



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HARJALAITTE KAIVINKO- NEEN LISÄLAITTEESEEN

TEKIJÄ/T:

Jarkko Rönkkö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jarkko Rönkkö	
Työn nimi Harjalaite kaivinkoneen lisälaitteeseen	
Päiväys 22.4.2021	Sivumäärä/Liitteet 55/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) TMK Energiakoura Oy/Mika Koponen, Tenho Koponen	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö projekti toteutettiin yhteistyössä tilaajayrityksen (TMK Energiakoura Oy) kanssa. Tarkoituksena oli suunnitella harjalaite lisävaruste heidän uusimpaan tuotteeseensa. Uusin tuote eli MultiKoura on uudentyyppinen monikäyttökoura, jolla voidaan hoitaa esimerkiksi purkutöitä, kivien lajittelua ja pellonraivausta. Harjalaite lisävarusteen avulla pystyttäisiin tämän lisäksi puhdistamaan alueita esimerkiksi rakennustyömaita tai ahtaita piha-alueita kouraan asennettavaan kauhaan.</p> <p>Työ on vahvasti tuotekehitysprojekti, jossa käsitellään hieman myös siihen liittyvää teoriaa kuitenkin pääpainon ollessa itse suunnittelutyössä. Työssä käsitellään tarkasti harjalaitteen eri osien ja kokoonpanojen suunnittelua tarkasti perustellen miksi tehdään juuri niin kuin tehdään. Pääpaino opinnäytetyössä on ollut harjalaitteen mekaaninen liittäminen MultiKouraan ja myös raportissa tästä on kerrottu laajasti.</p> <p>Raportissa käsitellään harjalaitteen varustelusuunnittelua ja FEM tarkastelua. Varustelusuunnittelu sisältää laitteen sähkö ja hydraulikka suunnitelmat siitä, kuinka kouran hydraulikka jaetaan toimimaan sekä kouran pääsylinterille, että tarvittaessa harjalaitteen hydraulimoottoreille. FEM tarkastelu suoritetaan runkoon, jolla harjalaite liitetään osaksi MultiKouraa ja näin saadaan varmistusta suunnitellun rungon staattisesta ja dynaamisesta kestävydestä.</p> <p>Lopputuloksena projektista saatiin laitteen valmistuspiirustukset, varustelusuunnitelmat ja rungon FEM tarkasteluraportti, joihin oltiin tyytyväisiä. Prototyyppi laitetta lähdettiin valmistamaan. Tulevaisuudessa laitetta tullaan jatkokehittämään ja suunnittelemaan mahdollisesti vielä toinen prototyyppi, jonka testien jälkeen laite on mahdollisesti valmis lanseerattavaksi markkinoille.</p>	
Avainsanat Tuotekehitysprojekti, Harjalaite, Monikäyttöisyys, Kaivinkoneen lisälaitteen lisävaruste	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Jarkko Rönkkö	
Title of Thesis Designing a Brush Attachment for an Excavator Attachment	
Date 22 April 2021	Pages/Appendices 55/4
Client Organisation /Partners TMK Energiakoura Oy/Mika Koponen, Tenho Koponen	
<p>Abstract</p> <p>The thesis project was commissioned by the company TMK Energiakoura Oy. The purpose was to design a brush attachment for their latest product. The latest product, MultiGrab, is a new type of multi-purpose grapple that can be used for demolition work, rock sorting and field clearing. The brush attachment would also be able to clean areas, for example construction sites or narrow yard areas, with a bucket to be installed in the grapple.</p> <p>The work is strongly a product development project, which also deals with the related theory with a theoretical background but the main emphasis is on the design work itself. The work deals in detail with the design of the different parts and assemblies of the brush device, justifying why it was done exactly as it was done. The main emphasis in the thesis was the mechanical connection of the brush device to the MultiGrab and this has also been extensively described in the report.</p> <p>The report discusses brush equipment design and FEM review. The equipment design includes electrical and hydraulic plans for how the grapple hydraulics are distributed to operate on both the grapple master cylinder and, if necessary, the brush unit hydraulic motors. The FEM inspection was performed on the frame with which the brush device is connected as part of the MultiGrab, and this is how the static and dynamic durability of the designed frame was ensured.</p> <p>As an end result the manufacturing drawings of the device, the equipment plans and the FEM inspection report of the hull were made. The commissioner was satisfied with the end result. The manufacture of the prototype device has already been started. In the future, the device will be further developed and possibly another prototype will be designed, after which the device may be ready to be launched on the market.</p>	
<p>Keywords R&D Project, Brush attachment, Versatility, Excavator attachment accessory</p>	

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö kertoo harjalaitteen suunnittelusta TMK MultiKouraan, sekä suunnittelun eri vaiheista, lopputuloksista ja käyttökokemuksista. Opinnäytetyö on vahvasti tuotekehitysprojekti, minkä vuoksi myös raportti painottuu siihen, mitä kehitettiin ja millä tavalla parasta mahdollista lopputulosta haettiin sekä miten siinä onnistuttiin.

Opinnäytetyön toimeksiantaja TMK Energiakoura Oy on moderni laitevalmistaja rohkealla ja ennakkoluulottomalla tuotekehityksellä, joka mahdollistaa yrityksen kasvamisen ja pysymisen kehityksen aallonharjalla.

Kuopiossa 22.4.2020

Jarkko Rönkkö

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	ESISELVITYS.....	8
2.1	Lähtökohdat ja ajatukset	8
2.2	Konseptoinnin tulokset	8
2.3	Yhteenveto.....	9
3	TUOTEKEHITYS JA SUUNNITTELUPROSESSI	10
4	TUOTEKEHITYSTYÖN LÄHTÖKOHDAT.....	12
4.1	Vaihtoehdot harjalaitteelle.	12
4.2	Ostettu harjalaite.....	14
5	SUUNNITTELU	19
5.1	Suunnittelu työkalut.....	19
5.2	Suunnittelun työvaiheet.....	19
5.2.1	Liikeratojen suunnittelu	20
5.2.2	Osien suunnittelu	22
5.2.3	Materiaalin valinta	22
5.2.4	Osien mallintaminen.....	23
5.3	Valmistuspiirustukset.....	26
5.4	Lisälaitesuunnittelusta johtuvat muutokset.	27
5.5	Uuden rungon suunnittelu.	28
5.6	Työntövarren kiinnityksen suunnittelu harjalaitteeseen.....	29
5.7	Uuden rungon liikeratojen tarkastelu.....	30
5.8	Varustelu suunnittelu	33
5.8.1	Hydrauliikka suunnittelu	33
5.8.2	Sähkösuunnittelu	34
5.8.3	Tilavaraus suunnittelu.	35
5.8.4	Varustelulevyjen suunnittelu.	38
5.8.5	Valmistuspiirustusten tekeminen	40
6	FEM-TARKASTELU	41
6.1	Tutkittava kokoonpano.....	41
6.2	Kiinnitykset.....	42

6.3	Voimat	43
6.4	Tulokset	43
6.4.1	Siirtymät.....	43
6.4.2	Jännitykset	44
6.5	Yhteenveto.....	45
7	PROTOTYYPIN VALMISTUS	46
8	KOKEMUKSIA LAITTEESTA	47
9	LAITTEEN JATKOKEHITYS.....	48
10	TUOTTEEN KAUPALLISTAMINEN.....	49
11	PROJEKTIN YHTEENVETO	50
12	LÄHTEET	51
13	LIITTEET	52
	LIITE 1: HARJALAITTEEN PÄÄKOKOONPANO PIIRUSTUS.....	52
	LIITE 2: HARJALAITTEEN RUNGON HITSAUSPIIRUSTUS	53
	LIITE 3: HARJALAITTEEN RUNGON JÄYKISTELVYN PIIRUSTUS	54
	LIITE 4: HARJALAITTEEN VARUSTELUN PÄÄPIIRUSTUS	55

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella toimeksiantajalle (TMK Energiakoura Oy, josta käytetään tässä opinnäytetyössä nimitystä TMK) harjalaite lisävarusteen prototyyppi eli lisälaite MultiKouraan, joka on heidän uusin tuotteensa. MultiKoura lanseerattiin markkinoille lokakuussa 2020. TMK MultiKoura on aivan uudentyypinen monikäyttökoura, jollaista markkinoilla ei ole ennen nähty. Kouran runko on kantoharasta järeämpi versio, jolla voidaan kaapia maata esimerkiksi pellon rai- vauksissa sekä erotella kiviä maa-aineksesta. Kourassa on lisäksi vastakahmain, joka on päärunkoa huomattavasti kapeampi, mutta riittävän tukeva sekä kestävä, jotta sillä pystyy tarttumaan isoihin kantoihin ja kiviin. Myös esimerkiksi erilaisten puurakenteiden ja putkien nostelu onnistuu vaivatto- masti. Vastakahmain on lisäksi pikalukituksella irrotettavissa. Sen paikalle on mahdollista kiinnittää erinäisiä lisävarusteita.

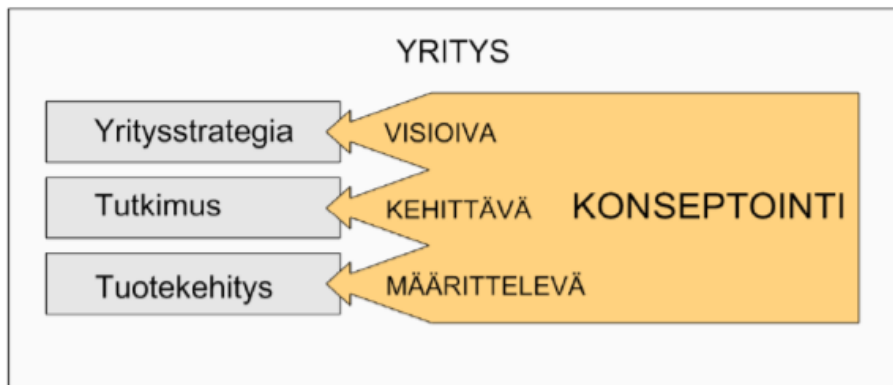
Opinnäytetyössä on tarkoitus suunnitella vastakahmaimen paikalle harjalaite, jolla pystyttäisiin sii- voamaan esimerkiksi rakennustyömailla. Harjalaitteen konseptointia on tehty erikoitumisprojektissa kaksi, jonka päätelmien pohjalta tämä tuotekehitysprojekti käynnistettiin. Konseptoinnissa päädyttiin ratkaisuun, jossa laitteen prototyyppi tehtäisiin sovittamalla markkinoilta löytyvä harjalaite soviterun- golla MultiKouraan. Näin nähtäisiin mahdollisimman pienellä panostuksella, miten hyvin harjalaite toimii MultiKourassa ja mitkä ovat sen mahdollisuudet markkinoilla. Mikäli markkinat ovat kiinnostu- neita laitteesta, niin todennäköisesti rakennettaisiin koko laite itse tai etsittäisiin sopiva alihankkija harjan toimittajaksi. Sellainen toimittaja, jolla on vankka kokemus harjojen valmistuksesta.

Markkinoilla ei tiedettävästi ole kaivinkoneen monikäyttökouraan liitettävää harjalaitetta eli puhutaan siltä osin uudesta innovaatiosta. Tästä syystä johtuen osia opinnäytetyöstä on jouduttu salaamaan yritys-salaisuuksien vuoksi.

Opinnäytetyö liittyy suurempaan MultiKouran kehitysprojektiin, jossa kourasta lanseerataan useita kokoluokkia ja lisäksi kattavat lisävarustevalikoimat. Harjalaite on ensimmäinen askel erään lisäva- rusteen kehitystyöstä.

2 ESISELVITYS

Projektin esiselvitys tehtiin erikoistumisprojektissa kaksi. Tähän kappaleeseen on tiivistetysti tuotu siinä projektissa läpikäytyt asiat, jotta ymmärrettäisiin paremmin, miksi laitetta on kehitetty tiettyyn suuntaan.



Kuvio 1. Konseptointi yrityksen eri osa alueilla (Keinonen 2003)

2.1 Lähtökohdat ja ajatukset

Projektin alussa lähtökohtana oli konseptoida harjalaitte, jolla voitaisiin lakaista maa-ainesta sekä jä-tettä MultiKouran pääkahmaimeen tehtyyn kauhaan. Pohdinnassa on myös harja, jolla voitaisiin kai-vaava kriittisiä kohtia, kuten vesiputken ja sähkökaapeleiden ympäröyksiä.

Konseptoinnin tarkoituksena oli tutkia markkinoilta löytyviä harjalaitteita ja niiden sovitussmahdollisuuksia TMK MultiKouraan samalla selvittäen kuinka runkorakenne kannattaisi toteuttaa.

2.2 Konseptoinnin tulokset

Konseptoinnin lopputuloksena saatiin suunnitelma siitä, miten harjalaitteen prototyyppiä lähdetäisiin viemään eteenpäin. Päädettiin ratkaisuun, jossa etsittäisiin sopiva harjalaitte markkinoilta ja sovitettaisiin se MultiKouraan liitosrungon avulla. Harjalaitteen pitäisi olla sen tyyppinen, että harja olisi tuettu harjan keskeltä ja päädyissä ei olisi ylimääräisiä runkorakenteita, jolloin päästäisiin harjalla esteiden lähelle. Myös liitosrungon suunnittelu ja valmistus olisi näin yksinkertaisempaa. Suunnittelussa olisi kuitenkin pyrittävä yksinkertaisimpaan rakenteeseen, mikäli se on kustannusten sekä toimivuuden kannalta tehokkainta.

2.3 Yhteenveto

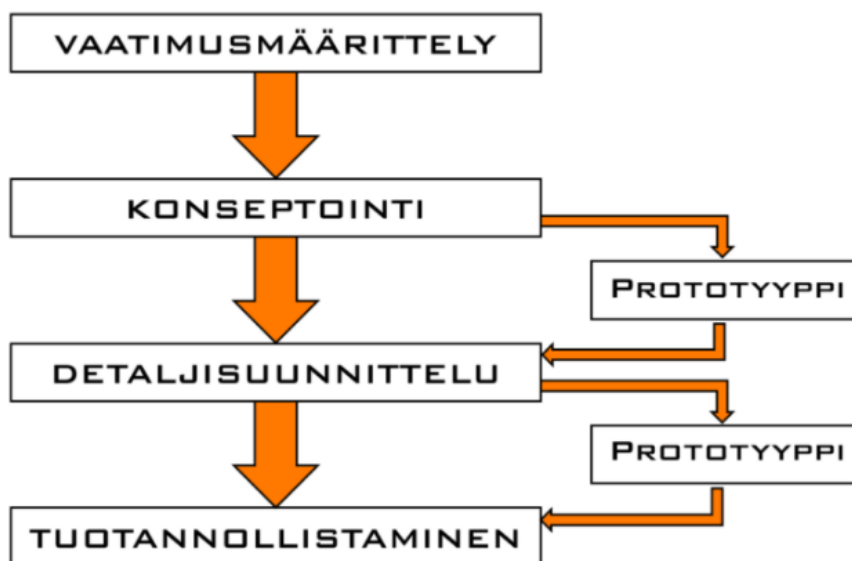
Yhteenvetona esiselvityksestä voitaisiin sanoa, että siitä saatiin varmistus idealle, jossa hyödynnettäisiin jo keksittyä tuotetta ja valmista laitetta yhdessä TMK MultiKouran kanssa. Tällöin siitä saataisiin uudenlainen innovaatio ja MultiKouraan saataisiin huomattavasti lisää monikäyttöisyyttä sekä lisäarvoa asiakkaalle.

Kuitenkin pidettiin mielessä, että koko laite saatettaisiin tehdä itse, mikäli sopivaa laitetta ei löydetäisi markkinoilta tai valmiin harjalaitteen ostaminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa.

3 TUOTEKEHITYS JA SUUNNITTELUPROSESSI

Opinnäytetyönä tehtävässä tuotekehitysprojektissa painottuu usein hyvin voimakkaasti erilainen teorettinen sisältö ja sen liittäminen osaksi prosessia. Tuotekehitysprojektilla on tyypillistä sen projektimainen luonne ja eteneminen. Vaikka opinnäytetyötä tehdään pääosin yksin, on se kuitenkin tiimin yhteinen projekti, sillä opinnäytetyön eri vaiheisiin liittyy paljon muitakin projektin osapuolia. Esimerkiksi tilaajan puolen vastuuhenkilön rooli voi olla aiheesta ja projektista riippuen hyvinkin olennainen osa projektin suuntaviivojen ohjaamisessa sekä vaikeiden tilanteiden ratkaisuisa.

Tuotekehitysprosessi alkaa usein markkinalähtöisesti, eli markkinoinnissa huomataan asiakkailla olevan tarve tietyntylaiselle tuotteelle tai palvelulle. Projekti voi saada lähtönsä myös esimerkiksi tuotekehitystiimin sisältä. Tällöin on tärkeää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tiedustella mahdolliselta asiakasryhmältä, onko kyseiselle tuotteelle tai palvelulle kysyntää siinä määrin, että ideaa kannattaa lähteä kehittämään. Mikäli näin on, tuotekehityksessä lähdetään suunnittelemaan ratkaisua eli siirrytään tuotekehitysprojektin seuraavaan vaiheeseen eli vaatimusmäärittelyyn.



Kuvio 2. Yleistys projektin kulusta. (Conseptas Oy)

Vaatimusmäärittelyn tarkoituksena on asettaa projektille tietyt raja-arvot, joiden avulla tuote tullaan suunnittelemaan. Näin parannetaan projektin läpinäkyvyyttä, kun myöhemmin voidaan aina palata vaatimusmäärittelyssä päätettyihin arvoihin. Tällöin myös päätetään laitteen toiminnallisuus ja vaatimukset.

Konseptointivaiheessa vaatimuksista ja suunnitelmista aletaan kasaamaan varsinaisia ideoita ja erilaisia ratkaisuja toiminnallisuuksien ja vaatimusten ratkaisemiseksi. Tällöin on usein monia rinnakkaisia toteutumistapoja ja vaihtoehtoja, joista erilaisilla menetelmillä pisteytetään paras mahdollinen, jota lähdetään viemään eteenpäin. Joissain projekteissa voi ensimmäisen prototyypin valmistus olla jo järkevää tämän parhaan suunnitelman eli konseptin pohjalta.

Prototyypin valmistuttua ja ensimmäisten tuotetestien jälkeen päästään yleensä tutkimaan ja ratkaisemaan testien aikana ilmenneitä ongelmia ja ei toivottuja ominaisuuksia. Nämä testit ovat tärkeä suorittaa ja dokumentoida huolellisesti esimerkiksi videokuvaamalla, sillä ne tarjoavat hyvin suuren tietomäärän tuotteen eri ominaisuuksista sekä toiminnoista ja siitä, miten ne toimivat yhteen. Tämä helpottaa myös seuraavassa vaiheessa tehtävien päätösten tekemistä.

Detaljisuunnittelun aikana mahdollisen prototyypin ominaisuuksia parannellaan, jotta alussa määriteltyihin vaatimuksiin ja tavoitteisiin päästään. Mahdollisesti myös suunnitellaan koko tuote uudelleen tai tehdään sen ensimmäiset valmistuspiirustukset. Detaljisuunnittelussa kaikki osat ja kokoonpanot suunnitellaan huolellisesti, niin kuin tehtäisiin laitetta markkinoille.

Tämän jälkeen valmistetaan yleensä niin kutsuttu nollasarja eli ensimmäiset tuotteet, jotka ovat vielä prototyyppisiä, mutta muistuttavat hyvin paljon valmista tuotetta. Tyypillisesti näihin ei tehdä enää kovin suuria rakenteellisia muutoksia. Prototyyppisiä voi tosin olla joillakin tuotteilla paljon useampiakin, mutta tämä on varsinkin koneenrakennuksessa harvinaisempaa. Tyypillisiä ovat 1–3 prototyyppiä ennen varsinaista tuotantoversiota.

Tuotannollistamisen aikana arvioidaan vielä nollasarjan avulla, kuinka tuote voitaisiin suunnitella edullisemmin tai esimerkiksi egolokisemmin. Suunnitellaan ja lukitaan tuotteen valmistusprosessi ja tämän myötä esimerkiksi materiaalit ja valmistusmenetelmät. Myös erilaiset viranomaisluvut ja lopulliset valmistuspiirustukset tehdään tässä vaiheessa.

4 TUOTEKEHITYSTYÖN LÄHTÖKOHDAT

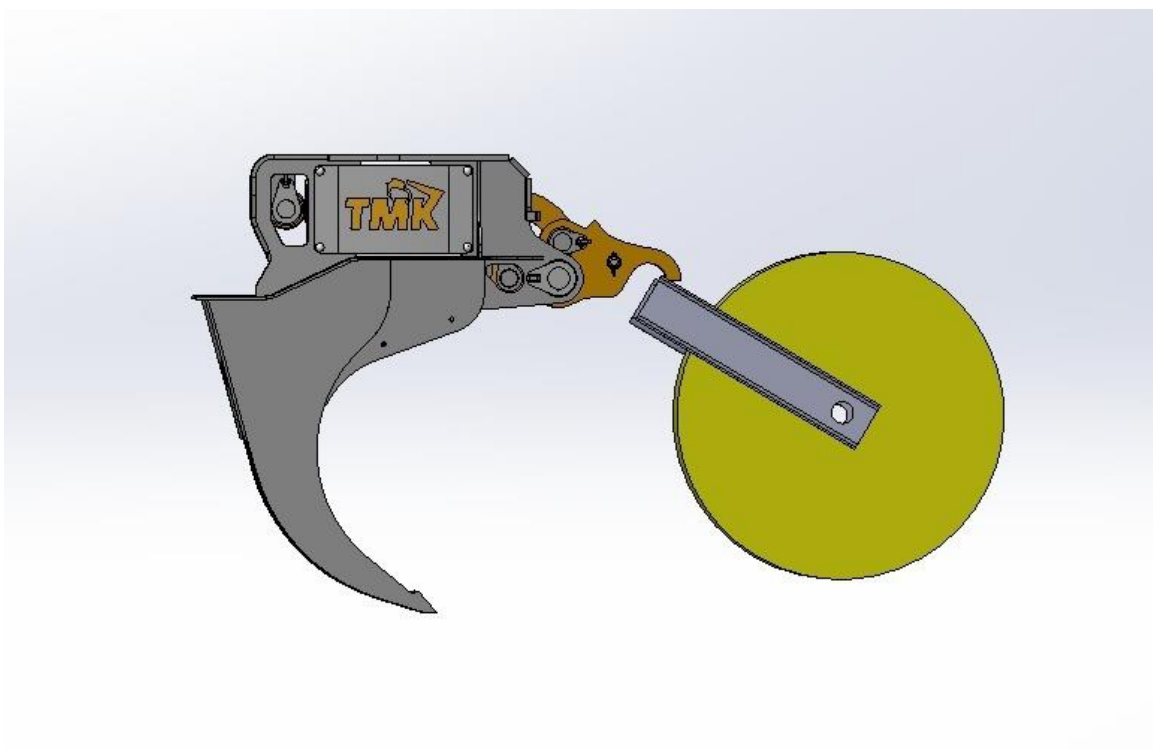
Tuotekehityksen lähtökohdat muodostettiin esiselvityksen ja konseptoinnin pohjalta. Lähdettiin siis suunnittelemaan MultiKouran kahmaimen tilalle kiinnitysrunkoa. Oli myös päätetty ostaa internetin myyntipalstalta löydetty käytetty Vilan harjalaite ja valmistaa siitä prototyyppi, jotta voitaisiin tutkia harjalaitteen toimivuutta MultiKourassa.

4.1 Vaihtoehdot harjalaitteelle.

Ennen varsinaista suunnittelutyötä käytiin läpi erilaisia harjalaitteita, jotta löydetäisiin sopivin harjalaite prototyypin valmistamiseen.



Kuva 1. KH-Varustekaupan myymä harjalaite, joka on rakenteeltaan hyvin tyypillinen ja yleinen puomiharja. Siksi lähdettiinkin ensimmäisenä tekemään layout mallia tällaisen harjalaitteen soveltamisesta. (KH-Varustekauppa)




Kuva 2. KH-Varustekaupan puomiharjan sovitukset MultiKouraan. (Rönkkö 2021)

Internetistä löytyvien kuvien ja mittojen avulla lähdettiin luomaan ensimmäistä layout mallia. Huomataan heti, että 900 mm halkaisijaltaan oleva harjalaite on tähän käyttöön liian suuri. Nyt osataan alkaa etsimään pienempää harjalaitetta, joka olisi sopivampi tähän käyttötarkoitukseen.

Halkaisijaltaan pienempiä harjalaitteita olikin markkinoilta vaikeampi löytää vaikka esimerkiksi 700 mm harjaksia oli kyllä saatavilla paljon. Rungot ovat pääasiassa suunniteltu 900 mm harjaksille. Vaikka tällaiseen runkoon vaihdettaisiin 700 mm harjakset, olisi se silti liian iso käytettäväksi MultiKourassa.

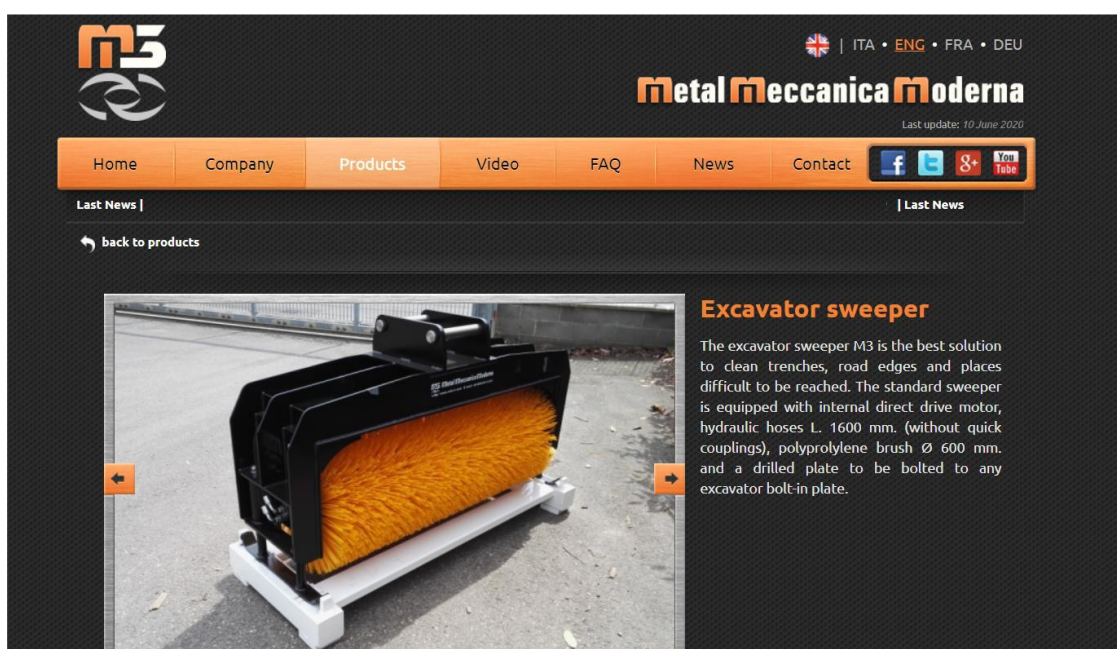
Lopulta löytyi kuitenkin kaksi eri harjalaitetta alle 900 mm harjaksilla. Toinen oli Pomen eli Pomarkun Urakoitsijatarvike Oy:n valmistama puomiharja 700 mm harjaksilla ja toinen oli Italialainen M3srl. Näistä enemmän kiinnostuttiin Pomen harjasta.

Hae tuotteita



Tuotenumero	Malli	Harjan leveys mm	Harjan halkaisija mm
	PH600	600	700
90161	PH1500	1500	700
90162	PH1600	1600	700
90163	PH1700	1700	700
90164	PH2000	2000	700
	PH2400	2400	700

Kuva 3. Pomen puomiharja. Tämä oli vaihtoehto 1. Jos olisi päätetty ostaa valmis uusi harjalaite, joka olisi sovitettu MultiKouraan. (Pomarkun Urakoitsijatarvike Oy)



M3

ITA • ENG • FRA • DEU

MetalMeccanicaModerna

Last update: 10 June 2020

Home Company Products Video FAQ News Contact

Last News | Last News

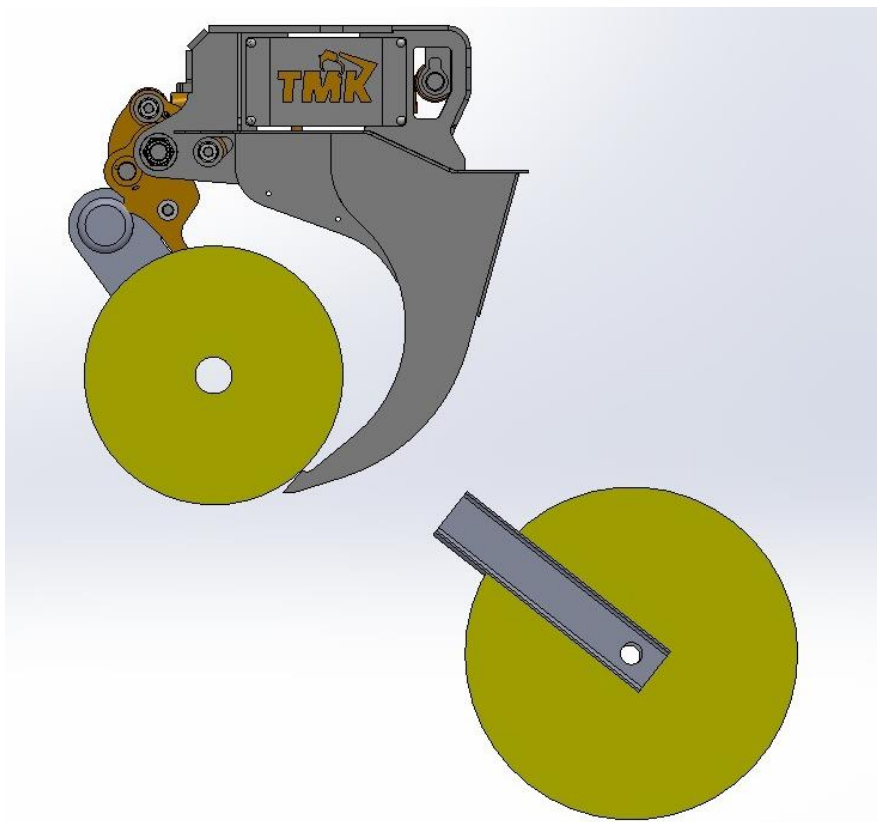
back to products

Excavator sweeper

The excavator sweeper M3 is the best solution to clean trenches, road edges and places difficult to be reached. The standard sweeper is equipped with internal direct drive motor, hydraulic hoses L. 1600 mm. (without quick couplings), polypropylene brush Ø 600 mm. and a drilled plate to be bolted to any excavator bolt-in plate.

Kuva 4. Italialainen M3 puomiharja. Harjalaite oli kuitenkin turhan raskastekoisen oloinen käyttötarkoitukseen. (M3 MetalMeccanicaModerna s.r.l.)

Seuraavassa palaverissa päätettiin, että mallinnetaan Pomen harjalaitteesta layout malli ja sovitaan sen käypäisyyttä MultiKouraan. Myöskin Pomen kuvista jäi hieman epäselviksi harjalaitteen kiinnityspisteet, mutta tämänkin layoutin päätarkoituksena oli hahmottaa laitteen kokoa ja soveltuvuutta liitettäväksi kouraan.



Kuva 5. Pomen 700 mm puomiharjan sovittaminen MultiKouraan. Taustalla KH-Varustekaupan harjalaite. Kuvasta hahmottuu hyvin laitteiden merkittävä kokoero. (Rönkkö 2021)

Näiden layouttien päätelmien avulla päätettiin pyytää Pomelta tarjous PH1500 mallista, jonka työleveys on 1500 mm ja harjan halkaisija 700 mm. Tarjouksen saavuttua oltiin lähellä ostaa kyseinen tuote prototyyppiä varten, mutta sitten löydettiin sopiva käytetty harjalaite internetin myyntipalstalta ja päätettiin tutkia sen soveltuvuutta prototyyppiin ennen päätöksentekoa.

4.2 Ostettu harjalaite

Viikkopalaverissa tutkittiin yhdessä suunnittelutiimiin kanssa laitteen myynti ilmoitusta, jossa kaupattiin Vila merkistä harjalaitetta ja päätettiin, että laite olisi sopiva prototyyppiin. Kaupat sovittiin alustavasti ja sovittiin, että aloitetaan harjalaitteen Layout mallintaminen valokuvien perusteella. Ja katsotaan, miten helposti laite saataisiin sovitettua MultiKouraan.

Hinta sis. ALV ▼

Vila Harjakone

ID 2000006. Ympäristökoneet

Ilmoitustyyppi	Myydään	Osasto	Lakaisukoneet
Veroton hinta	1 000 €	Sijainti	Ulvila, Satakunta
ALV 24%	240 €	Rekisterinumero	Ei rekisterissä
Päivitetty	06.12.2020		

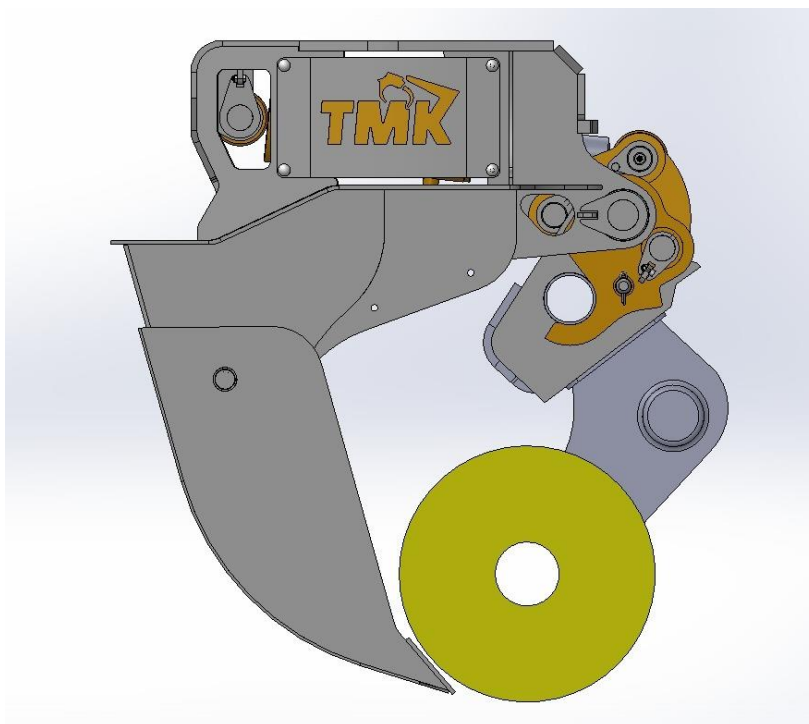


Vila Harjakone



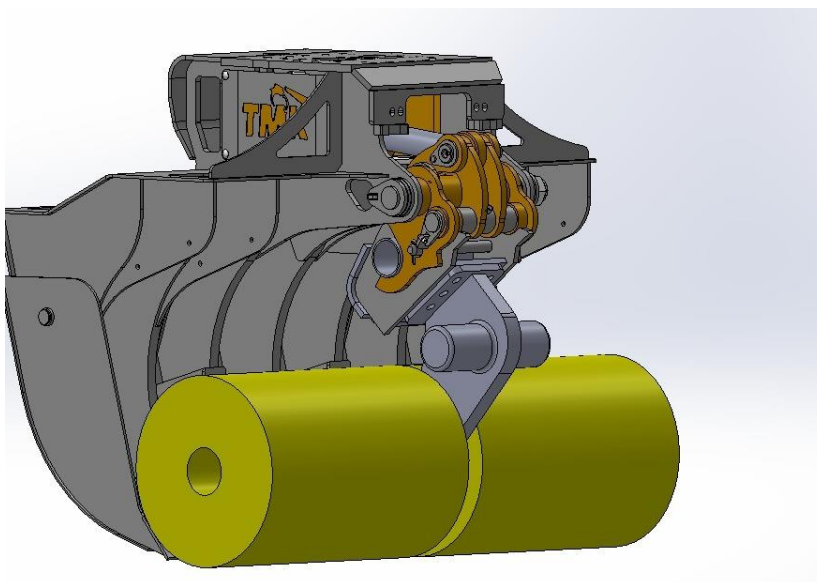
Kuva 6. Harjalaitteen myynti ilmoitus. Näiden valokuvien perusteella alettiin mallintamaan Layout mallia. (Nettikone)

3D-mallintaminen valokuvien perusteella ei yleensä ole kovin tarkkaa tai informatiivista, mutta tässä tapauksessa haluttiin kuitenkin selvittää edes karkeasti, soveltuuko kyseinen harjalaite käyttötarkoitukseen ennen kauppojen lopullista tekemistä. Haasteita mallinnustyöhön toi varsinkin kiinnityspisteet sillä niiden sijaintia ei kuvista tarkasti selvinnyt. Multikouran kiinnityspisteet ovat kiinteät, joten potentiaalinen ongelma oli harjalaitteen kiinnitysrunkoon.



Kuva 7. Nettikoneen ilmoituksen perusteella mallinnettu layout-malli. Kiinnitys on epävarma, mutta tässä haettiin lähinnä selvyyttä äärimittojen sopivuudesta kouraan. (Rönkkö 2021)

Laitte vaikutti kokonsa puolesta hyvinkin tähän käyttötarkoitukseen. Nämä päätelmät vahvistivat päätöksen kallistumista Vilan-harjalaitteeseen.



Kuva 8. Nettikoneesta löydetty Vila-harjalaitte mallinnettuna valokuvien perusteella. (Rönkkö 2021)

Viikkopalaverissa käsiteltiin tätä vaihtoehtoa ja päädyttiin ostamaan laite. Laitteen saapuessa tehtaalte, käytiin siitä ottamassa tarvittavat 3D-mallia varten. Tämän avulla laitteeseen voitaisiin suunnitella kiinnitysrunko, jolla se saataisiin kiinnitettyä MultiKouraan kahmaimen tilalle.



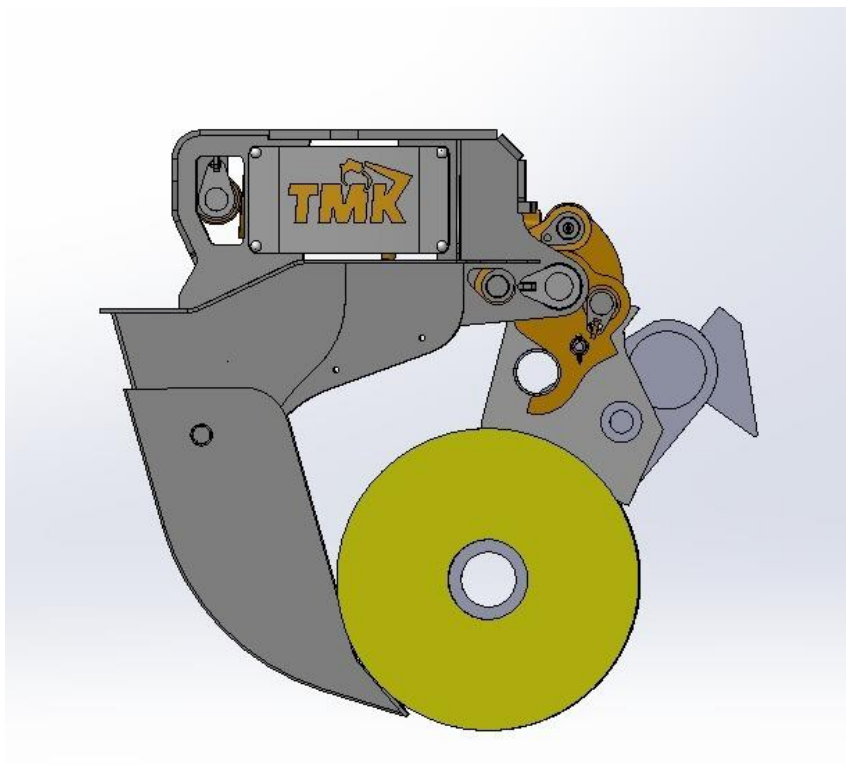
Kuva 9. Ostettu harjalaite saapui tehtaalle tammikuun lopulla. (Rönkkö 2021)



Kuva 10. Ostettu harjalaite otettu sisälle mittojen ottamista varten. (Rönkkö 2021)

Harjalaitteen kiinnitys poikkesi arvellusta ja se aiheuttikin hieman lisätöitä. Harjalaitteen kiinnityksen suunnittelu apurunkoon oli päivitettävä.

Harjassa oli yksi 50 mm akseli, joka toimi sen pääkiinnityspisteenä ja kiertymistä tämän akselin ympäri rajoitti toisessa päässä oleva 12 mm pultilla kiinni oleva iskunvaimennin. Tämä kiinnitys 12 mm pultilla todettiin heti kuitenkin riittämättömäksi ja tiedettiin, ettei se tulisi kestäämään kaivinkonekäytössä edes prototyypin koeajoa.



Kuva 11. Vilan-harjalaite mallinnettuna tehtaalle saapumisen jälkeen. (Rönkkö 2021)

Harjalaite oli myös ainakin harjakseltaan oletettua isompi, muttei kuitenkaan liian suuri. Harjalaite oli myös liian leveä MultiKouraan, mutta tästä sovittiin, ettei harjaa kavennettaisi ennen prototestausta. Selvitettäisiin kuitenkin, kuinka kavennus toteutettaisiin, mikäli siihen prototyypin testaamisen jälkeen päädytään.

5 SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa käsitellään hyvinkin yksityiskohtaisesti suunnittelun kulkua ja etenemistä, jotta lukija pääsee mahdollisimman lähelle itse suunnittelutyötä ja siellä tehtyjä päätöksiä. Suunnittelua on myös pyritty näyttämään paljon kuvien avulla, jotta lukija ymmärtää tekstissä käsitellyt asiat ja pystyy jopa oppimaan suunnittelusta tämän työn avulla.

5.1 Suunnittelu työkalut

Suunnittelun 3d-mallinnus työt toteutettiin Solidworks 2020 ohjelmistolla, jota TMK Energiakoura Oy käyttää apuna tuotekehityksessä. Samaa ohjelmaa käyttää myös Savonia ammattikorkeakoulu, joka helpotti mallinnustöiden sujumista, kun työskenneltiin tutulla ohjelmistolla. FEM analyysit tehtiin ANSYS Workbench ohjelmistolla, jota Savonialla opetetaan FEM-kurssilla. Lisäksi käytettiin DRAW.IO ohjelmistoa, jolla piirrettiin harjalaitteen hydraulii piirikaavio.

5.2 Suunnittelun työvaiheet

Suunnittelutyö aloitetaan toimeksiantajan ohjeiden ja työtapojen mukaan niin kutsutulla "Layout" suunnittelulla, johon poimitaan työhön liittyvät kokoonpanot, osat ja aletaan mallintamaan niiden ympärille alustavaa mallia, jonka avulla saadaan mallinnettua geometriat ja mallien päämitat.

Kun tämä on saatu valmiiksi, siirrytään osien tarkempaan mallintamiseen, jolloin osille luodaan tarkemmat geometriat ja osanumerot. Suunnitellaan esimerkiksi pyöritykset viisteet ja kevennykset. Samalla joudutaan tietenkin päättämään myös osien valmistustapa. Tehdäänkö ne profiilista katkomalla ja rei'ittämällä vai levystä leikkaamalla tai koneistamalla.

Kun tämä on saatu valmiiksi, siirrytään varustelusuunnitteluun. Eli suunnitellaan tarvittavat sähkö- ja hydraulikkavarustelut. Tämä tulee olemaankin merkittävä osa tätä opinnäytetyötä, koska MultiKoura on TMK:lla sen verran uusi tuote, ettei varustelusuunnittelua ole tarvinnut vielä tehdä.

Lopuksi piirretään tarvittavat valmistuspiirustukset ja laitetaan rakenteet PDM järjestelmään. Tämän jälkeen osat lähtevät tuotantoon eli eri alihankkijoille. TMK:lle tulee leikkeet laserilla leikattuna ja särmättyinä. Holkit ja tapit sekä muut koneistetut osat tulevat valmiina. Sitten TMK:n omissa tiloissa hitsataan osista osakokoonpanoja, jotka maalataan. Tämän jälkeen osat siirtyvät varaston kautta kokoonpanoon.

Kun uusi prototyyppi on saatu rakennettua, siirtyy se koeajoon. Koeajossa uuden laitteen ominaisuuksia punnitaan ja tutkitaan. Mietitään mitä pitäisi parantaa ja missä on onnistuttu. Tarvitseeko tehdä uusi prototyyppi vai onko muutokset niin pieniä, että uskalletaan siirtyä suoraan tuotantoversioon. Tällöin laite siirtyy hetkeksi takaisin suunnittelu pöydälle, jossa parannukset ja muokkaukset laitteeseen tehdään ennen uuden tuotantotilauksen tekemistä.

Ensimmäisen tuotantosarjan valmistuttua ja siirryttyä markkinoille alkaa laitteen toiminnan ja asiakaskokemuksien tarkka seuranta. Tuotetta pyritään parantamaan jatkuvasti. Suunnittelutyö on siis

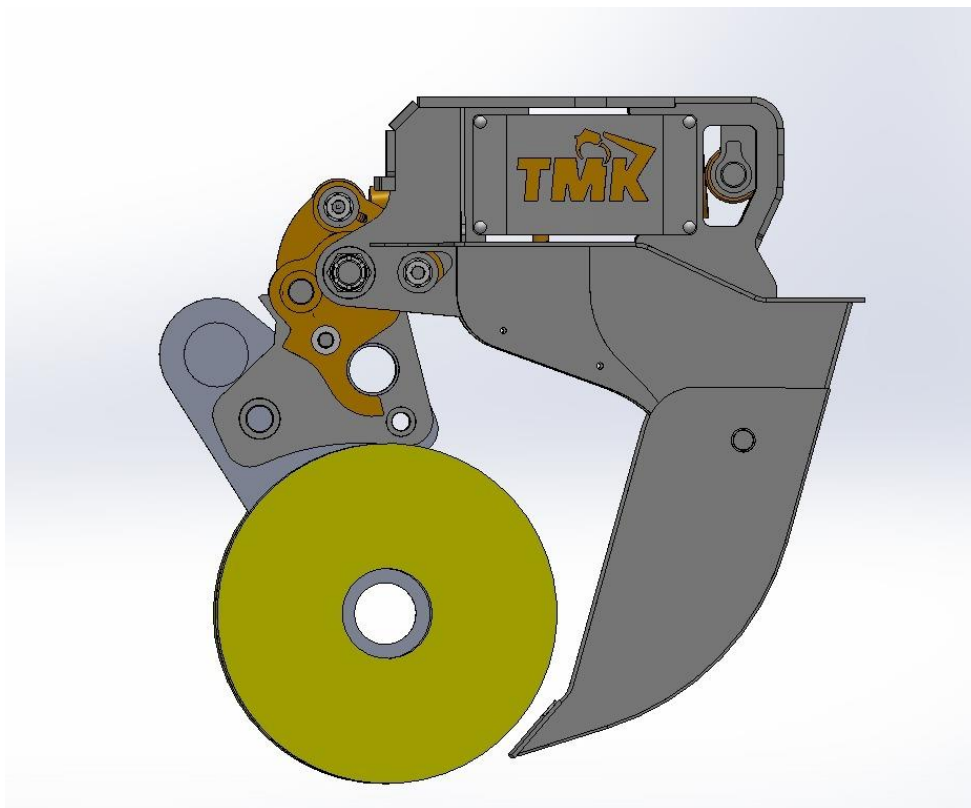
uusien laitteiden suunnittelun rinnalla myös merkittävässä osin jo markkinoilla olevien laitteiden parannusta ja yhteistyötä asiakkaiden kanssa. Se viekin yllättävän suuren osan tuotekehitysinsinöörien työpanoksesta. Mitä enemmän erilaisia laitteita on markkinoilla, ja mitä useammalla erilaisella alueella ja mantereella, sitä enemmän niissä on ylläpitosuunnittelua.



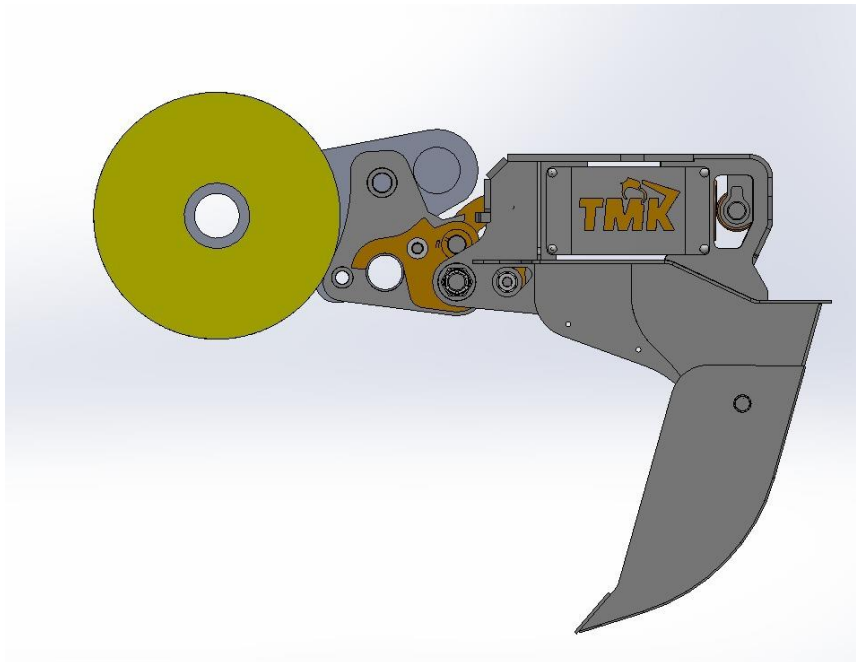
Kuvio 3. Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2000)

5.2.1 Liikeratojen suunnittelu

Layout suunnittelu aloitettiin liikeratojen suunnittelulla eli lähdettiin hahmottelemaan solidworks:illa harjalaitteen kiinnityspisteiden sijaintia mahdollisimman optimaaliseksi, jotta harjalaite menee sopivasti, sekä MultiKouran sisälle, että avautuu mahdollisimman ylös ilman törmäyksiä. Liikeratojen suunnittelussa kiinnitettiin myös huomiota harjan ottavuuteen. Eli siihen millä korkeudella harja kulkee maahan nähden harjan eri asennoissa.

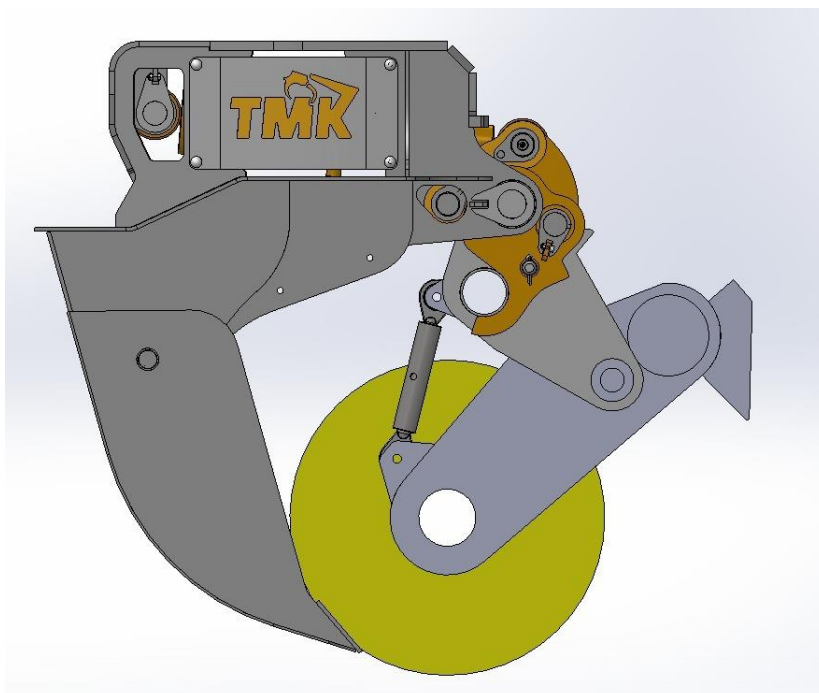


Kuva 12. Harjalaitteen ottavuuden suunnittelua. Kiinnitys ajateltiin ensin toteuttaa prototyyppiin kahdella tapilla, mutta nopeasti huomattiin tarvittavan säätömahdollisuutta ottavuuteen. (Rönkkö 2021)



Kuva 13. Harjalaitteen ääriasentojen tarkastelua. Ylä-asennossa huomattiin laitteen törmäävän MultiKouran runkoon. Tähän pitäisi rakentaa jonkinlainen liikkeenrajoitin. (Rönkkö 2021)

Aluksi ajateltiin kiinnitys toteuttaa yksikertaisesti kahdella tapilla. Kiinnityksessä huomattiin kuitenkin nopeasti tarve jonkinlaiselle säätömahdollisuudelle varsinkin nyt prototyyppissä, jotta saadaan haettava sopiva ottavuus harjalle. Myöskin harjan kulumista olisi hyvä pystyä kompensoimaan jotenkin. Tähän ratkaisuksi ajateltiin ottavuuden säätöön kokeilla mallintaa jonkinlaista ruuvisäätöä. Päätettiin, että sovitetaan laitteeseen IKH:n valikoimasta sopiva työntövarsi, jolla harjan korkeusasemaa maahan nähden pystyttäisiin säätämään.



Kuva 14. Alustava mallinnus ja sovitus työntövarrelle. (Rönkkö 2021)

Työntövarrelle jouduttaisiin ketjukoteloon eli ostetun harjalaitteen runkoon hitsaamaan korvakot, jotta työntövarsi saataisiin siihen kiinnitettyä. Tämä koettiin pienenä riskinä, mutta sitä kuitenkin päätettiin kokeilla, koska muutakaan vaihtoehtoa ei oikeastaan ollut. Kotelo on valmistettu hitsamalla kahdesta särmätystä u-profiilista, joten materiaali on varmasti hyvin hitsattavaa rakenneterästä. Ongelma liittyy enemmän kotelon sisällä olevaan öljyyn, joka voisi mahdollisesti hitsauksen aikana syttyä tuleen tai pilata hitsisauman. Tämä pyritään välttämään purkamalla kotelo ja tyhjentämällä se öljystä.

Tähän geometriaan oltiin yhdessä tyytyväisiä ja päätettiin käynnistää seuraavaksi osien tarkempi suunnittelu.

5.2.2 Osien suunnittelu

Osien ja kokoonpanojen suunnittelu aloitetaan aina olemassa olevien layout mallien pohjalta, joista saadaan tarvittavat mitat ja geometriat. Varhaisessa vaiheessa on päätettävä millä valmistusmenetelmällä osat tullaan valmistamaan ja miten ne kiinnitetään toisiinsa.

Harjalaitteen kiinnitysrungossa päädyttiin hyödyntämään levyistä hitsattua kotelorakennetta, jolloin haastavien geometrioiden tekeminen on helppoa ja mittatarkkaa. Myös rakenteesta saadaan kevyt ja dynaamista rasitusta kestävä.

Myös käytettävä materiaali on hyvä valita hyvissä ajoin, jotta rakenne osataan mitoittaa ja suunnitella kyseiselle materiaalille. TMK:lla pyritään käyttämään suunnittelussa erikoisteräksiä mahdollisimman paljon ja tehokkaasti, jotta rakenteista saadaan kestäviä ja samalla keveitä.

5.2.3 Materiaalin valinta

Materiaaleina TMK:lla käytetään hyvin yleisesti erilaisia SSAB:n rakenne- ja kulutusteräksiä, kuten S355 rakenneterästä, Strenx 700 erikoislujuus rakenneterästä ja Hardox 400 ja Hardox 500 kulutusteräksiä. Sekä tietenkin erilaisia akseli teräksiä. Näistä huomattavasti eniten käytetään tavallista S355 rakenneterästä ja Hardox 400 Kulutusterästä.

Harjalaitteen rungossa päädyttiin käyttämään Hardox 400 kulutusterästä sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Tällöin runko saataisiin suunniteltua huomattavasti ohuemmillä levypaksuuksilla, koska vaikka Hardox 400 on kulutusterästä myös sen myötö- ja murtolujuus ovat erittäin korkeita.

Mekaaniset ominaisuudet

Laji	Paksuus (mm)	Kovuus ¹⁾ (HBW)	Tyypillinen myötölujuus, (MPa), ei taattu
Hardox® 400 Nauhalevy	2.0 - 8.0	370 - 430	1100
Hardox® 400 Levy	4.0 - 130.0	370 - 430	1100

¹⁾ Brinell-kovuustesti, HBW, EN ISO 6506-1 -standardin mukaisesti, hierretyllä pinnalla 0.5–3.0 mm pinnan alapuolella. Vähintään yksi testinäyte sulatusta ja 40 tonnia kohti. Materiaalin nimellispaksuuden poikkeama testinäytteestä alle ± 15 mm. Nauhalevy Brinell-kovuustesti EN ISO 6506-1 -standardin mukainen jokaisessa lämpökäsittelyyksikössä / kelassa. Kovuus mitataan jauhamalla pinta 0.3 - 2.0 mm pinnan alapuolella.

Hardox® on läpikova. Paksuussuuntaisen keskialueen kovuus on vähintään 90 % taatusta minimipintakovuudesta.

Kuva 15. Hardox 400 Kulutusteräksen mekaaniset ominaisuudet. (SSAB AB)

Kuvasta 15. Voimme lukea Hardox 400:sen tyypillisen myötölujuuden olevan 1100 MPa, kun vastavasti S355 rakenneteräksen myötölujuus on 355 MPa.

5.2.4 Osien mallintaminen

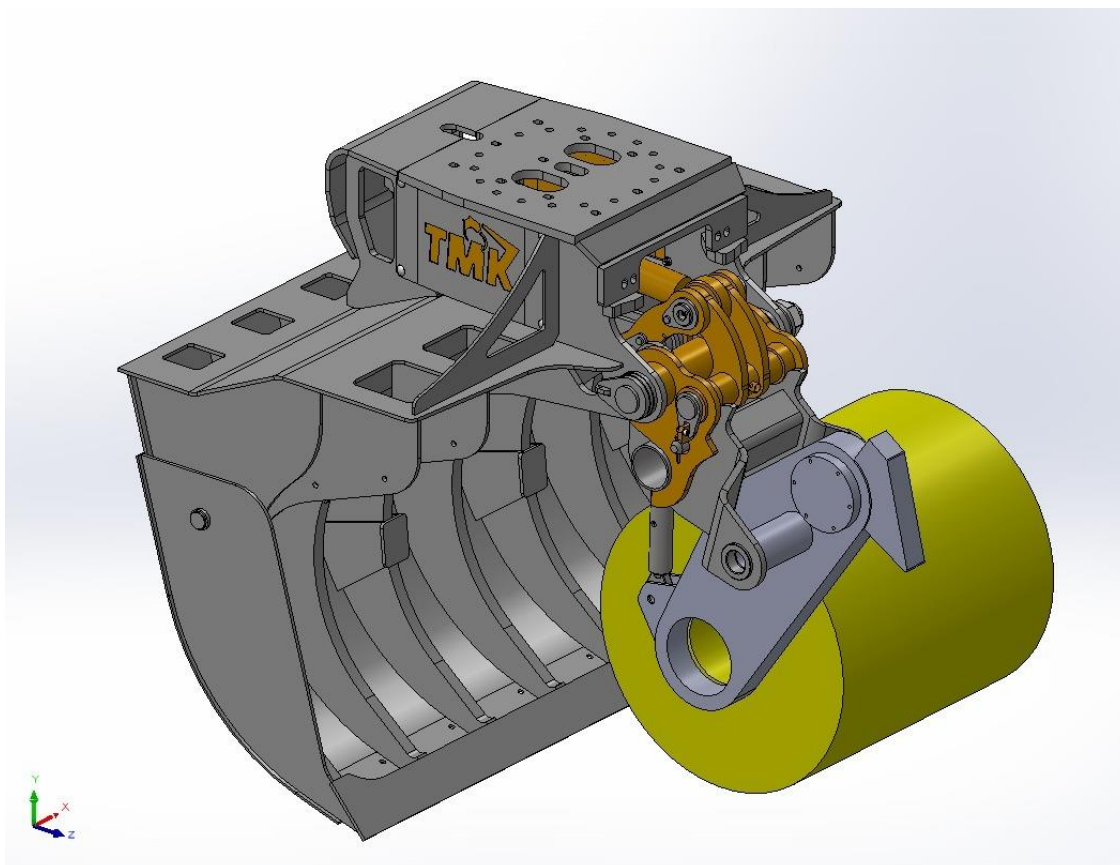
Osien mallintaminen aloitettiin harjalaitteen kiinnitys rungosta ja tarkemmin sen poskilevyistä. Hahmoteltiin tarvittavat mitat layout mallien perusteella ja suunniteltiin tarvittavat kanttaukset, jotta runko sai tarvittavat päämitat.

Tämän jälkeen suunniteltiin putki, josta runko kiinnittyy kouraan. Putki tehtiin 102*5 S355 rakenneteräs putkesta. Putket valmistetaan yleensä S235 tai S355 teräksistä ja lujempia putkia on huonosti saatavilla. Tämän vuoksi putken materiaaliksi valikoitui tavallinen rakenneteräs. Ohuemmasta putken seinämästä ei tässä tuotteessa olisi juuri mitään hyötyä massankaan kannalta, koska putki muodostaa niin pienen osan koko laitteen massasta.

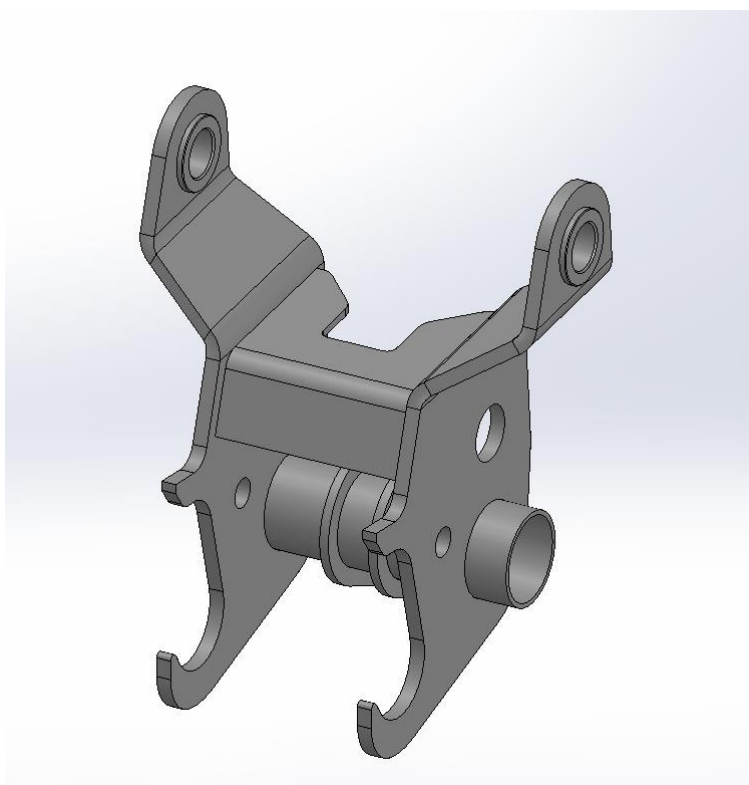
Tämän jälkeen tapille, jolla harjalaitte kiinnitetään, suunniteltiin holkit. Eli runkoon holkit, jotka hitsataan kiinnitysrunkoon. Tapin toleranssi saadaan kohdalleen ja se lisää tapin kosketuspintaa runkoon, jolloin myös tapin kuluminen on pienempää ja tappi kuormittuu vähemmän. Holkit suunniteltiin S355J0+N teräksestä, joka on hyvin yleisesti holkeissa käytetty teräs. Holkit suunniteltiin valmistettavaksi ainesputkesta, jotta aineenpoistoa tarvitsisi tehdä mahdollisimman vähän. Holkkeihin löytyi valmis holkki TMK:n holkkivalikoimasta.

Seuraavaksi suunniteltiin jäykistelevy runkoon. Jäykistelevyn tarkoituksena on jäykistää rakennetta ja vähentää poskien siirtymiä käytössä ja näin tehdä koko rakenteesta pidempi ikäinen. Se ei saisi kuitenkaan jäykistää rakennetta liikaa, jotta rakenne pääsee elämään eli joustamaan tasaisesti. Näin jyrkät jännityspiikit saadaan loivennettua, eikä korkeita jännityshuippuja pääse rakenteeseen syntymään.

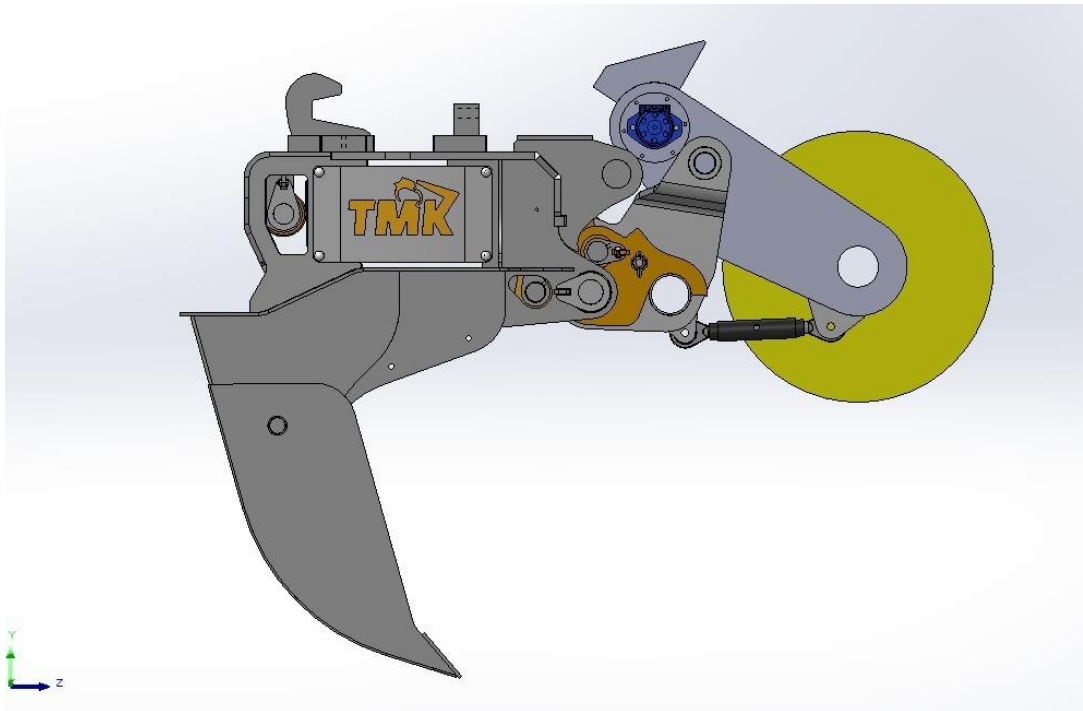
Tämän jälkeen suunniteltiin runkoon vielä kiinnitys työntövarrelle. Kiinnitys otettiin suunnitellusta putkesta, koska siitä ottamalla korvakot oli helpointa saada sopivalle etäisyydelle toisistaan.



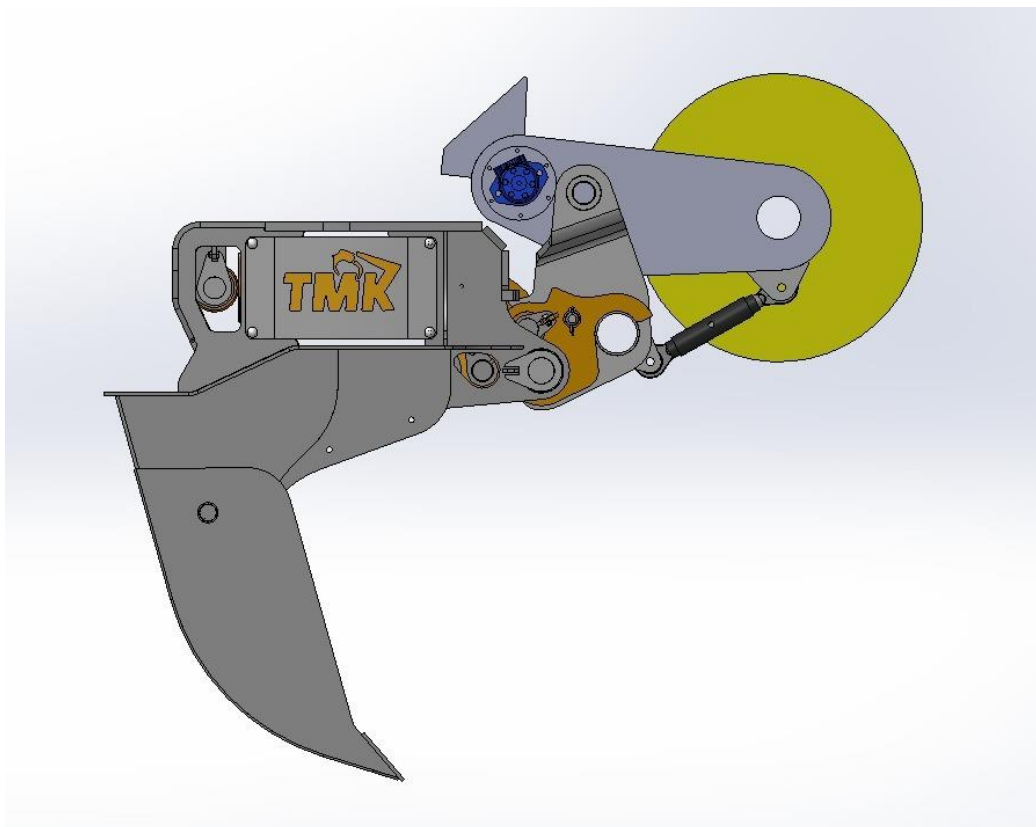
Kuva 16. Harjalaitteen kiinnitysrungon suunnittelua Harjalaitteen ja kahmaimen kiinnityspisteiden välille. (Rönkkö 2021)



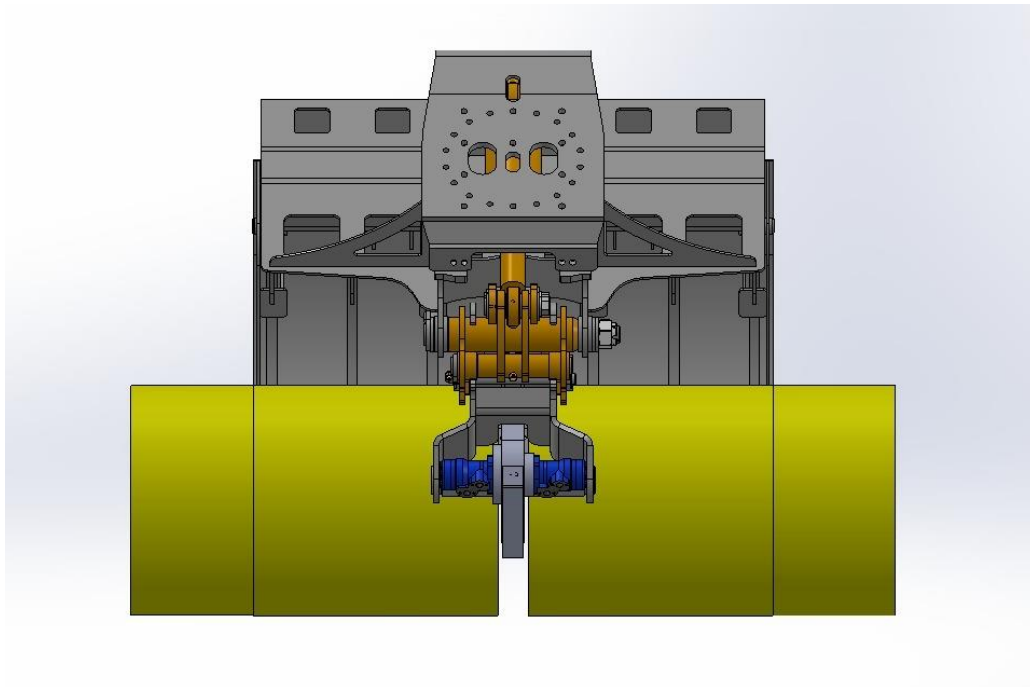
Kuva 17. Suunniteltu kiinnitysrunko harjalaitteelle. (Rönkkö 2021)



Kuva 18. Harjalaitteen liikeratojen testausta NTP 10 kiinnikkeen kanssa. (Rönkkö 2021)



Kuva 19. Harjalaitteen liikeratojen testausta ilman NTP 10 kiinnikettä. (Rönkkö 2021)



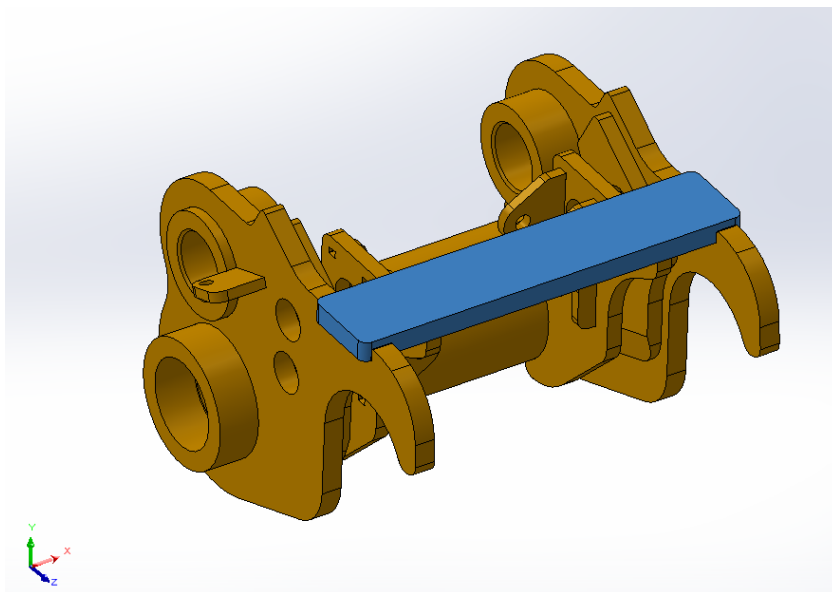
Kuva 20. Harjalaitteen leveys suhteessa MultiKouraan. Kuvassa näkyy myös kohdat, joista harjaa olisi tarkoitus kaventaa, mikäli kokemukset ovat koeajossa hyvät. (Rönkkö 2021)

5.3 Valmistuspiirustukset

Tämä rakenne todettiin yhdessä hyväksi ja päätettiin siirtyä valmistuspiirustusten tekemiseen. Rakenteesta piirrettiin kaikki tarvittavat piirustukset ja rakennetta oltiin laittamassa jo ostoon. Mutta sitten TMK aloitti suunnittelemaan MultiKouraan lisälaitetta, jonka avulla kahmain eli myös tämä harjalaite saataisiin lukittua hydraulisesti. Tästä seurasi, ettei osia voitukaan laittaa ostoon, vaan oli ensin odotettava, että pikalukitus saataisiin valmiiksi, jotta myös harjalaitteen runko saataisiin sovitettua sen kanssa yhdessä toimivaksi.

Tämän vuoksi valmistuspiirroksiin syntyi merkittäviä muutoksia. Tästä johtuen ei valmistuspiirustuksia käydä vielä tässä kappaleessa tarkemmin läpi.

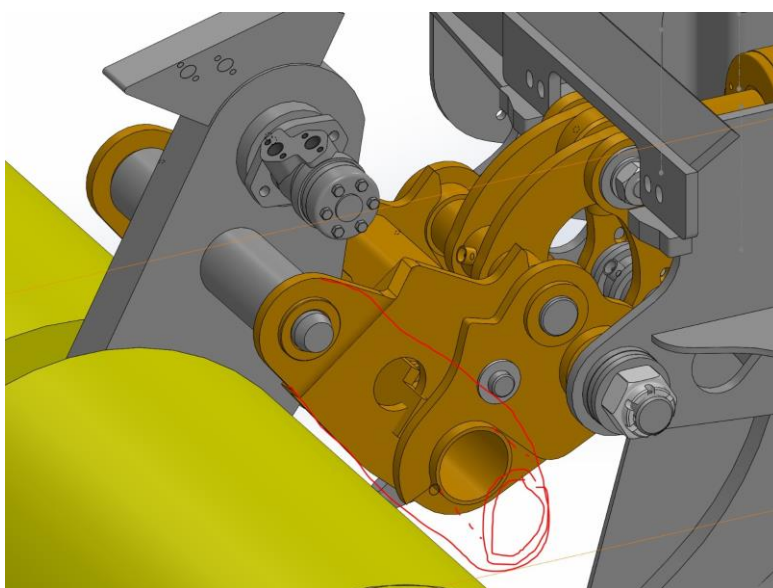
5.4 Lisälaitesuunnittelusta johtuvat muutokset.



Kuva 21. Kiinnittimen pikalukituksesta johtuva tukilevy. (Rönkkö 2021)

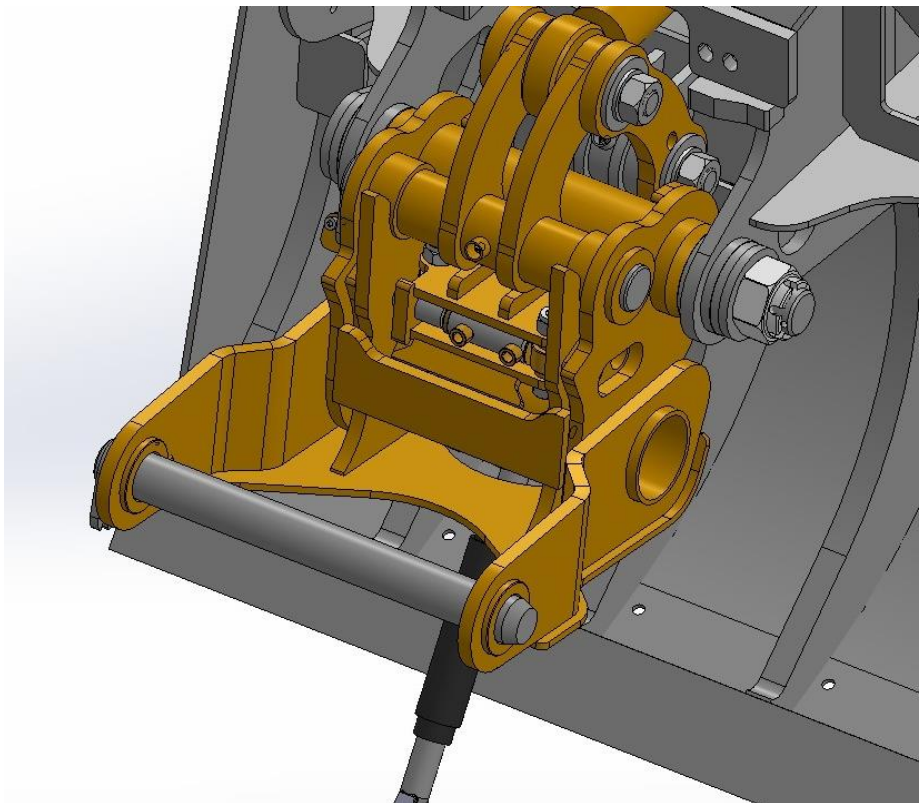
MultiKouran pikakiinnittimen suunnittelusta johtuen osaan, johon erilaiset kahmaimet kiinnittyvät jouduttiin lisäämään kuvassa 21. näkyvä sinisellä merkattu tukilevy. Tukilevyn lisäämisen seurauksen harjalaitteen kiinnitysrungon poskilevyt eivät enää mahtuneet olemaan suunnitellun mukaiset. Myöskin tukilevyn kiertäminen olisi ollut haastavaa, niin että rakenteesta olisi saatu kokonaisuudessaan toimivaa. Oli kuitenkin tultu siihen lopputulokseen, että pikakiinnitin tarvitsisi tämän tukilevyn ja mieluummin muokattaisiin harjalaitteen runkoa.

Oli lähdeävä miettimään millä tavalla runko saataisiin toteutettua, niin että rungosta saataisiin yhtä hyvä kuin ensimmäisestä versiosta, mutta tukilevy saataisiin kierrettyä. Keksittiin vain yksi hyvä ratkaisu ja sitä lähdeettiin hahmottelemaan Solidworks:illa.



Kuva 22. Hahmoteltu ratkaisu uudesta rungosta. Tarkoitus olisi jatkaa runkoputkea ja tuoda siitä levyillä runko harjalaitteelle. Sekä tukea rakennetta jonkin tyypisellä jäykistävällä levyllä. (Rönkkö 2021)

Rungon kiinnityspisteet ovat kuitenkin kiinnittimen poskilevyjen sisäpuolella, joka tarkoittaa, että sinnekin tarvittaisiin rakentaa levyt, joilla tartuttaisiin kiinnityspisteisiin. Parin päivän mallinnustyön jälkeen ratkaisu alkoi hahmottumaan ideoista 3D-malliksi ja rakenteesta saatiin toimiva.



Kuva 23. Kiinnitysrungon toinen versio. Runko tässä kuvassa vielä viimeistelemätön. (Rönkkö 2021)

5.5 Uuden rungon suunnittelu.

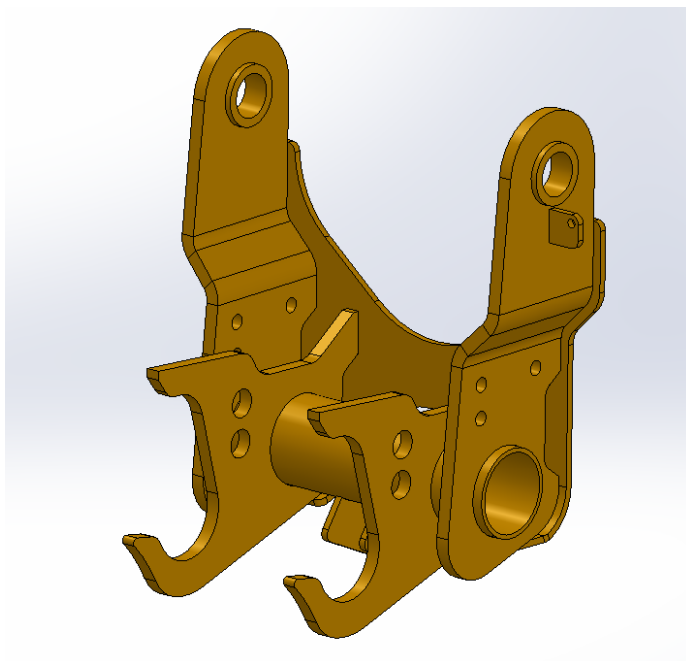
Myös uuden version suunnittelu aloitettiin poskilevyistä. Kriteereinä oli aiemmin päätetyn materiaalin antamat ominaisuudet, sekä jo valmiiksi suunniteltujen kiinnityspisteiden käypäisyys. Myös näihin poskilevyihin suunniteltiin kanttaukset, jotta runkoa ei tarvinnut leventää kiinnittimen puolelta tarpeettomasti. Näin rungon putki rasittuu vähemmän ja koko rakenne on huomattavasti jäykempi.

Loogisinta oli seuraavaksi suunnitella levyt, joilla runko tarttuu MultiKouran kiinnittimeen. Ne saatiin melko vaivattomasti muokattua edellisen rungon poskilevyjä työstämällä. Alapinta otettiin samaan tasaan, kuin poskilevyjen alapinta, jolloin alle saataisiin suunniteltua yhtenäinen jäykiste.

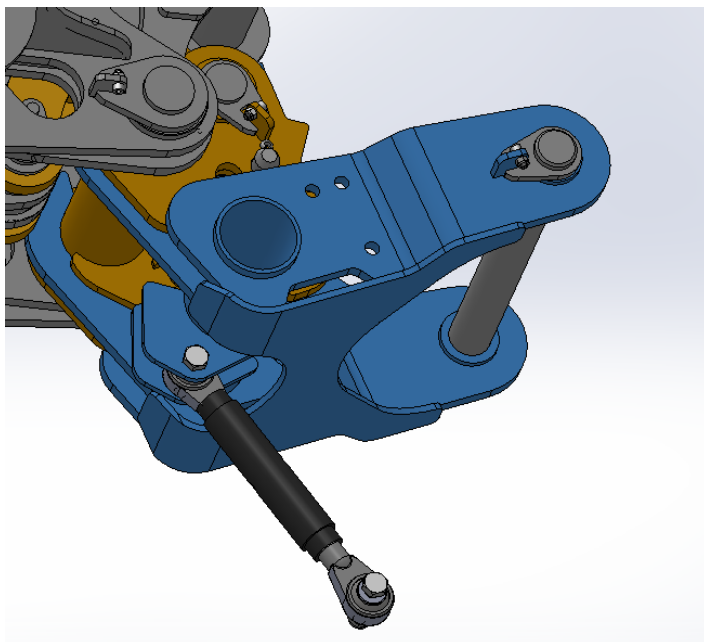
Seuraavaksi suunniteltiin jäykistyslevy eli levy, joka yhdistäisi poskilevyt ja kiinnikelevyt yhdeksi kokonaiseksi rungoksi. Tämä tuo rungolle hyvin suuren osan sen sivuttais- ja kiertymisjäykkyydestä. Vaikka runko toimisi rakenneputken avulla ilmankin tätä levyä, niin ei se olisi millään tavalla kestävä tai toimiva.

Tämän jälkeen vielä jatkettiin runkoputkea riittävästi poskilevyjen ulkopuolelle, jotta hitsisaumat saatiin mahtumaan. Runkoon lisättiin tämän jälkeen kiinnikkeet työntövarrelle edellisestä rungosta, joihin lisättiin vielä materiaalia, jolloin ne saatiin toimimaan myös liikkeen rajoittimena Kouran kiinni asennossa. Harjalaitteen tapin holkkeina käytettiin samoja holkkeja, kuin edellisessäkin rungossa.

Viimeistelynä runkoon lisättiin reiät lukitustapeilla, ja mahdollisille lisävarusteille, sekä korvakko, jolla harjalaitteen kiinnitystappi saataisiin lukittua. Tämän jälkeen vielä suunniteltiin kevennykset poskilevyihin. Kevennyksien päätarkoituksena oli tässä kohtaa helpottaa kokoonpanon hitsattavuutta ja vähentää hitsin määrää.



Kuva 24. Rungon versio 2. (Rönkkö 2021)

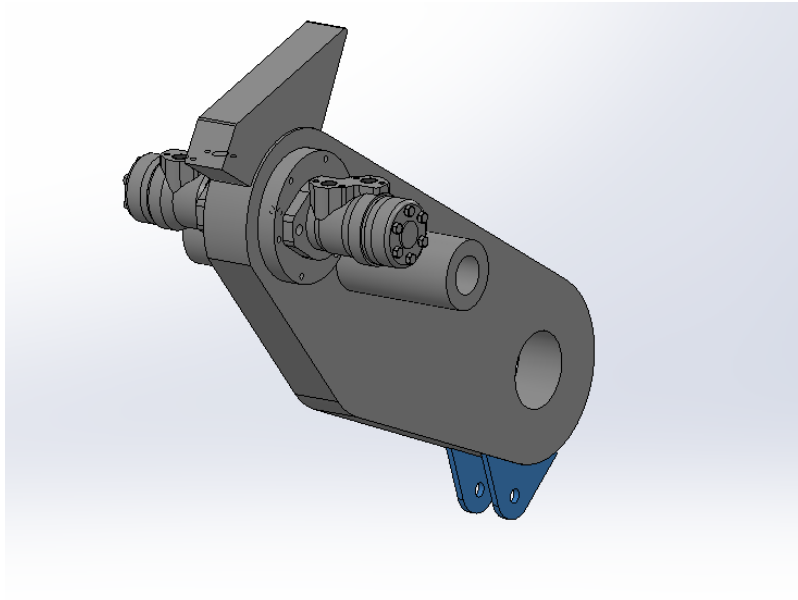


Kuva 25. Rungon versio 2.(sininen) paikallaan. (Rönkkö 2021)

5.6 Työntövarren kiinnityksen suunnittelu harjalaitteeseen.

Työntövarrelle piti suunnitella myös toisen pään kiinnityspiste harjalaitteeseen, koska rungossa ei valmiina ollut sopivaa kiinnityspistettä. Rungossa ei myöskään ollut kiinnityspisteitä, joista olisi voitu muokata sopiva kiinnike eli korvakot jouduttiin suunnittelemaan hitsattavina. Seuraavaksi piti miettiä kiinnitys työntövarteen. Valitun työntövarren silmän sisähalkaisija on CAT 1 kokoinen eli 19.1 mm.

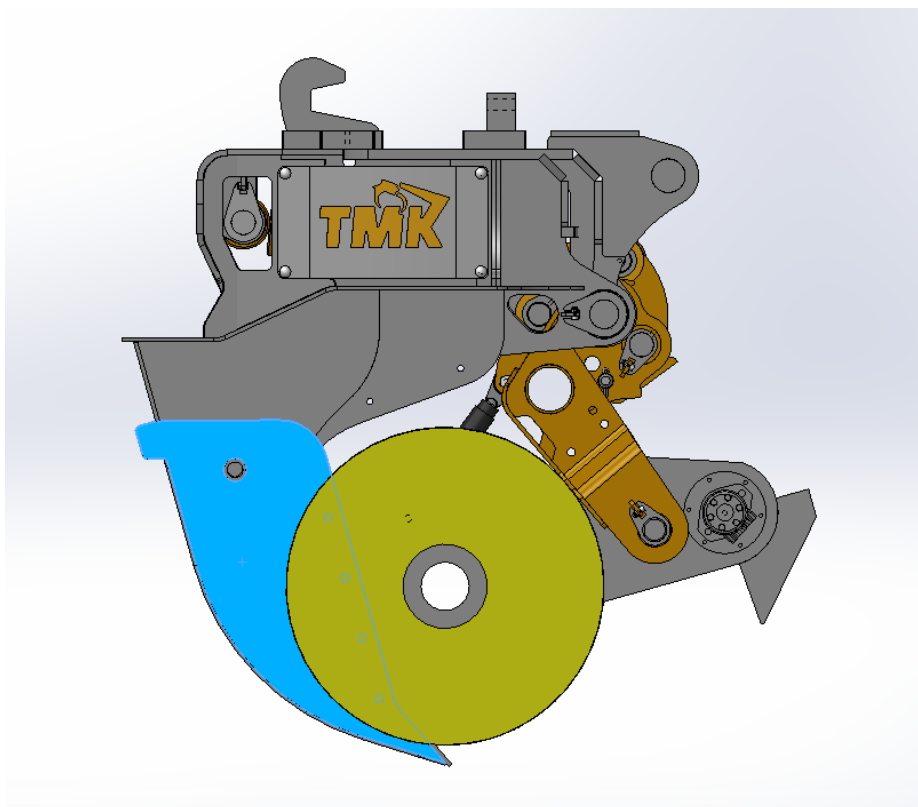
Kiinnitys olisi voitu toteuttaa, joko CAT 1 kokoisella tapilla ja sokalla tai sitten toisena vaihtoehtona 18 mm ruuvilla ja lukkomutterilla. Kiinnitys työntövarteen päätettiin toteuttaa M18 ruuvilla, koska se saataisiin lukitta varmasti niin, ettei se aukeaisi. Näin se myöskin veisi vain vähän tilaa korvakoiden ulkopuolelta, jolloin harjalamelli ei hankaisi tapin päihin.



Kuva 26. Kuvassa suunnitellut korvakot työntövarrelle. Korvakoihin suunniteltiin ketjukotelon kulman mukainen leikkaus, jolloin ne paikoittuvat hitsauksessa helposti paikoilleen. (Rönkkö 2021)

5.7 Uuden rungon liikeratojen tarkastelu.

Harjalaitteen liikeradat haluttiin tarkastella vielä läpi uuden rungon suunnittelun jälkeen, jotta ne olisivat varmasti optimaaliset. Ensimmäisenä tarkasteltiin kouran kiinni asennossa harjalaitteen liikettä. Suunniteltujen rajoittimien pitäisi pysäyttää liike hieman ennen, kun sylinteri saavuttaa ääri-asennon.

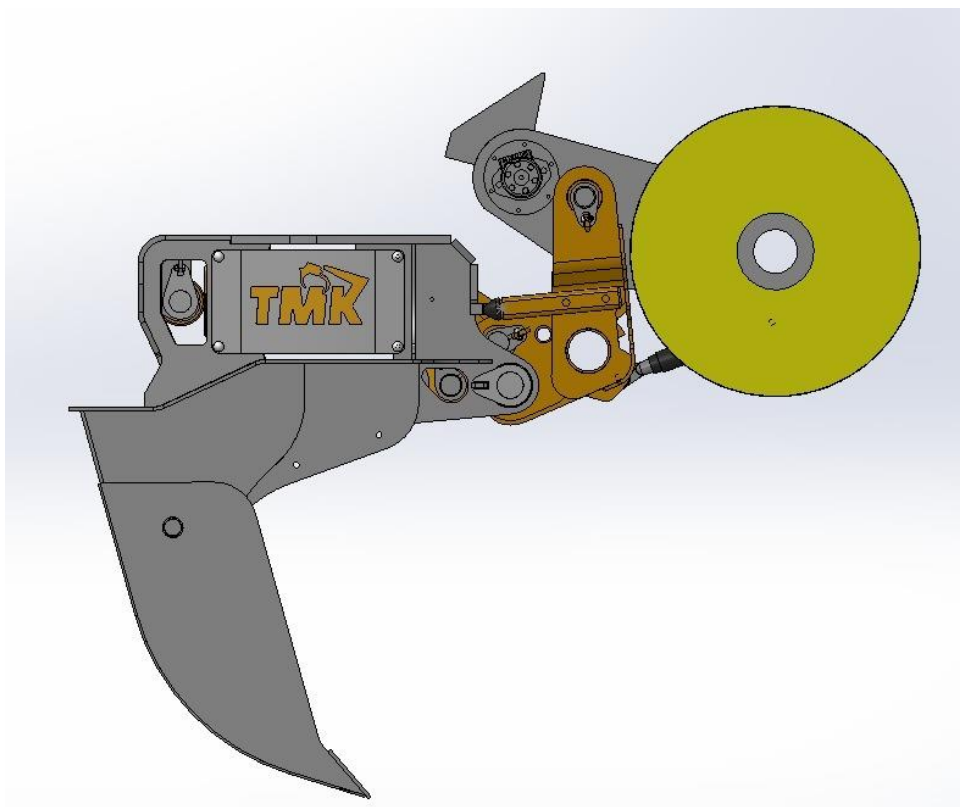


Kuva 27. Harjalaite alimmissa ääriasennossa, jossa sitä voitaisiin pitää esimerkiksi kuljetuksen aikana. (Rönkkö 2021)

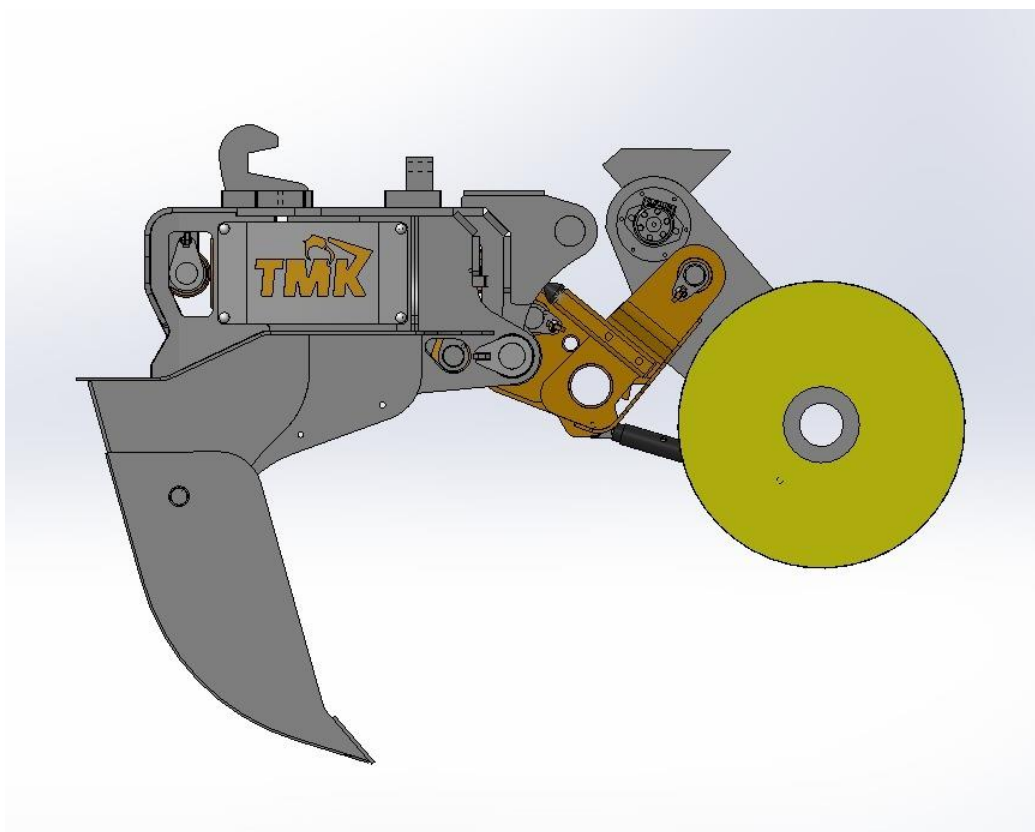
Tähän ääriasentoon oltiin tyytyväisiä, koska harjalaite meni riittävän syvälle kouraan, mutta harjalaitteen rumpu eli keskiosa ei kuitenkaan törmää MultiKouran kauhaan.

Sitten tarkasteltiin vielä ylemmän ääriasennon paikka. Siinä piti huomioida myös mahdollinen NTP 10 kiinnike, jolla MultiKoura kiinnitetään alustakoneeseen eli pääsääntöisesti kaivinkoneeseen. Päätettiin, ettei runkoon suunnitella yläasennolle rajoitinta, koska sen pitäisi olla säädettävä eikä kaikkia asioita voitaisi 3D-mallien avulla huomioida. Ajateltiin tehdä lisävaruste reikiin koeajon jälkeen, jos sille näyttäisi olevan tarvetta.

Lopullinen tuotantoversio olisi kuitenkin todennäköisesti rungoltaan melko paljon erilainen. Tämän prototyypin tarkoituksena on ensisijaisesti tutkia, miten hyvin harjalaite toimii MultiKouran kanssa ja olisiko tällaiselle lisävarusteelle kysyntää markkinoilla.



Kuva 28. Harjalaitteen mahdollinen yläasento S-sarjan kiinnikkeillä. Eli kohta, jonne asti se pystyisi nousemaan ilman törmäyksiä. Näkyvyys kauhalle on hyvä ja kauhaa pystyy käyttämään tehokkaasti myös harjalaitteen ollessa paikallaan. (Rönkkö 2021)



Kuva 29. Harjalaitteen yläasento NTP 10 kiinnikkeellä. Tässä harjalaitte ei nouse niin ylös, mutta näkyvyys kauhalle on kuitenkin kohtuullinen. (Rönkkö 2021)

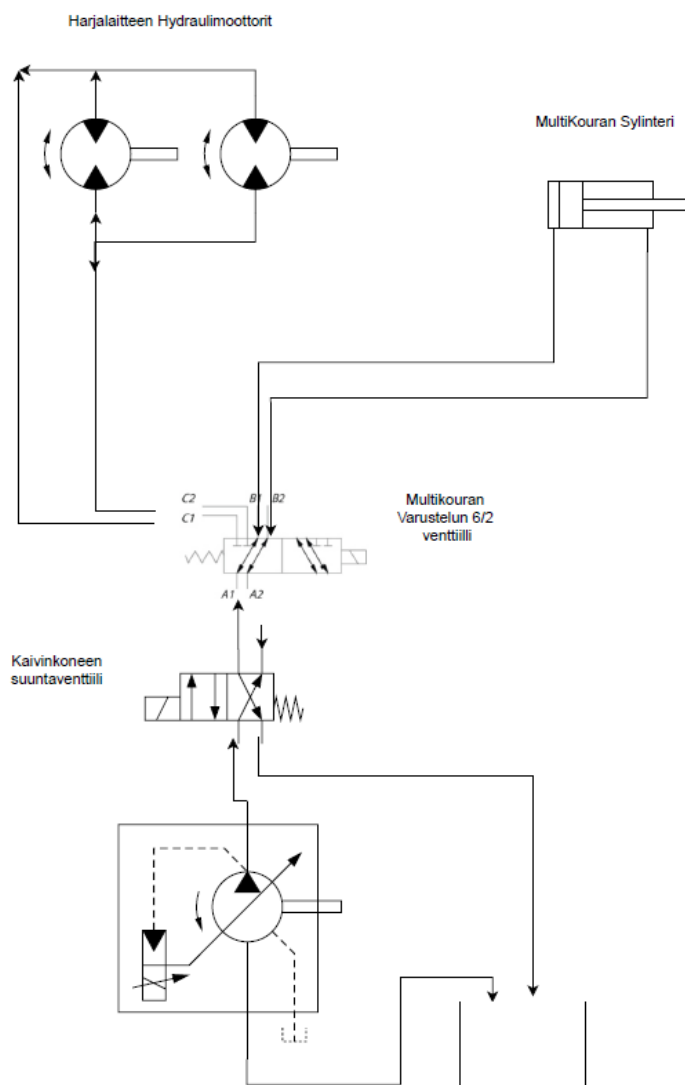
5.8 Varustelusuunnittelu

Harjalaitteen varustelusuunnittelu koostuu hydraulii- ja sähkösuunnittelusta. Harjalaitteeseen ei ollut suunniteltu varusteluosia, koska aiemmin oli pärjätty yhdellä hydraulilohkolla. Nyt hydrauliiikkaa pitäisi kuitenkin pystyä käyttämään valinnan mukaan sekä MultiKouran pääsylinterille, että myös harjalaitteen hydraulimoottoreille.

Tämä vaatii myös sähkösuunnittelua. Sähköllä tultaisiin ohjaamaan kouraan sijoitettavaa venttiiliä, jolla hydrauliiikan tilavuusvirtaa voitaisiin ohjata sylinterille ja moottoreille.

5.8.1 Hydrauliiikkasuunnittelu

Ensimmäisenä lähdettiin miettimään kouran hydrauliiikkaa, jotta tiedettäisiin millaisia osia ja ohjauksia kokonaisuuteen pitäisi saada mahdutettua. Suunnittelu aloitettiin hydraulipiirikaavion suunnittelulla. Tiedettiin valmiiksi, että toimilaitteina on yksi sylinteri ja toisena kaksi rinnan toimivaa hydraulii-moottoria ilman tankkiliitäntää.

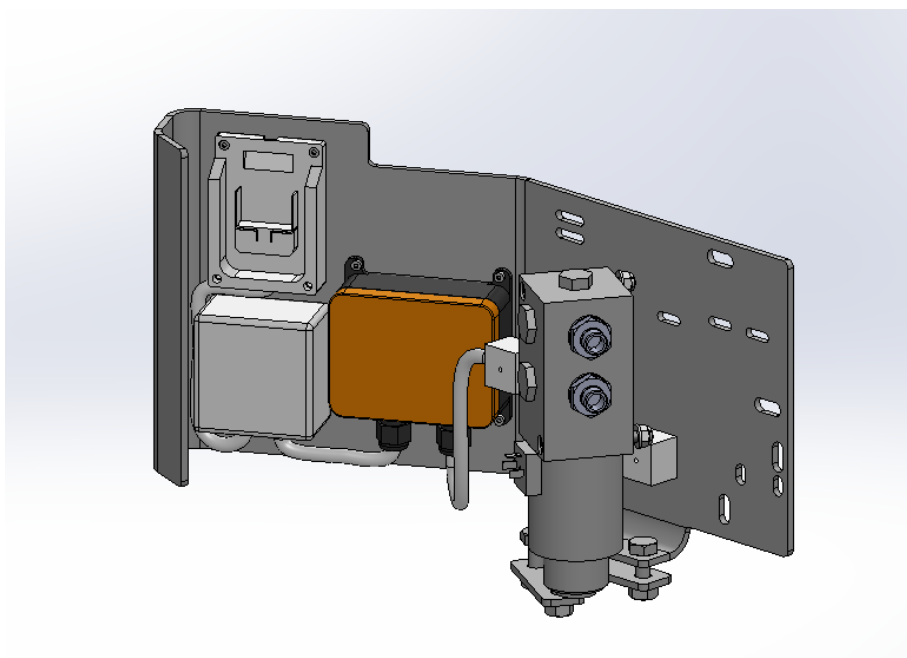


Kaavio 1. Harjalaitteen hydraulipiirikaavio. (Rönkkö 2021)

Hydraulipiirikaavion avulla selvitettiin tarvittavat komponentit. Saatiin tietää, että tarvitaan 6/2 venttiili ja ohjaukseksi valittiin sähköohjaus sillä sitä käytetään hyvin yleisesti TMK:n muissakin varusteissa. Tämä on myös helpoin tapa toteuttaa ohjaus, koska se saadaan vietyä langattoman, jolloin rotaattorin läpi ei tarvitse viedä sähköjä tai hydraulikkaa ohjausta varten. Rotaattorin läpi meneekin yleensä vain yksi kaksitoiminen hydraulikkalohko. Lisäksi tarvittaisiin tietenkin letkut rotaattorilta venttiilille ja venttiililtä sylinterille, että hydraulimoottoreille.

5.8.2 Sähkösuunnittelu

Edellisessä kappaleessa jo piirikaavio vaiheessa päädyttiin 6/2 venttiiliä ohjaamaan sähköisesti ja oli hyvin perusteltua käyttää siihen langatonta ohjausta, jota TMK hyvin monessa tilanteessa käyttää. Tätä pakettia päädyttiin käyttämään myös tässä sovelluksessa. Paketti koostuu porakoneen akun telineestä, konvektorista ja langattomasta vastaanottimesta.

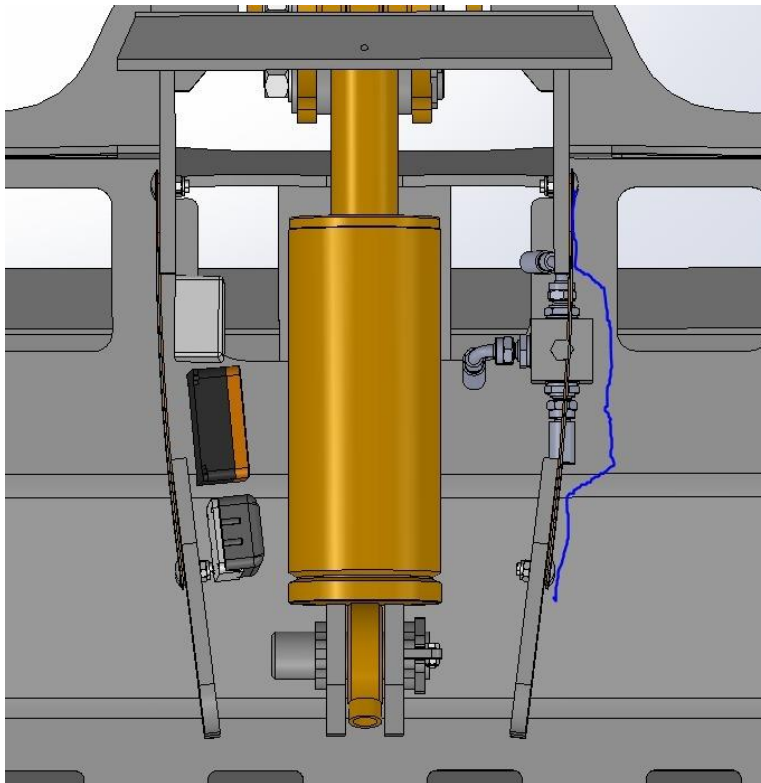


Kuva 30. TMK:n langaton ohjauspaketti toisessa varustelukokoonpanossa. (Rönkkö 2021)

Akkutelineen tarkoituksena on syöttää akun jännitettä konvektorille, jossa se muunnetaan langattomalle vastaanottimelle ja venttiilin toimilaitteelle sopivaksi. Eli konvektori on paketissa muuntamassa jännitettä, koska toimilaitte ei kestä pitkäkestoisesti porakoneen akun jännitettä. Langaton vastaanotin ottaa kiinni tietoa, joka syntyy, kun ohjaamossa painetaan painiketta ja muuttaa langattoman tiedon sähkövirraksi eli syöttää toimilaitteelle jännitettä, jolloin venttiili siirtyy eri asentoon.

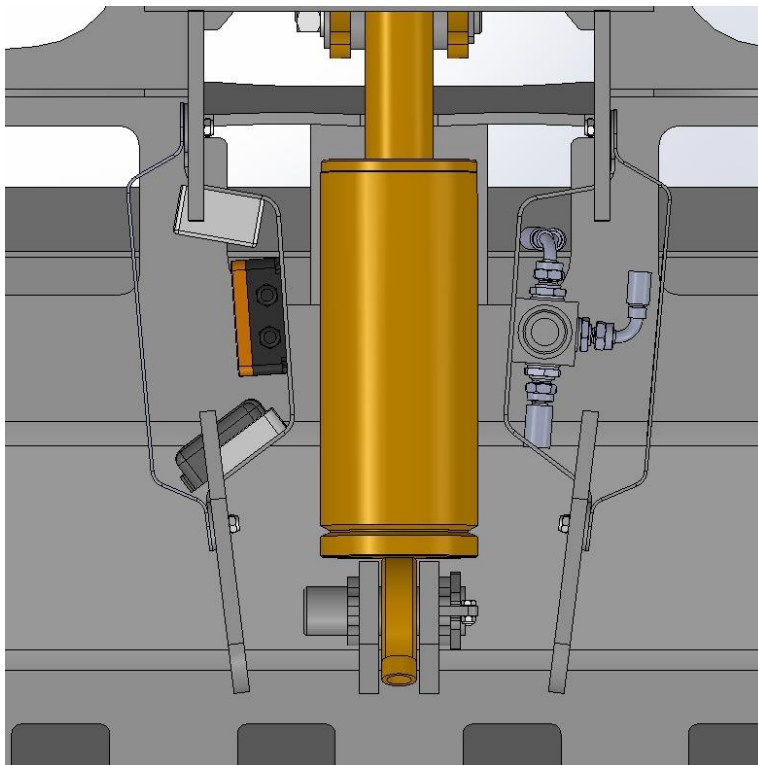
5.8.3 Tilavaraus suunnittelu.

Kun tarvittavat osat olivat tiedossa lähetettiin suunnittelemaan sitä, minne ne saataisiin sovitettua. Ensimmäisenä ajatuksena oli rakentaa varustelut suojiin MultiKouran päälle jonkinlaisella kiinnikkeellä. Kuitenkin päätettiin ensin sovittaa varustelun osia MultiKouran sisälle sylinterikoteloon, jossa on sylinterin molemmin puolin hieman tyhjää tilaa.



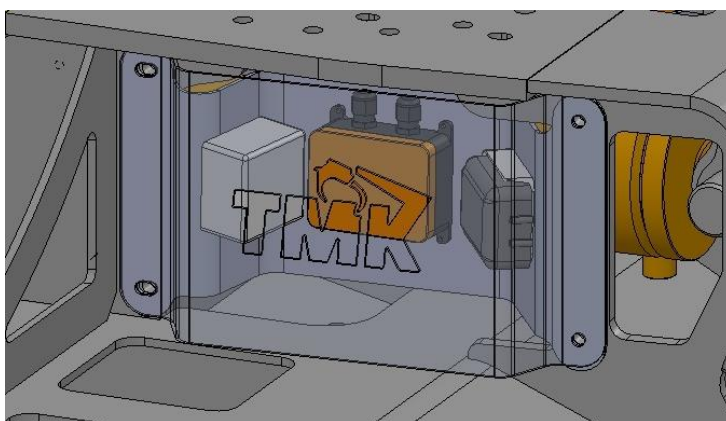
Kuva 31. MultiKouran sisällä oleva tila, jonne tarvittavia osia lähdettiin sovittamaan. Kuvaan sinisellä hahmotettu lisätilaa, jonka venttiili tulisi vaatimaan. Se saataisiin aikaan logolevyjä muokkaamalla. (Rönkkö 2021)

Pienen harkinnan jälkeen huomattiin kuitenkin paremmaksi ratkaisuksi tehdä yhden lisälevyt varusteluille, joihin osat kasattaisiin. Tämän jälkeen kokoonpanot saataisiin paketteina kiinnitettyä kouran runkoon. Tämä helpottaisi huomattavasti kokoonpano- ja huoltotöitä.



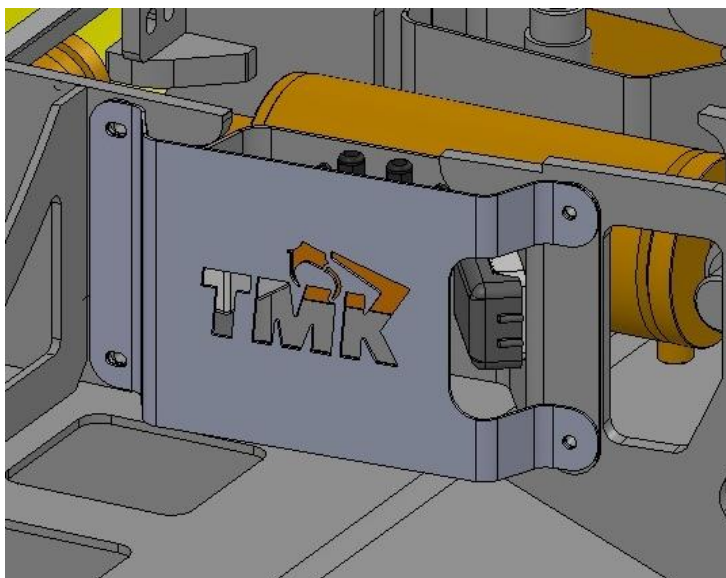
Kuva 32. Tarvittavat varusteet hahmoteltu alustavasti paikoilleen. Kaikki osat näyttäisivät sopivan paikoilleen, kun logolevyjä hieman muokattiin eli levennettiin. Molempia puolia levennettiin saman verran ja samalla tavalla sillä haluttiin säilyttää kouran symmetrinen ilme. (Rönkkö 2021)

Logolevyt haluttiin säilyttää kansilevyn tasolla tai sisempänä, jotta lumi ja roskat eivät pääsisi valumaan kansilevyn päältä kouran sisälle. Haasteeksi muodostui akun vaihtaminen. Akku pitäisi työpäivän jälkeen saada otettua mukaa, joten tähän olisi suunniteltava ratkaisu. Vaihtoehtoina olivat, että tehdään koko kannesta avattava, tehdään kanteen pienempi luukku, tehdään kanteen aukko akulle tai viimeisenä vaihtoehtona mietittiin siirtää akku kokonaan eri paikkaan.



Kuva 33. Sähkövarusteluosat hahmoteltuna kouran sisälle. (Rönkkö 2021)

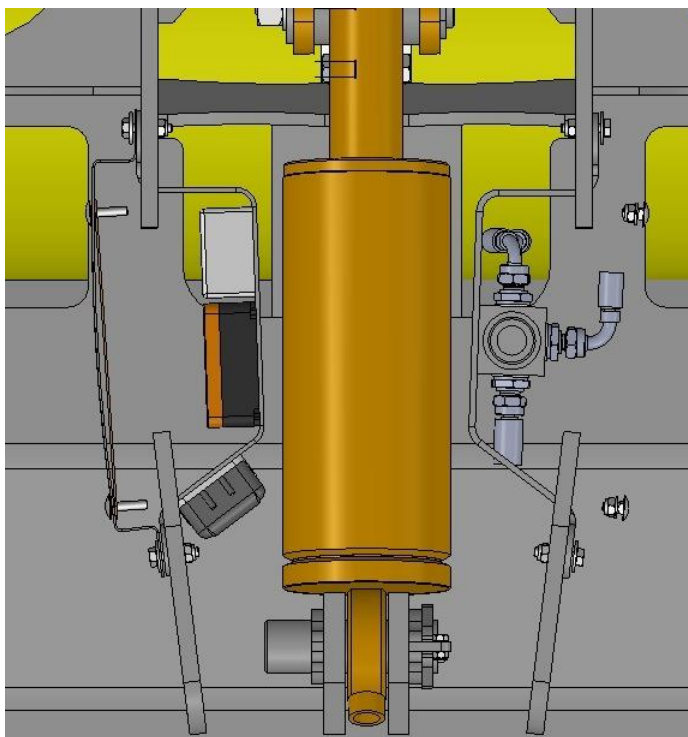
Ensimmäisenä päätettiin kokeilla tehdä kansilevyn sopiva aukko, josta akku saataisiin irrotettua ja kiinnitettyä.



Kuva 34. Kansilevy aukotettuna akun vaihtoa varten. (Rönkkö 2021)

Tähän liittyi kuitenkin kaksi ongelmaa. Ensimmäisen ja isoimpana ongelmana oli akun asennus vaaka-asentoon. Tästä oli aiempien kokemusten perusteella saatu huonoa testaustulosta, eikä haluttu ottaa riskiä siitä, että akku ei pysyisi paikoillaan. Toisena ongelmana oli aukon ulkonäkö. Se ei sopinut kouraan ja myöskin erosi toisen puolen logolevystä, niin paljon, ettei tähän ratkaisuun haluttu päätyä.

Tämä vuoksi lähdettiin siirtämään akkulinettä toiselle puolelle varustelu levyä, jolloin akun saisi vaihdettua kouran rungossa olevasta aukosta. Myös tällöin akku saataisiin asennettua pystyasentoon, jolloin akun massa pitäisi sen lukituksen lisäksi paikoillaan.

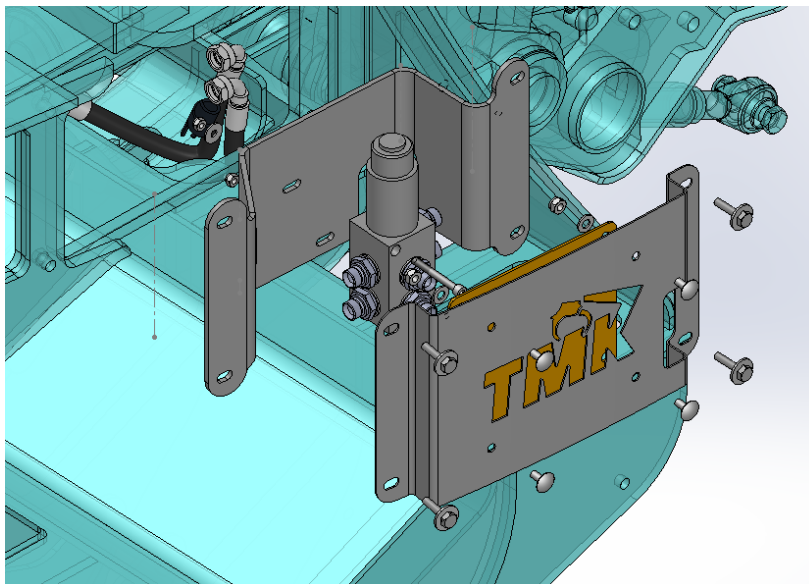


Kuva 35. Varustelun osat paikoillaan. Akku on tässä kuvassa siirretty toiselle puolelle varustelulevyä, jolloin myös konvektorille ja langattomalle vastaanottimelle jää enemmän tilaa. (Rönkkö 2021)

Tähän layout malliin oltiin hyvin tyytyväisiä. Sitten jäi vielä suunniteltavaksi varustelulevyt ja kiinnitykset loppuun.

5.8.4 Varustelulevyjen suunnittelu.

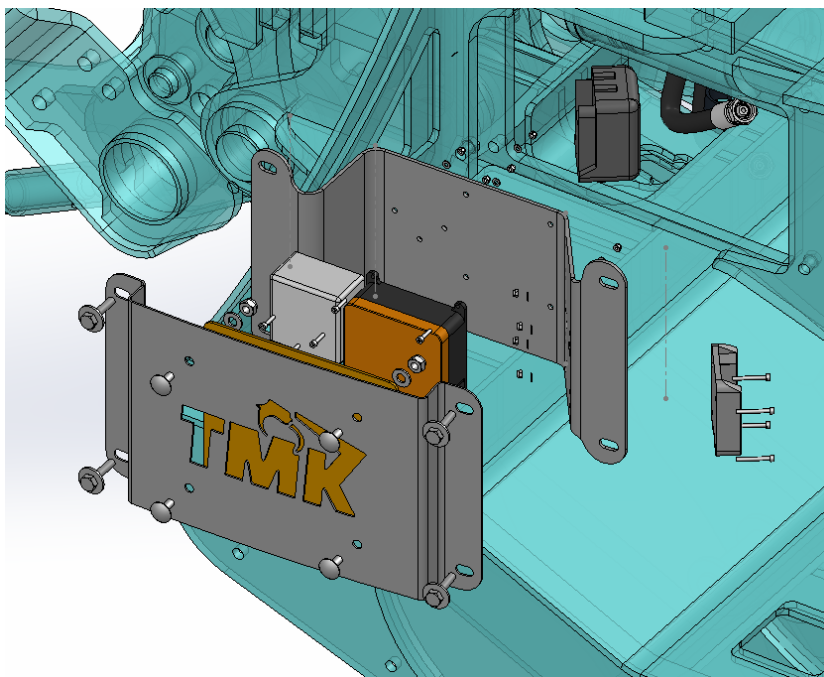
Varustelulevyt päätettiin suunnitella tavallisesta S355 rakenneteräksestä sen edullisuuden ja hyvien särmäysominaisuuksien vuoksi sillä tiedettiin, että järkevintä on suunnitella varusteluosat leikatuista ja särmätyistä levyleikkeistä.



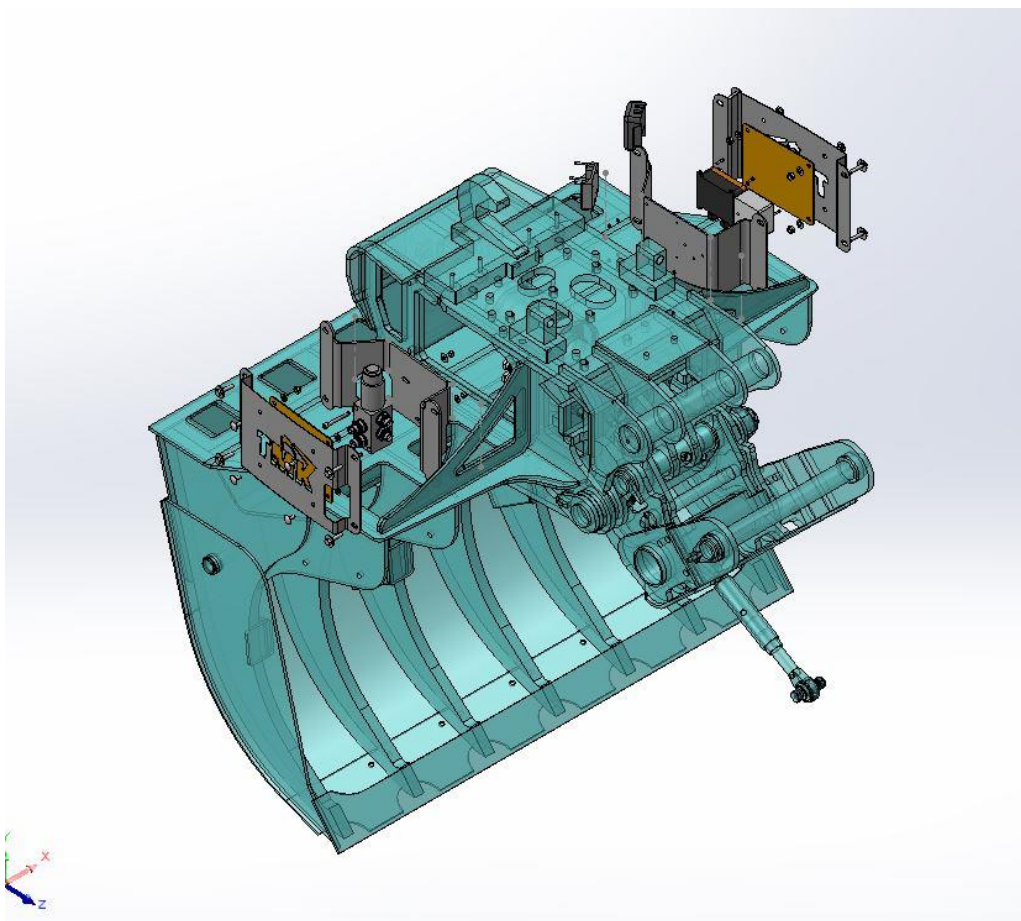
Kuva 36. 6/2 venttiilille suunniteltu kiinnikelevy, sekä logolevy ja sen taustalevy. (Rönkkö 2021)

Myös letkuille piti suunnitella tarvittavat tilat ja leikata levyihin letkuille tarvittavat aukot. Tarkempaa letkujen mallinnusta ei tässä vaiheessa prototyypin valmistusta kuitenkaan lähdetty tekemään, vaan päätettiin ensin rakentaa yksi prototyyppi, jotta tiedettäisiin enemmän.

Molemmista puolista pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman samanlaiset, jotta ne saataisiin valmistettua samasta leikkeestä, taustalevy onkin molemmilla puolilla sama. Itse varustelulevyn haluttiin venttiilille olevan vahvempaa 6 mm ja sähköpuolella 3 mm levyä. Tämän vuoksi näitä ei saada valmistettua samasta osasta. Kansilevyn jouduttiin venttiilin puolella tekemään aukko harjalaitteelle lähtevälle letkulle, minkä vuoksi kansilevyt jouduttiin eriyttämään omille osanumeroilleen.



Kuva 37. Sähkövarustelu osille suunniteltu varustelulevy, sekä logolevy ja sen taustalevy. (Rönkkö 2021)



Kuva 38. Harjalaitteen varustelu (Rönkkö 2021)

Tästä pidettiin palaveri, jossa oltiin yhtä mieltä siitä, että sekä varustelu, että runkokin on valmis prototyypin valmistukseen. Päätettiin aloittaa valmistuskuvien tekeminen, vaikka FEM-tarkastelua ei

ollut vielä tehtykään. Ajateltiin, että tehdään tarvittavat muutokset sitten tuotantoversioon sillä tuotantoversio tulisi kuitenkin muuttumaan, niin paljon, ettei analyysistä olisi tuotantoversioon nähden hyötyä. Lähinnä se antaisi vahvistusta omille päätelmille ja näyttäisi mahdolliset ongelmakohdat rakenteessa. Päätettiin kuitenkin saada osat ensin ostoon ja tehdä FEM analyysi sen jälkeen.

5.8.5 Valmistuspiirustusten tekeminen

Valmistuspiirustukset tehtiin myös Solidworks 2020 ohjelmistolla. Piirustukset aloitettiin rungon osista ja sen jälkeen siirryttiin varustelun osiin ja kokoonpanoihin. Valmistuspiirustusten tekeminen on huolellista työtä, jossa pitää tuntea ala. Lisäksi on tärkeää tietää myös kyseisen yrityksen tyypilliset toiminta tavat, jotta kuvista saataisiin mahdollisimman yhtenäisiä ja selkeitä lukea.

Myös TMK:lla arvostetaan arvostetun Aimo Peren koneenpiirustuksen oppeja. Aimo Pere oli suomalainen diplomi-insinööri, joka toimi opettajana vuosikymmeniä ja loi myös useita koneenpiirustuksen oppikirjoja, jotka ovat vielä tänäkin päivänä käytössä kaikissa suomen teknisissä kouluissa. Pere myös toimi pitkään Suomen standardisoimisliiton piirustuskomitean puheenjohtajana, ja jätti siis jälkeensä hyvin paljon kirjallisuutta koneenpiirustuksesta.

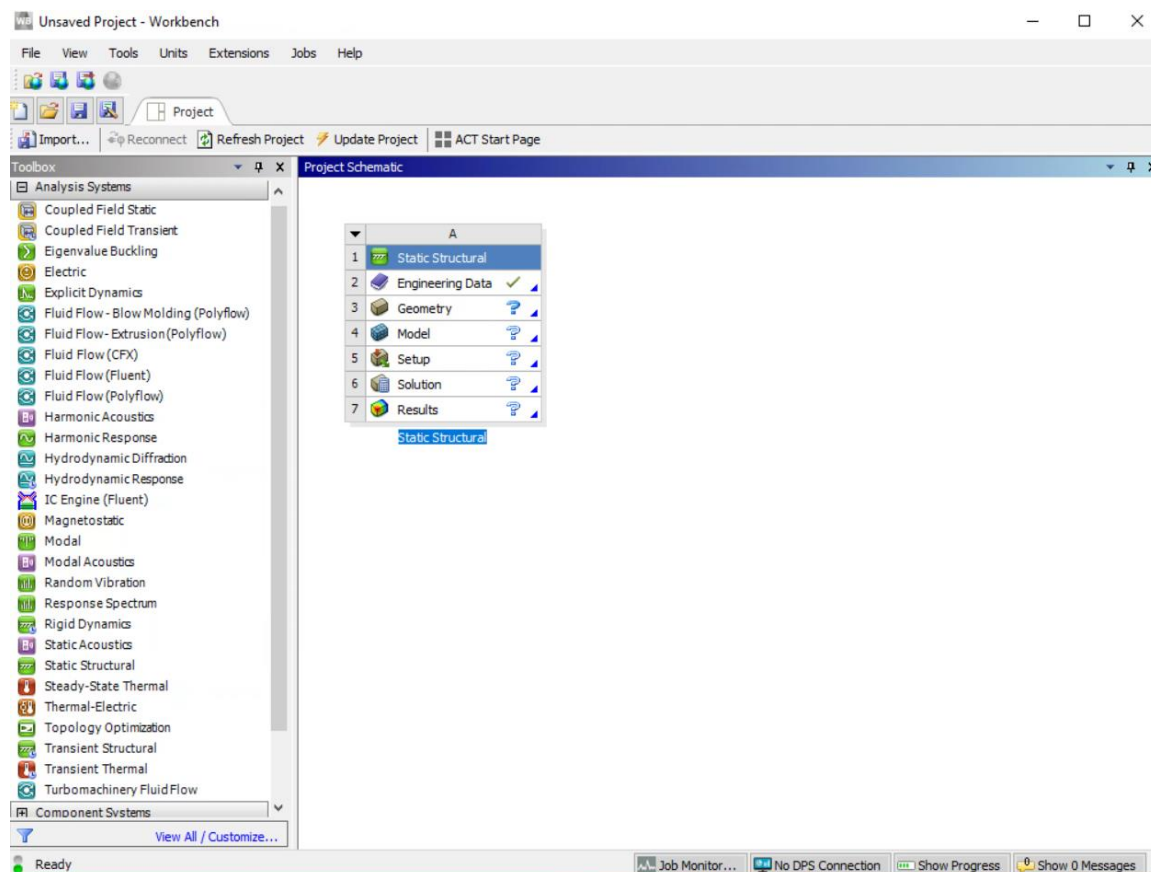
Näillä opeilla on helpompaa piirtää selkeitä ja yksiselitteisiä piirustuksia. Piirustusten selkeys on parantunut huomattavasti vuosikymmenten aikana uudenlaisten ohjelmien avulla, joilla saadaan piirrettyä vaikeitakin kuvia hyvin yksinkertaisesti. Hyvän ja selkeän piirustuksen piirtämiseen taritaan kuitenkin riittävästi aikaa. Selkeä ja oikea oppinen piirustus helpottaa huomattavasti osan tai kokoonpanon valmistusta.

Tämän opinnäytetyön valmistuspiirustuksia löytyy opinnäytetyön kohdasta Liitteet. Ne on kuitenkin jouduttu salaamaan tuote salaisuus syistä.

6 FEM-TARKASTELU

FEM-tarkastelu tehtiin Ansys Workbench alustalla, jota Savonia käyttää esimerkiksi FEM ja Simulointi kurssin opetuksessa. Workbench on FEM-laskenta alusta, jolla on mahdollista tehdä hyvinkin monimutkaisia FEM-analyysyjä. Siitä löytyy myös hyvin monipuolisesti työkaluja erilaisten analyysien tekemiseen kuten virtaustekniikkaa, harmonista värähtelyä sekä pitkä lista muita ominaisuuksia.

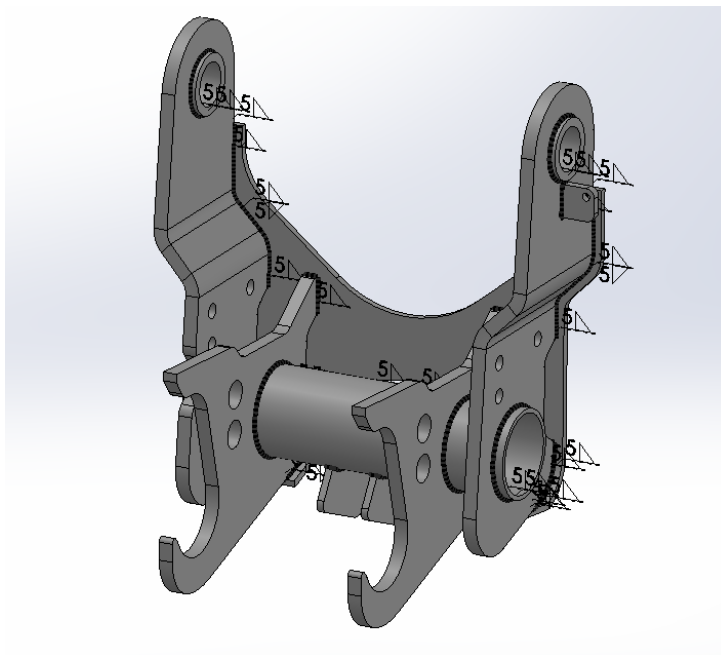
Tässä analyysissä käytettiin Static Structural työkalua, eli työkalua, jolla voidaan tehdä staattisia analyysejä erilaisille rakenteille. Ohjelmaan voidaan tuoda suoraan esimerkiksi Solidworksin part muotoisia tiedostoja.



Kuva 39. Kuvakaappaus Workbench työkalun aloituksesta. Ja listaa millaisia analyysejä alustalla voidaan esimerkiksi tehdä. (Rönkkö 2021)

6.1 Tutkittava kokoonpano

Tutkittavana kokoonpanona tässä opinnäytetyössä FEM-tarkasteluun otettiin harjalaitteen runko, jolla se kiinnittyy MultiKouraan. FEM-analyysi oli suhteellisen pieni osa tätä opinnäytetyötä ja siksi se pyrittiin pitämään yksinkertaisena samalla kuitenkin saaden luotettavia tuloksia, joista olisi hyötyä rakenteen jatkekehityksessä.

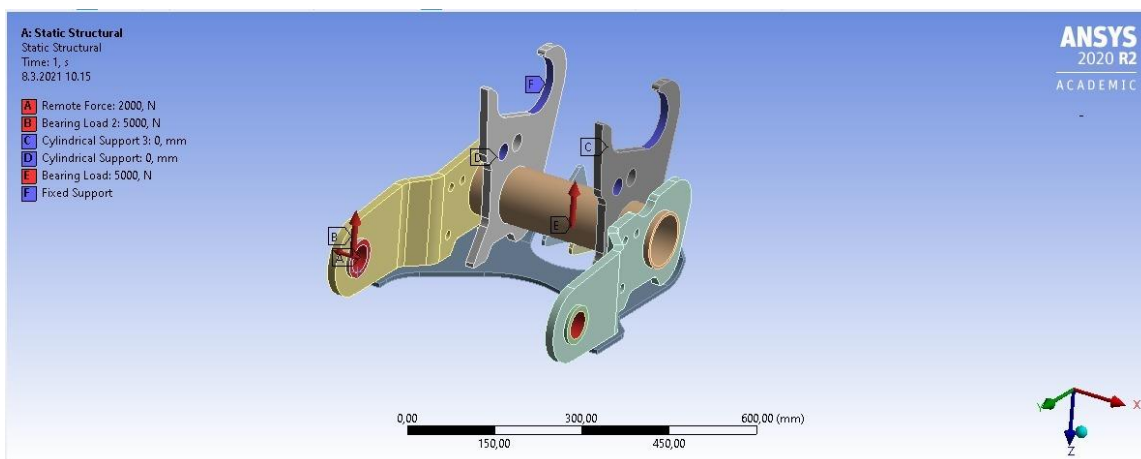


Kuva 40. Kuva analysoitavasta rungosta ja rakenteen hitseistä. (Rönkkö 2021)

6.2 Kiinnitykset

Kiinnitykset pyrittiin mallintamaan mahdollisimman yksinkertaistetusti samalla kuitenkin tehden ne niin, että tilanne vastaisi mahdollisimman tarkasti todellista tilannetta. Ensimmäisenä koitettiin rakentaa kiinnityksiä siten, että kuvan 41 pinnoille C, D ja F laitettiin Cylindrical Support eli ne kiinnitettiin tapilla näistä kohdista. Nyt ne pääsevät kiertymään kohdan ympäri ja tapin normaalin eli pituus suunnassa, mutta eivät pääse liikkumaan tapin säteen suunnassa. Lisäksi pinta F lukittiin myös tapin normaalin suunnassa, koska tämä on todellisuudessa sellaisessa välissä, ettei se pääse liikkumaan sivuttain.

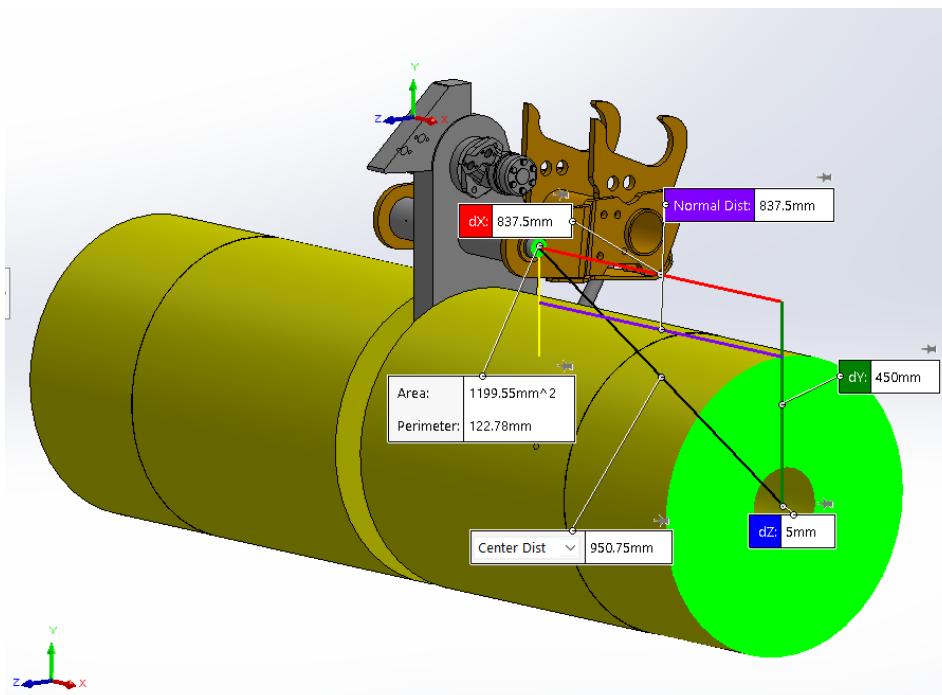
Sovellus ei kuitenkaan suostunut tekemään analyysiä näillä kiinnityksillä, joten pinnan F kiinnitykseksi vaihdettiin Fixed Support eli kiinteä kiinnitys, jolloin pinta ei pääse elämään missään suunnassa vaan on ikään kuin liimattu kiinni koordinaatistoon koko pinta-alaltaan.



Kuva 41. Kuvassa näkyvät rakenteelle asetetut kiinnitykset ja voimat, joilla rakennetta ohjelmassa rasitetaan. (Rönkkö 2021)

6.3 Voimat

Voimien suunnittelussa pyrittiin simuloimaan tilannetta, jossa laitetta painetaan maata vasten liian kovaa ja törmätään samalla sivuttain esteeseen kuten reunakiveykseen tai seinään. Painettavaksi voimaksi asetettiin n.1000 kg eli 10000N, joka jakautuu harjalaitteen kiinnitysakselille ja työntövarren korvakolle puoliksi eli 5000N + 5000N ja sivuttaiseksi voimaksi 2000N. Nämä voimat löytyvät kuvasta 41.



Kuva 42. Mittojen ottamista analysoitavasta rakenteesta, jotta voiman paikka FEM-analysissä saadaan oikealle paikalleen. (Rönkkö 2021)

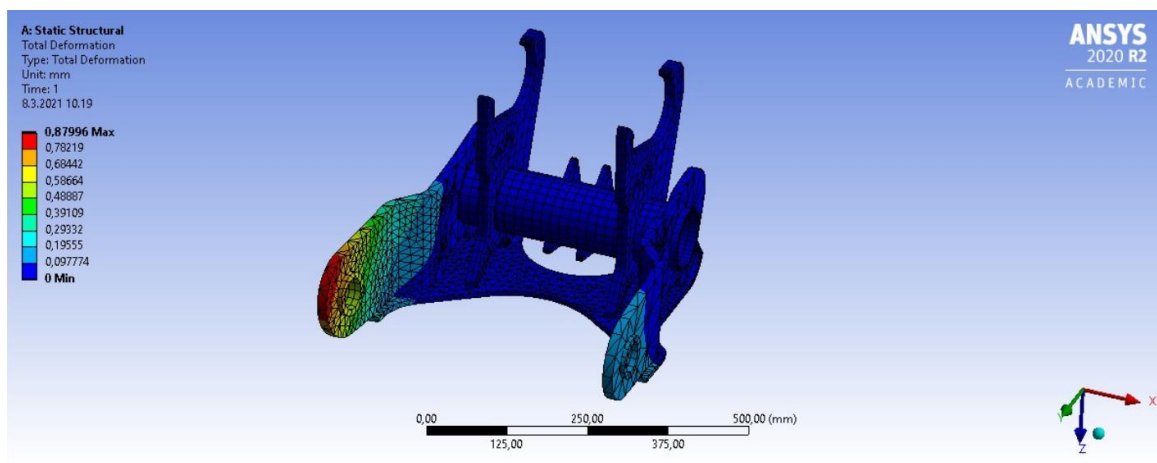
Sivuttainen voima mallinnettiin siis tulevaksi harjalaitteen akselin kohdalle suoraan sivulta. Tämän vuoksi tarvittiin tietää tämän akselin etäisyys harjalaitteen kiinnitys akselista, jota on kuvattu kuvassa 42. Voimat on mallinnettu

6.4 Tulokset

Tuloksista tässä opinnäytetyössä käsitellään siirtymiä ja jännityksiä. Simuloinnin tulokset olivat odotetun tyyppiset. Löytyi kuitenkin yksi jännityshuippu, jota ei oltu osattu ennustaa. Tämä otettiin huomioon rungon suunnittelussa, sillä osat eivät olleet vielä kerenneet mennä oston.

6.4.1 Siirtymät

Siirtymät muistuttivat odotuksia. Runko ei juurikaan taivu pystykuormasta, mutta sivuttainen 2000 Newtonin voima saa toisen poskilevyn siirtymään noin 0,9 mm. Tästä voidaan päätellä rakenteen olevan riittävän jäykkä, joka suunnassa. Kuitenkin on tarkasteltava, onko poskilevyssä tai sen läheisyydessä sellaista kohtaa, josta se voisi alkaa väsymään liikkeestä johtuen.

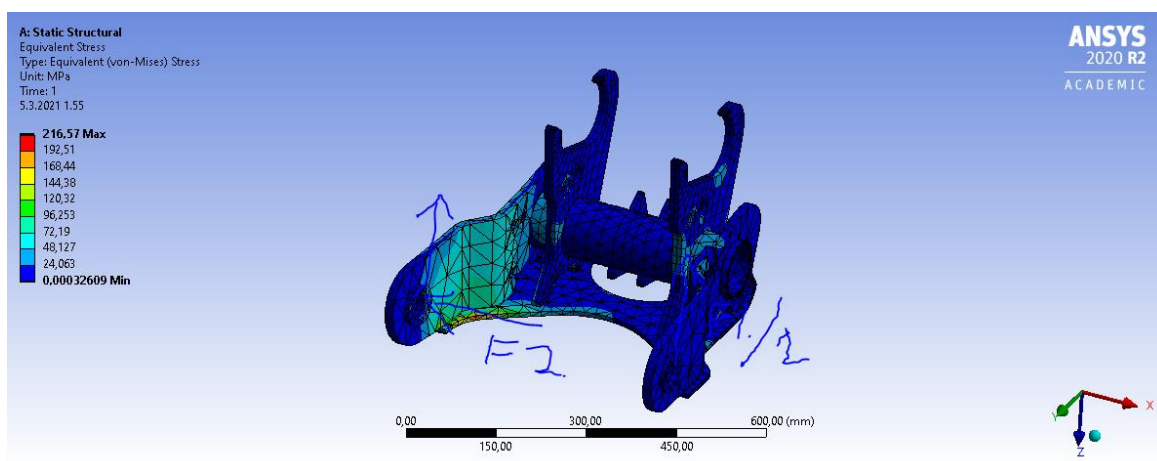


Kuva 43. Rungon maksimi siirtymät FEM analyysissä. (Rönkkö 2021)

6.4.2 Jännitykset

Myös rungon jännitykset olivat arvattavissa, vaikka ohjelma löysi yhden korkean jännitys huipun, jota ei osattu ennustaa, niin korkeaksi. Jännityshuippu muodostuu tukilevyn kärjen lähetyvillä olevaan sisäkurviin. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi sivuttaisesta voimasta, joka aiheuttaa tähän kohtaan vetojännitystä. Jännitys nousee kohdassa ohjelman mukaan noin 217 MPa: liin, joka ei tällä materiaalilla ole vielä kovin korkea sillä materiaalin myötöraja on noin 1100Mpa.

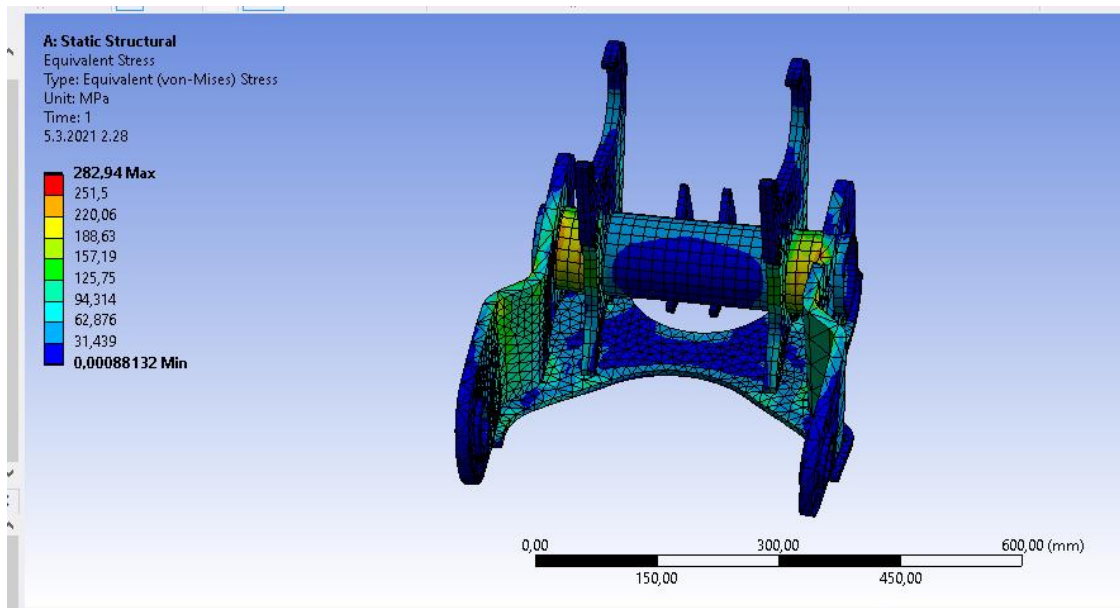
Jännitys on kuitenkin huomattavasti korkeampi, kuin muualla rakenteessa, joten levyä päätettiin muokata valitsemalla levyn kulmaan isompi säde, jotta jännitys kohdistuisi suuremmalle alueelle ja näin ollen pienentyisi.



Kuva 44. Rungon jännitykset FEM analyysissä. (Rönkkö 2021)

Lisäksi haluttiin vielä simuloida tilannetta, jossa harjaa painettaisiin kovalla painolla (5000 Kg), eli asetettiin harjalaitteen kiinnitysholkeille 50 000 Newtonin voima ja poistettiin sivuttainen voima. Kiinnitykset pysyivät entisellään. Tällöin jännitykset korostuivat varsinkin rungon rakenneputkeen ja sen liitoskohtiin, jossa se liittyy rungon poskilevyihin. Tällöin jännitys nousee noin 283 MPa: liin putken

myötölujuuden ollessa 355 MPa. Tällöin ollaan siis jo lähellä rakenteen myötämistä, mutta asetettujen voimien ollessa näin suuria, että voidaan todeta rakenteen helposti kestävän sille tarkoitetussa käytössä.



Kuva 45. Rakenteen jännitykset 5 000 Newtonin voimalla. (Rönkkö 2021)

6.5 Yhteenveto

Yhteenvetona FEM-laskennasta voidaan sanoa, että siitä on hyvin monesti apua rakenteiden analysoinnissa kuten myös tämän rakenteen kanssa. On hyvin vaikea laskea tällaisten rakenteiden jännityksiä käsin ja juuri siksi on kehitetty vastaavia ohjelmia, jotka helpottavat rakenteiden tutkimista ja mitoitusta. Niitä käytetäänkin hyvin yleisesti keskisuurissa ja isoissa Konealan yrityksissä.

Tässä rakenteessa FEM-analyysi tuki ja vahvisti ratkaisuja, joita oli tehty suunnittelu vaiheessa. Myös FEM-analyysoinnin jatkuva tekeminen varmasti auttaisi tulevaisuudessa hahmottamaan mahdolliset kriittiset jännitys- ja siirtymä kohdat jo mallinnusvaiheessa, sillä niiden avulla saataisiin informaatiota monenlaisista rakenteista ja voimista sekä niistä aiheutuneista jännityksistä ja siirtymistä.

7 PROTOTYYPIN VALMISTUS

Prototyyppi on vielä valmistuksessa johtuen viivästyksistä, joita harjalaitteen suunnittelun varrella ilmeni, sekä tehtaan pitkittyneen sesongin johdosta. Tämän vuoksi prototyypin valmistuksesta ei keretty saada tietoa tähän opinnäytetyöhön. Prototyyppi tullaan valmistamaan alkukesästä 2021 ja sitä jatkokehitetään ainakin kesän 2021 ajan.

8 KOKEMUKSIA LAITTEESTA

Laitteesta ei ole vielä käytännön kokemusta, koska laitetta ei olla vielä valmistettu. Tarkoituksena oli kirjoittaa tähän opinnäytetyöhön käyttökokemuksia harjalaitteen käytöstä ja toimivuudesta, mutta johtuen proton viivästymisestä tätä kokemusta ei ehditty saamaan. Laitetta tullaan testaamaan erilaisissa tilanteissa heti sen valmistuttua ennen kuin seuraavaa prototyyppiä tai sarjaa aletaan suunnittelemaan.

9 LAITTEEN JATKOKEHITYS

Laitetta tullaan jatkokehittämään heti ensimmäisen prototyypin käyttökokemusten jälkeen. Laitteesta suunnitellaan varmaankin vielä toinen prototyyppi, jossa hyödynnetään markkinoilta löytyvää valmista harjalaitetta tai sitten koko paketti suunnitellaan ja valmistetaan itse. Suunnitellaan sellainen versio, joka soveltuu sarjatuotantoon. Tämä todennäköisesti vaatii oman prototyypin, jotta kaikki saadaan toimimaan saumattomasti yhteen ja laite saadaan valmisteltua valmiiksi markkinoille.

Tästä eteenpäin laitteen kehitystyö jatkuu luonnollisesti asiakkailta saadun palautteen perusteella ja siitä hioutuu lopullisesti valmis tuote. Vaikkakin tämän tyyppisille tuotteille on tyypillistä jatkuva parantuminen ja kehittyminen.

10 TUOTTEEN KAUPALLISTAMINEN

Tuotteen kaupallistaminen tehdään siinä vaiheessa, kun laitteen prototyyppi on saatu siihen pisteeseen, että se on valmis markkinoille. Ennen varsinaista kaupallistamista laitteella on vielä pitkä kehityskulku ennen kuin sitä voidaan alkaa myymään asiakkaille. Tuotteen kaupallistamiseen liittyy tuotekehityksen tueksi hyvin usein myös markkinointi- ja myyntitiimit. Yhteistyössä nämä kaikki kolme laativat suunnitelman tuotteen kaupallistamisesta, miten ja minne tuotetta myydään ja kuinka paljon.

11 PROJEKTIN YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli sopivan haastava ja työläs. Varsin mielenkiintoisen työstä teki sen, että idea harjalaitteesta tuli alun perin itseltäni, vaikka idea harjalaitteesta eli aika paljon siitä ideasta tähän pisteeseen. Oman idean työstäminen valmiiksi laitteeksi on hyvin antoisaa, kun näkee miten ajatukset ja ideat muodostuvat teknisiksi ratkaisuuksi. Työtä sai tehdä sopivan itsenäisesti, mutta myös tukea ja apua sai tarvittaessa, sekä lähes viikoittaiset palaverit yhteistyökumppaneiden kanssa auttoi oikean suunnan säilyttämisessä koko projektin ajan.

Projektin aikana tuli käytyä läpi lähes kokonaan tuotekehitysprojektin eri vaiheet ja työ opettikin hyvin eri vaiheiden tärkeimmät opit ja mihin asioihin tällaisissa projekteissa kannattaa panostaa. Lyhyesti sanottuna on hyvin tärkeää laittaa alussa tavoitteet ylös ja seurata niitä koko prosessin ajan. Tällöin päästään hyvin todennäköisesti haluttuun lopputulokseen halutussa ajassa.

Lopputulokseen oltiin yhteistyökumppanin puolelta tyytyväisiä, ja laitteen prototyyppiä lähdettiin rakentamaan ja viemään työtä sitä kautta eteenpäin. Olin myös itse tyytyväinen lopputulokseen ja kokonaisuuteen, vaikka haasteita projektin aikana oli monenlaisia. Kokonaisuutena hyvin opettavainen ja monipuolinen projekti.

12 LÄHTEET

Conseptas Oy. Kuvio projektin kulusta. <https://tuotekehitys.com/kuinka-tuotekehitysprojekti-ete-nee/>. Viitattu 25.4.2021

KH-Varustekauppa. Harjalaitteen kuva. <https://varustekauppa.kh-koneet.fi/tuote/puomiharja-1300-900-s40-45-combi/>. Viitattu 22.4.2021

Pomarkun Urakoitsijatarvike Oy. Puomiharjan kuva. <https://www.pome.fi/puomiharja/>. Viitattu 22.4.2021

Nettikone. Harjalaitteen myynti ilmoitus. <https://www.nettikone.com/vila/harjakone/2000006>. Viitattu 22.4.2021

Helsingin Sanomat. Aimo Pere. <https://www.hs.fi/ihmiset/art-2000004756059.html>. Viitattu 25.4.2021

13 LIITTEET

LIITE 1: HARJALAITTEEN PÄÄKOKOONPANO PIIRUSTUS

Ei julkinen.

LIITE 2: HARJALAITTEEN RUNGON HITSAUSPIIRUSTUS

Ei julkinen.

LIITE 3: HARJALAITTEEN RUNGON JÄYKISTELVYN PIIRUSTUS

Ei julkinen.

LIITE 4: HARJALAITTEEN VARUSTELUN PÄÄPIIRUSTUS

Ei julkinen.