallisuus

Vesakkomurskaimen rakenteen kriittisimmät osat ovat työturvallisuuden näkökulmasta voimansiirron komponentit. Pääakselin kestävyys, terien kiinnityskiekon kestävyys ja terien kiinni pysyvyys ovat tärkeässä asemassa koneen turvalliselle työskentelylle. Tästä syystä niiden mitoituksen riittävyys varmistettiin kaavoilla 4 ja 5.

Terää paikallaan pitävään pulttiin kohdistuvan kuormituksen laskenta voiman kaavalla

$$F = m \cdot \frac{v^2}{r} = 7,4 \text{ kg} \cdot \frac{62,72^2 \text{ m/s}}{0,4 \text{ m}} = 72775 \text{ N} \quad (4)$$

36mm pultin leikkausjännityksen laskenta leikkausjännityksen kaavalla kaksileikkeisessä liitoksessa

$$\tau = \frac{F/2}{\pi \cdot r^2} = \frac{72775 \text{ N}/2}{\pi \cdot 18^2 \text{ mm}} = 35,7 \text{ MPa} = 35,7 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

Taulukko 1 Staattisesti kuormitetun ruuviliitoksen sallitut jännitykset

Kaksi- tai useampileikkeisen liitoksen sallitut jännitykset ¹ (SFS 3200)										
Ruuviliitoksen laatu- luokka	Ruuvin luokka	Ruuvin sallitut jännitykset N/mm ²						Rakenneteräksen sallittu reunapuristus		
		Vetorasitus ²		Leikkaus ³		Reunapuristus		luokka	Kuormitustapaus	
		Tav.	Harv.	Tav.	Harv.	Tav.	Harv.		Tav.	Harv.
R1	4.6	100	115	90	105	230	265	33	180	205
	5.8	160	185	150	170	290	335	37	230	265
	8.8 ⁴	240	275	220	255			44	270	310
R2	4.6	100	115	120	140	260	300	52	325	375
	5.8	160	185	180	210	330	380	37	260	300
	8.8 ⁴	240	275	260	300			44	310	360
								52	380	430

TAULUKKO 1. Staattisesti kuormitetun ruuviliitoksen sallitut jännitykset (Salmi 2003, 207.)

Taulukossa 1 voidaan havainnoida 8.8 ruuvien sallittujen leikkausjännitysten olevan 220N/mm².

Tässä tapauksessa käytettiin ohjeen mukaisesti lujuusluokan 5.8 ruuvien sallittua leikkausjännitystä 150N/mm², koska ruuvia ei kiristetty 8.8 ruuville määrättyyn arvoon 250N/mm². Ruuviin kohdistuva leikkausjännitys 35,7N/mm² ja ruuvi kestää 150N/mm².(Salmi 2003, 205-207)

Vesakkomurskaimen murskausterä saattaa irrota, mikäli pultin kiinnitys on suoritettu puutteellisesti. Pultin irrottaessa äkillisesti on mahdollista, että terän koko 32kJ liike-energia kohdistuu esimerkiksi vesakkomurskaimen runkoon. Kaavoilla 6 ja 7 selvitetään, kuinka paksu koneen S355 rakenneteräs runko tulisi olla, jotta se kestäisi irtoavan terän aiheuttaman paineen murtumatta. Laskuissa tarkasteltiin epäsuotuisinta tilannetta eli terä lentää pienimmän pinta-alan omaavalla kantilla, suoraan koneen runkoon.

Rungon kestävä suurin mahdollinen voima terän pienimmällä pinta-alla laskettiin kaavalla

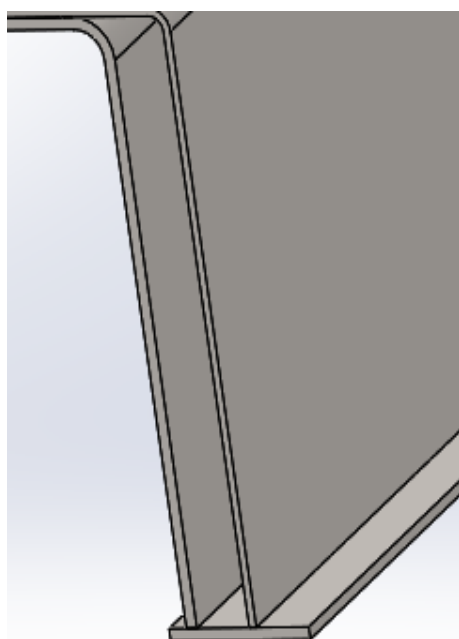
$$\rho = \frac{F_k}{A} \Leftrightarrow F_k = \rho * A = 1600 \text{ mm}^2 * 550 \text{ N/mm}^2 = 880000 \text{ N} = 880 \text{ kN} \quad (6)$$

Levyosien pienin mahdollinen paksuus terän liike-energian pysäyttämiseksi selvitetään kaavalla

$$E_k = F_k * s \Leftrightarrow s = \frac{E_k}{F_k} = \frac{32 \text{ kJ}}{880 \text{ kN}} = 0,036 \text{ m} = 36 \text{ mm} \quad (7)$$

Koneen tulisi olla 36mm paksua S355 rakenneterästä, jotta se kestäisi epäsuotuisimman terän irtoamistilanteen. Terän irtoamisen aiheuttavaa riskiä ei voida poistaa, mutta sitä voidaan pienentää. Mikäli jokin terän irtoamistilanteen vakavuuteen vaikuttavista muuttujista saa toisenlaisia arvoja, irtoamistilanteen vakavuus pienenee. Irtoamistilanteeseen vaikuttavia muuttujia ovat terän liike-energia irtoamistilanteessa, terän lentorata ja törmäyskulma.

Koneeseen suunniteltiin myös työturvallisuutta parantavia seikkoja, kuten kaksikerroksiset sivulevyt koneen molemmille sivuille, ks. kuva 29. Kerrosrakenteen ansiosta koneesta kuljettaja on paremmassa suojassa, koneelle työskenneltäessä suoraan sivulta. Kaksikerrosrakenteen ansiosta koneen varsinainen ulkokuori kestää suorana ja visuaalisesti siistinä, sisäkuoren ottaessa sinkoavien kivien iskut vastaan.



KUVA 29. Kerrosrakente (Tolvanen 2018.)

Murskaimen takaosaan suunniteltiin irrotettavat suojuslevyt. Suojuslevyt varustetaan joustavilla kumeilla tai vaihtoehtoisesti ne voidaan korvata ketjuverholla. Ketjuverhon omamassa hidastaa sinkoilevia kappaleita tehokkaammin kuin joustavat kumit, mutta kumeilla saavutetaan huomattava massasäästö.

Kone on suunniteltu pääasiassa suuremman puuston murskaukseen, jolloin hydraulinen etuluukku on pääasiassa auki. Koneen etupuolelle ei sijoitettu suojuksia, koska suojukset voitaisiin sijoittaa kestävästi ainoastaan etuluukkuun ja etuluukun aukaisun jälkeen suojukset nousisivat pois suojattavalta alueelta. Toisaalta koneeseen syötettävä puusto ja kasvusto ehkäisee eteenpäin sinkoilevien kappaleiden vapaata lentoa.

5.2 Turvallisuutta koskevat säädökset

Konelaki on teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuutta koskeva laki. Lain mukaan valmistajan tulee suunnitella ja valmistaa tekninen laite rakenteiltaan, varusteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaiseksi, että se soveltuu tarkoitettuun käyttöön, eikä tällaisessa käytössä aiheuta tapaturman vaaraa, eikä haittaa terveydelle. (Siirilä&Tytykoski 2016, 31)

Vuoden 1994 jälkeen käyttöön otettujen koneiden on täytettävä konedirektiivin vaatimukset. Säädöksiä noudattamatta jättämisellä voi syyllistyä kuolemantuottamukseen, vammantuottamukseen tai vaaran aiheuttamiseen.

Mikäli konetta lähdetäisiin valmistamaan ja kaupallistamaan tulisi koneessa olevista riskeistä tehdä tarkat dokumentoinnit. Vesakkomurskain pyrittiin suunnittelemaan ja valmistamaan koneenraken- nusta koskevat säädökset huomioiden. Vesakkomurskain voidaan huoltaa ja tarvittavat säädöt voidaan tehdä henkilöitä vaarantamatta, koneasetuksen turvallisuus lähtökohtien mukaisesti. Myös vaarojen tunnistamiseen ja niiden eliminointiin kiinnitettiin huomiota esimerkiksi koneen yläpuolisten voimansiirron komponenttien osalta. Koneen yläpuolella sijaitsevat voimansiirron komponentit ovat sijoitettu rakenteiden sisälle siten, ettei liikkuviin osiin ole mahdollisuutta osua tai takertua koneen liikkeessä. (Siirilä&Tytykoski 2016, 42)

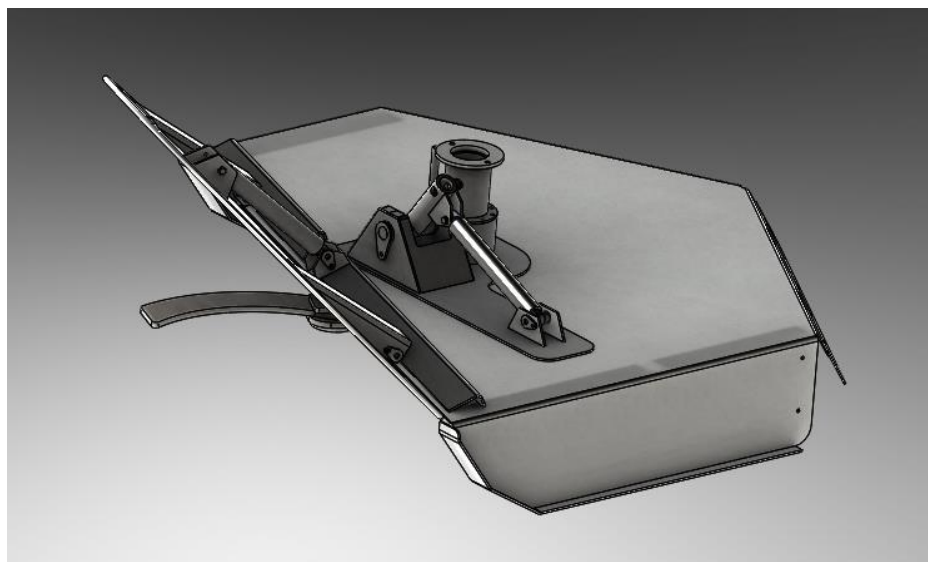
6 YHTEENVETO

Työssä onnistuttiin täyttämään opinnäytetyön kohteena olevalle vesakkomurskaimelle asetetut vaatimukset. Vesakkomurskain soveltuu kiinnitettäväksi kaikkiin nostureihin, joiden nostokapasiteetti riittää koneen liikuttamiseen. Rajoittavana tekijänä vesakkomurskaimen sijoittamiselle erilaisiin koneisiin muodostuu murskaimen hydraulimoottorin vaatimasta hydraulisesta tehosta. Vesakkomurskain on ominaisuuksiltaan vertailukelpoinen nykyisin markkinoilla olevien koneiden kanssa. Ominaisuuksia, joita voitaisiin hyödyntää markkinoilla olevissa koneissa ovat muun muassa vesakkomurskaimen pieni massa, sekä voimansiirron komponenttien mitoittaminen ja sijoittaminen. Ammattikäyttöön suunnattu yksityiskohta on myös epäsymmetrinen ja hydraulisesti avattava etuluukku.

Työssä käytettiin nykyaikaisia valmistusmenetelmiä ja koneita. Koneen valmistukseen soveltuvat tietokoneohjelmistot olivat käytössä suunnittelusta alkaen ja myös työstökoneiden ohjaus hoidettiin numeerisesti.

Konetta olisi mahdollista valmistaa sarjatuotannossa, jos murskauksessa käytetään ketjua. Teräversion valmistuksessa valmistajan tulisi varmistua koneen turvallisuudesta käyttäjän aiheuttamien muutoksien osalta muun muassa terien kiinnityspulttien huolimattoman kiinnityksen seurauksista. Alihankintaketjun riskien arviointi on myös tärkeässä asemassa sarjatuotannossa, jolloin varmistetaan osakomponenttien valmistukseen liittyvistä seikoista, erityisesti toleroinnin ja oikeiden materiaalien osalta. Sopimattomien materiaalien käyttö esimerkiksi pääakselissa olevan 42CrMo4 nuortusteräksen sijaan voi johtaa koneen ennalta arvaamattomaan rikkoontumiseen. Annetuista toleroinneista poikkeamisella esimerkiksi terien kiinnityskiekon ja pääakselin sovitteen osalta voi aiheuttaa valmistajasta riippumattomaan onnettomuustilanteeseen. Sarjatuotannossa valmistajan olisi kyettävä varmistumaan vesakkomurskaimen turvallisuudesta ja vaatimusten mukaisuudesta.

Työssä tekijä sai kokemusta koneensuunnittelusta ja varsinkin tietokoneohjelmistojen käytöstä, sekä niiden hyödyntämisestä teollisessa valmistuksessa nykyaikaisilla työstökoneilla. Työn riittävä haastavuus antoi tekijälle mahdollisuuden hyödyntää insinöörikoulutuksessa oppimiaan taitoja koneenrakennuksesta.



7 LÄHTEET

- DEBEARINGS 2016. Tuote-esite Liukulaakeri[verkkajulkaisu]. Debearings. [Viitattu 2018-10-21.] Saatavissa: https://debearings.fi/wp-content/uploads/2016/08/BWG_Fin.pdf
- OVAKO 2013. Turengin teräspalvelukeskus varastoluettelo[verkkajulkaisu]. Ovako. [Viitattu 2018-10-21.] Saatavissa: www.ovako.com/Global/Downloads/Product_information/Bar_products/FI/Turenki%20Steel%20Service%20Center%20Varastoluettelo%202013.pdf
- SKF 2016. SKF-laakerien kunnossapito[verkkajulkaisu] SKF yhtymä. [Viitattu 2018-10-24.] Saatavissa: http://www.skf.com/binary/123-290853/SKF-laakerien-kunnossapito---SKF-bearing-maintenance-handbook---10001_1-FI.pdf
- PERE, A. 2012. Koneenpiirrus 1&2. Espoo: Kirpe Oy, 20-28
- PERE, A. 2012. Koneenpiirrus 1&2. Espoo: Kirpe Oy, 21-19
- KIVIOJA, S. 2011. Toleranssit ja pinnankarheus. Espoo, 7
- TIIVISTEKESKUS 2015. Hinnasto 2015[verkkajulkaisu] ETOLA yhtiöt. [Viitattu 2018-10-25] Saatavissa: http://www.tiivistekeskus.fi/uploads/images/Luettelot/TiKe_kevyt_2015.pdf
- SIIRILÄ, T., TYTYKOSKI, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy, 388.
- SALMI, T. 2003. Teknillisen mekaniikan perusteet. Tampere: Klingendahl Paino Oy, 205-207
- SIIRILÄ, T., TYTYKOSKI, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy, 31.
- SIIRILÄ, T., TYTYKOSKI, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy, 42.
- SALHYDRO. Hydrauliiikkakomponentit[verkkajulkaisu]. Salhydro Oy. [Viitattu 2018-11-21.] Saatavissa: <https://www.salhydro.fi/fi/mantamoottorit/hydro-leduc-m-iso-3019-mantamoottori-lierioakselilla>
- LANTMÄNNEN AGRO. Tuotteet[verkkajulkaisu]. Lantmännen Agro Oy. [Viitattu 2018-11-21] Saatavissa: <https://www.lantmannenagro.fi/tuotteet/tyokoneiden-ja-traktorien-varaosat/elho-varaosat/ve-sakkomurskaimen-ketju-elho/>
- ELHO 2018. Tuotteet[verkkajulkaisu]. Ab El-Ho Oy. [Viitattu 2018-11-21] Saatavissa: <https://www.elho.fi/products-fi-fi/mulchers-fi-fi/tornado-440-fi-fi/>

ELHO 2018. Tuotteet[verkkajulkaisu]. Ab El-Ho Oy. [Viitattu 2018-11-21] Saatavissa:
<https://www.elho.fi/products-fi-fi/mulchers-fi-fi/sidechopper-tpm-520-pro-fi-fi/>