



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LISÄPUOMIN SUUNNITTELU PINTAPORAUSLAITTEESEEN

TEKIJÄ/T: Jami Rumpunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jami Rumpunen	
Työn nimi Lisäpuomin suunnittelu pintaporauslaitteeseen	
Päiväys	5.6.2013
Sivumäärä/Liitteet	25
Ohjaaja(t) Seppo Ryyänen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Insinööri-toimisto Comatec Oy / Arto Timperi	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin lisäpuomi pintaporauslaitteeseen. Työn tarkoituksena oli suunnitella, mallintaa ja tehdä valmistuspiirustukset porauslaitteeseen kiinnitettävästä puomikokonaisuudesta. Suunniteltu puomi valmistettiin ja asennettiin asiakkaan omaan laitteeseen. Puomin suunnittelussa tuli kiinnittää huomiota valmistettavuuteen, koska suunnittelun lopullinen päämäärä on saada puomista jälkiasennettava tuote. Puomi on vielä prototyyppi.</p> <p>Puomin valmistuskustannuksia oli pyrittävä pitämään alhaisina, joten valmistusmateriaalina on käytetty yleisesti saatavilla olevia materiaaleja ja mahdollisimman paljon sellaisia osia, joita asiakkaalla on itsellään ennestään paljon eri kohteissa käytössä.</p> <p>Lujuuslaskelmia tehtiin suunniteltaessa aluksi käsin saksipuomiin. Myöhemmin käytettiin MSC Adams- ja Ansys-laskentaohjelmia koko puomin tarkastelussa. Puomin rakenteita vahvistettiin ja hitsaussaumojen kestävyyttä parannettiin näiden lujuuslaskelmien perusteella.</p> <p>3D-mallit tehtiin Siemensin NX 7.5 –suunnitteluohjelmistolla ja valmistuskuvat ja 3D-mallit tallennettiin asiakkaan Teamcenter-järjestelmään.</p>	
Avainsanat 3D-Mallinnus, Saksipuomi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Jami Rumpunen			
Title of Thesis Designing Additional Boom to Surface Drill Rig			
Date	5.6.2013	Pages/Appendices	25
Supervisor(s) Seppo Ryyänen			
Client Organisation /Partners Engineering office Comatec Oy			
<p>Abstract</p> <p>In this thesis additional boom to surface drill rig was designed. The purpose was to design, model and make manufacturing drawings of the attachable boom assembly to the drilling device.</p> <p>Designed boom was manufactured and installed to the customer's own machine. In designing the boom, attention had to be paid to the manufacturability, as the ultimate goal of the design is to get the boom as a retrofit product. The boom is still at the prototype stage.</p> <p>It was aimed at keeping the boom manufacturing costs low, so the used materials were chosen to be commonly available and by using client´s own components as much as possible. The idea was to use the same components, the client had already used in several different equipment.</p> <p>Strength calculations were first made by hand to scissor boom. Later we used the MSC Adams and Ansys calculation programs throughout the boom review. The boom´s structure was strengthened and the durability of welds was improved on the basis of the strength calculations results.</p> <p>3D models where made with Siemens NX 7.5 design software and manufacturing images and 3D models were stored in to client´s Teamcenter data system.</p>			
Keywords 3D-modelling, Scissor boom			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	6
3	YRITYS ESITTELY.....	7
4	LISÄPUOMI.....	8
4.1	Käyttötarkoitus	8
4.2	Toimintaperiaate.....	8
5	SUUNNITTELU	9
5.1	Puomin hahmottelu.....	9
5.2	Puomikokoonpano.....	10
5.2.1	Liitoskappale.....	11
5.2.2	Jatkopuomi.....	11
5.2.3	Kääntönivel.....	12
5.2.4	Saksipuomi	13
5.3	Sylinterit.....	14
5.4	Laakeri.....	15
5.5	Saksipuomin nivelet	15
5.6	Materiaalien valinta	16
6	LUJUUSLASKENTA	17
6.1	Saksipuomi.....	17
6.1.1	Saksipuomin simulointi	17
6.1.2	Reunaehdot.....	18
6.1.3	Kuormitustapaukset	18
6.2	Jatkopuomi.....	20
6.2.1	Reunaehdot.....	20
6.2.2	Kuormitustapaukset	20
7	TURVALLISUUSTARKASTELU	23
8	YHTEENVETO.....	24
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	

1 JOHDANTO

Tämä työ oli asiakasprojekti, joka tilattiin Insinööritoimisto Comatec Oy:ltä. Asiakas tarvitsi lisäpuomin pintaporalaiteeseensa lisävarusteiden kiinnitystä varten.

Projektin tarkoituksena oli suunnitella asiakkaan pintaporauslaitteeseen lisäpuomi uusille lisävarusteille. Suunniteltu puomi mallinnettiin ja malli tallennettiin asiakkaan järjestelmään. Lisäpuomista ja sen komponenteista laadittiin valmistuspiirustukset, joiden avulla ensimmäinen prototyyppi valmistettiin. Puomin tärkein tehtävä on lisävarusteiden siirtäminen pois näkökentästä, kun laitteella liikutaan tai porataan. Puomi ja siinä oleva lisälaitte eivät saa vähentää laitteen käyttöominaisuuksia, kuten esimerkiksi laitteen 20 asteen nousukulmaa. Puomi kiinnitetään poralaiteeseen jälkiasennettuna. Kiinnityspaikaksi määritettiin hytinpuomi, josta sen täytyy olla tarvittaessa irrotettavissa. Puomiin kiinnitettävien lisälaitteiden massaksi sovittiin aloitettaessa 1000 kg, mutta myöhemmin se laskettiin 650 kg:aan.

Suunnittelussa toivottiin käytettävän mahdollisimman paljon sellaisia osia, joita asiakkaalla on omassa järjestelmässään. Rakenteessa toivottiin käytettävän sellaisia materiaaleja, joiden saatavuus on hyvä. Puomin rakenteen tulee olla myös riittävän yksinkertainen niin, että se on helposti huollettavissa ja tarvittaessa korjaaminen olisi mahdollista.

Suunnitteluohjelmanä käytetään Siemensin NX 7.5 -ohjelmistoa ja mallit sekä valmistuskuvat tallennetaan asiakkaan Teamcenter -järjestelmään.

2 LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Oskilointi	Porauslaitteen kallistaminen suhteessa maan kaltevuuteen.
Kuormanlaskuventtiili	Sylinteriin asennettava venttiili. kuorman hallittuun laskuun, kuorman paikallaan pysymisen varmistamiseen ja lisäksi se toimii myös letkunrikkoventtiilinä. (Koneautomaation wiki. Metropolia)
S355J2H	S = Rakenneteräs 355 = Vähimmäismuotolujuus N/mm ² J2 = Iskunsitkeys min. 27J -20 °C H = Putkipalkki
E470J2	E = Koneteräs 470 = Vähimmäismuotolujuus N/mm ² J2 = Iskunsitkeys min.27J -20 °C
Sylinteri 100/50–330	100 = Sylinterin halkaisija (mm) 50 = Männänvarren halkaisija (mm) 330 = Iskunpituus (mm)
Lavetti	Työkoneiden siirtämisessä käytettävä kuljetusalusta

3 YRITYS ESITTELY

Comatec on perustettu vuonna 1986 ja konsernin henkilöstön määrä 400. Insinööritoimisto Comatec Oy on osa Comatec-konsernia. Konserni koostuu kuudesta yrityksestä, joiden toimipisteitä on Suomessa 13 ja Virossa yksi. Konsernin liikevaihto vuonna 2012 oli 26 M€

Toimipisteet:

- Insinööritoimisto Comatec Oy
Toimipisteet: Tampere, Hämeenlinna, Kuopio, Järvenpää, Vantaa, Lahti, Turku ja Joensuu
- Rantotek Oy
Toimipisteet: Tampere ja Varkaus
- Insinööritoimisto Metso Oy
Toimipisteet: Lappeenranta ja Imatra
- Oucons Oy
Toimipiste: Oulu
- APK-Ohjelmointi Oy
Toimipiste: Hyvinkää
- Comatec Estonia Oü
Toimipiste: Tallinna, Viro

Konsernin toimialoja ovat työkoneet ja erikoisajoneuvot, tuotantolaitteet ja –järjestelmät, sekä kattilat ja voimalaitokset. Toiminnan kivijalkana ovat suunnittelu, asiantuntijapalvelut ja projektinhallinta. Toimialat on jaettu omiin osastoihin, joita ovat:

Työkoneet ja erikoisajoneuvot:

- Kaivos- ja maanrakennuskoneet
- Maatalous- ja metsäkoneet, kuormankäsittelylaitteet
- Erikoisajoneuvot ja kiskokalusto
- Sähkö ja automaatio
- Asiantuntijapalvelut

Tuotantolaitteet ja –järjestelmät:

- Materiaalinkäsittely
- Sähkölaitteet ja -järjestelmät
- Prosessiteollisuuden koneet ja laitteet
- Teollisuuden kunnossapito

Kattilat ja voimalaitokset:

- Prosessisuunnittelu
- Mekaaninen suunnittelu
- Työmaapalvelut (Comatec Intranet)

4 LISÄPUOMI

4.1 Käyttötarkoitus

Lisäpuomin tarkoituksena on olla kytkettävissä pintaporauslaitteeseen jälkiasenteisena ja liikuttaa siihen kytkettyä lisälaitetta pysty- ja vaakasuunnassa.

4.2 Toimintaperiaate

Lisäpuomiin asennetaan haluttu lisälaitte. Laitteen kiinnitys toteutetaan ruuviliitoksella.

Porauslaitteen käyttäjä pystyy ohjaamoon sijoitetuista katkaisijoista liikuttamaan puomin sylintereitä. Sylinterit mahdollistavat sekä lisälaitteen siirtämisen vaakatasossa että lisälaitteen nostamisen/laskemisen maanpintaan.

Puomin siirtäminen vaakatasossa varmistaa mahdollisimman hyvän näkyvyyden eteenpäin ja porauspaikkaan, kun lisälaitte on kiinnitetty puomiin. Puomi käännetään suoraksi, kun porauslaitetta siirretään lavetilla uuteen paikkaan. Suorassa asennossa puomi ja lisälaitte pysyvät porauslaitteen kuljetusasennon äärimittojen sisällä, joten kuljetuksen äärimitat eivät muutu lisäpuomin vuoksi.

Puomin nostamisella pystysuunnassa estetään lisälaitteen osuminen maassa oleviin esteisiin, eikä rajoiteta laitteenvalmistajan ilmoittamaa 20 asteen nousukulmaa. Puomin nostaminen mahdollistaa myös niiden lisälaitteiden käytön, jotka vaativat tietyn määrän tyhjää tilaa alapuolelleen.

Kun lisälaitetta ei enää tarvita, lisälaitte irrotetaan puomista. Myös puomikokoonpanon pystyy irrottamaan porauslaitteesta niin, että ainoastaan liitososa jää laitteeseen. Puomi irrotetaan liitososasta ja hydraulikkaletkut irrotetaan porauslaitteen alustassa olevasta pikaliittimestä.

Jatkopuomia ei ole välttämätöntä irrottaa, vaan kokoonpanosta pystyy irrottamaan myös pelkästään saksipuomin ja kääntösynterin. Siinä tilanteessa ohjaamon eteen jää ainoastaan kääntönivel, mikä ei häiritse porauslaitteen käyttöä. Siinä tapauksessa hydraulikkaletkut irrotetaan alustan pikaliittimestä ja jatkopuomin letkunkiristimistä.

5 SUUNNITTELU

5.1 Puomin hahmottelu

Projektin alussa päätettiin, että puomin tulee olla kolmeosainen: Poralaitteeseen kiinnitettävä osa, jatkopuomi, jonka avulla saadaan mahdollinen kääntönivel ohjaamon alta laitteen eteen sekä kolmas osa, joka mahdollistaa lisälaitteen liikuttamisen pystysuunnassa.

Suunnittelu alkoi kiinnitysosan hahmottelusta porauslaitteeseen. Ajatuksena oli, että kiinnitysosa koostuisi kolmesta levystä: sivulevyistä, joiden avulla kiinnitysosan saa kiinnitettyä hytinpuomiin ja jotka helpottavat kiinnitysosan asentamista samansuuntaisesti hytinpuomin kanssa, sekä kiinnityslevystä, johon puomin pystyy kiinnittämään.

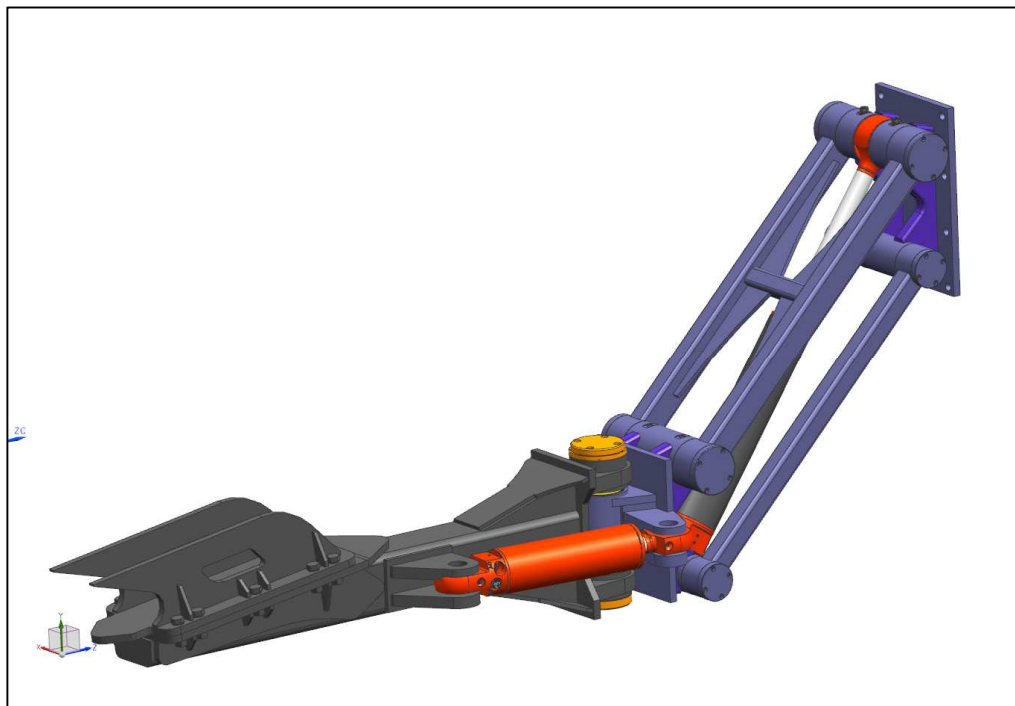
Jatkopuomin suunnittelussa tarkoitus oli saada puomi kiinnitettyä niin että se olisi porauslaitteen alustan kanssa samansuuntainen. Hytinpuomi on kiinnitetty kahdeksan asteen kulmaan laitteen alustan vaakatasosta. Jatkopuomin suunnittelussa piti huomioida myös kääntönivelen riittävä etäisyys porauslaitteesta, että niveleen kiinnitettävä rakenne pääsee kääntymään vapaasti.

Kolmanneksi osaksi hahmoteltiin aluksi samanlaista mastorakennetta, jota trukeissa käytetään. Rakennerratkaisu olisi toiminut, mutta mastorakenne olisi pitänyt tuoda laitteesta kauemmaksi, että lisälaitte voisi kääntyä ilman vaaraa törmäyksestä porauslaitteen rakenteeseen. Tämä olisi aiheuttanut ongelmia porauslaitteen luvattuun 20 asteen nousukulmaan. Lisäksi puomin ollessa suorassa, riski törmäykseen vahingossa porapuomin kanssa on suuri.

Muutaman erilaisen rakennerratkaisun jälkeen päädyttiin saksipuomin käyttämiseen. Saksipuomin etuja olivat yksinkertainen rakenne ja se, että puomiin kiinnitettävä lisälaitte on vaakatasossa poralaitteen alustan kanssa. Kun porauslaitteella oskilloidaan laitteen alusta vaakatasoon, lisälaitte on silloin aina suorassa riippumatta saksipuomin asennosta. Saksipuomin etuja on myös painopisteen siirtyminen lähemmäksi porauslaitetta, kun saksipuomi nostetaan yläasentoon.

5.2 Puomikokoonpano

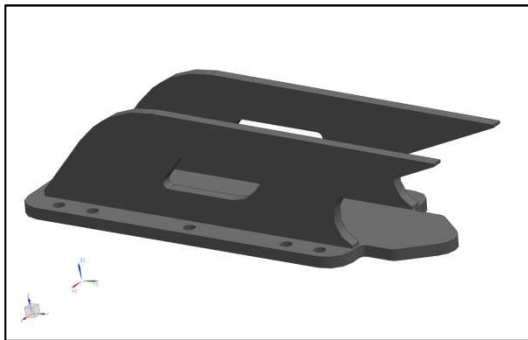
Puomin kolmiosainen kokoonpano koostuu liitoskappaleesta, lisäpuomista sekä saksipuomista. Lisäpuomi ja saksipuomi liitetään toisiinsa asiakkaan valmiilla kääntönivelkokoonpanolla, joka sisältää akselin, laakerit ja kannet akselin molempiin päihin. Puomia liikutetaan kahdella 100/50-sylinterillä. Saksipuomi kääntyy sivusuunnassa 40 astetta ja pystysuunnassa se liikkuu vaakatasosta 15 astetta alaspäin mahdollistaen puomin lisälaitteen laskemisen lähes maanpinnalle. Lisälaite on tarkoitus laskea puomilla kuormalavan päälle irroitettaessa. Puomin yläasento on +45 astetta vaakatasosta (kuva 1) joka mahdollistaa lisälaitteen nostamisen maanpinnasta 1,2 metrin korkeuteen.



Kuva 1. Puomikokonaisuus, saksipuomi 45 asteen kulmassa

5.2.1 Liitoskappale

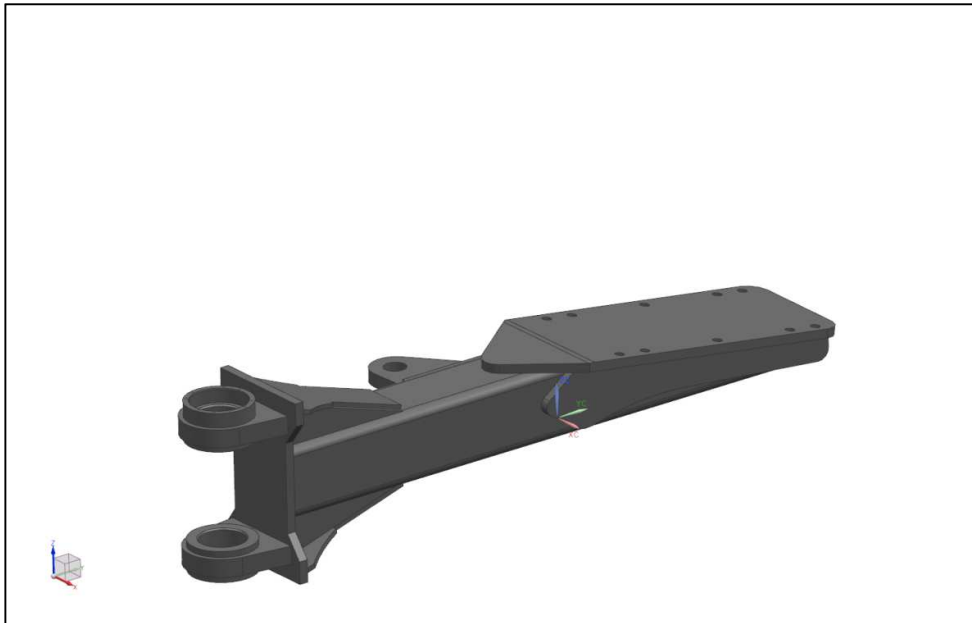
Liitoskappaleen (kuva 2) tehtävänä on siirtää lisäpuomin, saksipuomin ja siihen kiinnitettävän lisälaitteen massat porauslaitteen alustaan ja samalla se toimii kiinnityslaippana nivelpuomille. Liitoskappale kiinnitetään porauslaitteen alustalla olevaan hytinpuomiin sekä puomin tukilevyihin. Sivulevyjen muodot ovat "siipimäiset", mutta asennushitsauksen ja maalauksen jälkeen ne jatkavat ulkonäöllisesti tukilevyjen pituutta. Ulkopuoliselle asennus saattaa näyttää siltä, kuin hytin puomiin olisi kiinnitetty ainoastaan kiinnityslevy.



Kuva 2. Hytinpuomiin kiinnitettävä liitoskappale.

5.2.2 Jatkopuomi

Jatkopuomi kiinnitetään liitoskappaleeseen ruuviliitoksella, joka mahdollistaa puomien irrottamisen niin, että poralaite palautuu lähes alkuperäiseen kuntoon ulkonäöllisesti. Jatkopuomi (kuva 3) tuo kääntönivelen laitteen hytin eteen, mistä saksipuomi pystyy kääntymään vaaditun 40 astetta ilman vaaraa siitä, että puomi saattaisi osua porauslaitteen rakenteeseen. Porauslaitteen rakenteen lisäksi piti huomioida kaikki mahdolliset laitteeseen kytkettävät lisäosat, että koko puomikokoonpanon voisi kiinnittää laitteeseen sen varustelutasosta riippumatta. Lisälaitteen rakenne ei vaikuta osumisen vaaraan, koska se on käännettynä täysin laitteen ulkopuolella, myös nostettuna 45 asteen kulmaan.



Kuva 3. Jatkopuomissa on paikat kääntöniveleen laakereille ja kääntösylinterille.

5.2.3 Kääntönivel

Kääntöniveleksi valittiin valmis, useassa laitteessa käytetty nivelkokoontalo (kuva 4). Kokoontalon yleisen käytön vuoksi osat olivat helposti saatavilla ja kokoontalon hankintakustannus oli alhainen. Kokoontalo sisältää kuusi laakeria, 380 mm pitkän laipallisen akselin, kiinnityslaipan estämään akselin liikkuminen pystysuunnassa ja kannet akselin molempiin pätyihin. Laakeripesien ulkopuolelle jäävät laakerit suojataan tiivisteellä. Kääntöniveleen muut käyttökohteet aiheuttavat kokoontalolle huomattavasti suuremmat rasitukset, kuin mitä lisäpuomin kokoontalo ja painavin lisälaite siihen kohdistaa. Käyttökokemukset kääntönivelestä ovat olleet hyviä, eikä vikaantumisia ole ollut.



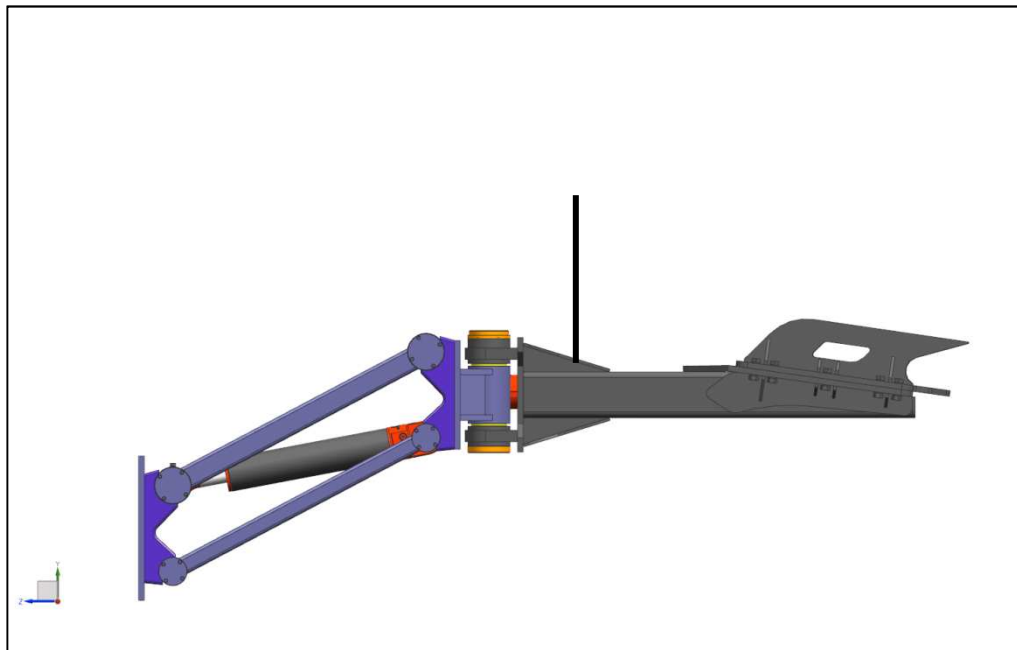
Kuva 4. Kääntönivelkokoontalo

5.2.4 Saksipuomi

Saksipuomin avulla lisälaitteen pystyy siirtämään pois suoraan hytin edestä, jotta helpoitetaan ohjaajan näkyvyyttä suoraan eteenpäin.

Kun puomia liikutellaan pystysuunnassa, pysyvät saksipuomin päätyosat yhdensuuntaisina keskenään ja yhdensuuntaisena porauslaitteen alustan kanssa. Puomi lasketaan ala-asentoon (kuva 5), kun puomissa oleva lisälaitte halutaan irrottaa. Ala-asennossa tasaisella pinnalla lisälaitte ei osu maahan, vaan jää siitä hieman irti. Tämä sen vuoksi, että lisälaitte on tarkoitettu laskea aina kuormalavalle.

Puomin nivelen sijainti mitoitettiin niin, että se riittää kääntämään lisälaitteen kokonaan pois hytin edestä. Puomia pystyy liikuttamaan pystysuunnassa ilman että se tulee hytin eteen tai osuu porauslaitteen rakenteisiin, myös sen ollessa käännettynä 40 astetta sivulle.



Kuva 5. Saksipuomin ala-asento. Viiva kuvaa ohjaamon etuosan sijaintia.

5.3 Sylinterit

Sylinterit saksipuomin pysty- ja vaakaliikkeille tulivat asiakkaan sylinteriluettelosta. Sylinterit ovat käyttökohteeseen ylimitoitetut, varsinkin kääntösylinterissä. Käyttökohteeseen riittävän sylinterin saa mitoitettua kaavalla:

$$p = F / a \quad (1)$$

Kaavassa p = käyttöpaine Pa, F = sylinterin voima N ja a = sylinterin pinta-ala. Pinta-ala lasketaan kaavalla:

$$A = \pi * D^2 / 4 \quad (2)$$

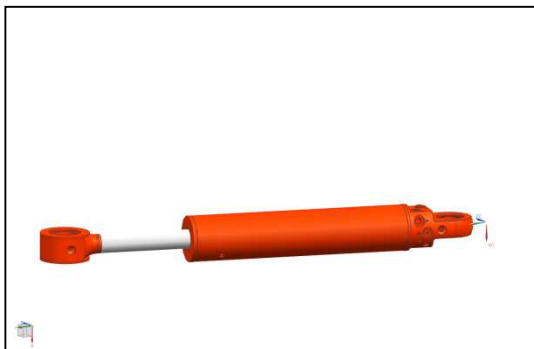
Kaavassa D on männän halkaisija.

Valittujen sylintereiden käyttöpaine on 100 bar eli $100 * 10^5$ Pa ja männän halkaisija on 100 mm.

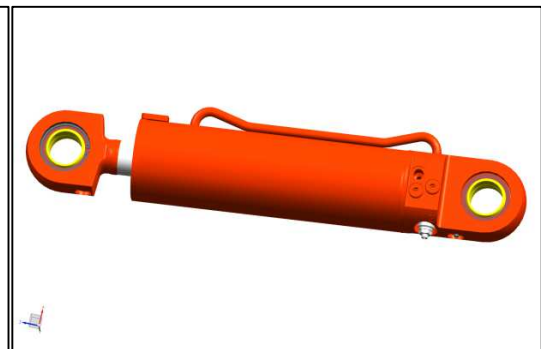
$$F = \pi * \frac{0.1m^2}{4} * 100 * 10^5 Pa \approx 78.5 kN \quad (3)$$

Sylinterit olisivat voineet olla pienempiä, mutta nämä valittiin asiakkaan toiveesta. Valittu sylinterikoko on asiakkaalla yleinen ja kyseisessä kokoluokassa on kuormanlaskuventtiilit sylinterissä valmiina.

Täysin sopivan pituisia sylintereitä ei valmiina ollut, mutta sopiva iskunpituus saatiin aikaiseksi lisäämällä rajoittimet. Nostosylinterissä (kuva 6) rajoittimet asetettiin A- ja B-kammioon, minkä vaikutuksesta minimipituus nousi 100 mm ja maksimipituus lyheni 50 mm. Kääntösylinterin (kuva 7) B-kammioon lisättiin 100 mm rajoitinholkki, mikä lyhensi iskunpituutta. Molemmat sylinterit ovat 100/50 -sylintereitä.



Kuva 6. Nostosylinteri



Kuva 7. Kääntösylinteri

5.4 Laakeri

Laakereiksi valittiin laipalliset sorvatut tinapronssilaakerit, joista asiakkaalla oli valmiina hyvä valikoima. Laakerit soveltuvat käyttökohteeseen hyvin ja liukumisnopeuden ollessa $< 1 \text{ m / min}$ ja käyttö ajoittaista, sallitaan pintapaineeksi puolet materiaalin myötöraja-arvosta (Johnson Metall). Laakerin laskennallisen pintapaineen p saa kaavalla:

$$p = F/(d \cdot l), \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

Kaavassa p = kuormitus, d = laakerin sisähalkaisija, l = pituus (mm) ja F = kuorma (N)

Laakereita löytyi useilla eri halkaisijoilla ja pituuksilla. Laakerit asennetaan kääntöniveleen ja saksipuomin laakeriholkkeihin.

Liukulaakerin etuja ovat:

- Soveltuminen jaksottaiseen käyttöön pitkillä seisonta-ajoilla
- Vaimentaa tärinää
- Sietää pieniä epäpuhauksia
- Hiljainen
- Kevyt
- Halpa
- Voideltuna sopii pienille liukunopeuksille

(Kurssimateriaali Heikki Salkinoja)

5.5 Saksipuomin nivelet

Saksipuomiin ei ollut saatavissa valmiiksi sopivan kokoisia nivelakseleita, joten siihen täytyi suunnitella sopivat. Akseleiden pienien halkaisijakokojen vuoksi akselit valmistettiin pyöröteräksestä. Suuremmissa halkaisijoissa on käytetty ainesputkia. Akselit lukitaan saksipuomiin jousisokilla. Jousisokkien reiät piti suunnitella riittävän syviksi, että akseleita irrotettaessa jousisokat pystytään lyömään akselin sisälle.

5.6 Materiaalien valinta

Materiaalien valinnassa täytyi ottaa huomioon asiakkaan toive hyvästä saatavuudesta ja laitteen toimintalämpötiloista. Käyttölämpötila-alueeksi ilmoitettiin -20 asteen ja +40 asteen välillä.

Levyjen ja putkiprofiilien pääasialliseksi materiaaliksi valittiin rakenneteräs S355, J2 vahvuudella.

Nivelten holkeissa käytettiin materiaalina E420J2 ainesputkea sopivien halkaisijamittojen vuoksi. Materiaalina voi myös käyttää kuumavalssattua putkea S355J2H, mutta tarvittavien kokojen saatavuus oli hieman heikompaa. Lähellä valmismittoja olevien putkikokojen käyttö vähensi koneistamisen tarvetta, kun sisähalkaisijasta ei tarvinnut poistaa materiaalia kuin muutamia millimetrejä ja ulkohalkaisijan voi jättää koneistamatta kokonaan.

Nivelakselit valmistettiin hiilletysteräksestä 20MnCr5 ja akselit hiilletyspintakarkaistiin laakerien vaatiman karkaistun vastinpinnan vuoksi minimissään 300HB:n kovuuteen.

6 LUJUUSLASKENTA

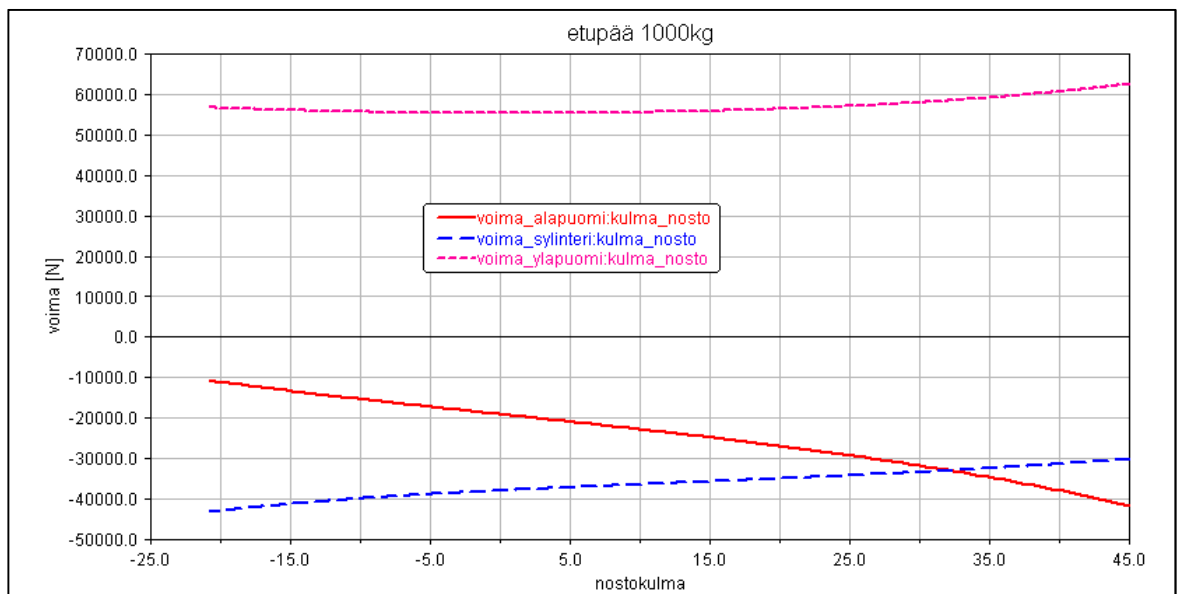
Lujuustarkastelu tehtiin suunnittelun alkuvaiheessa käsin saksipuomin osalta. Ensimmäiset lujuuslaskelmat tehtiin saksipuomille, jonka voimien simulointi tehtiin MSC Adams-ajosimulointiohjelmalla. Myöhemmin koko puomikokoonpanon lujuus tarkastettiin Ansys -lujuuslaskentaohjelmistolla.

6.1 Saksipuomi

Puomikokoonpanon lujuuslaskenta aloitettiin ala- ja yläpuomin sekä sylinterin rasitusten laskennalla.

6.1.1 Saksipuomin simulointi

Laskentaa varten saksipuomin 3D-malli avattiin NX motionilla, jossa määritettiin mallin nivelille liikkeitä ja laskentaohjelmaksi määritettiin Adams. Tallennettu malli aukaistiin Adams-laskentaohjelmalla ja ohjelmistolla laskettiin saksipuomin rakenteiden rasitukset (kuva 8) ja saksipuomin kääntöniveleen kohdistuvat rasitukset. Lisälaitteen massana käytettiin 1000 kg eli 9810 Newtonia ja liikekulmana (-25) – (+45) astetta. Myöhemmin lisälaitteen massaksi määritettiin 650 kg.

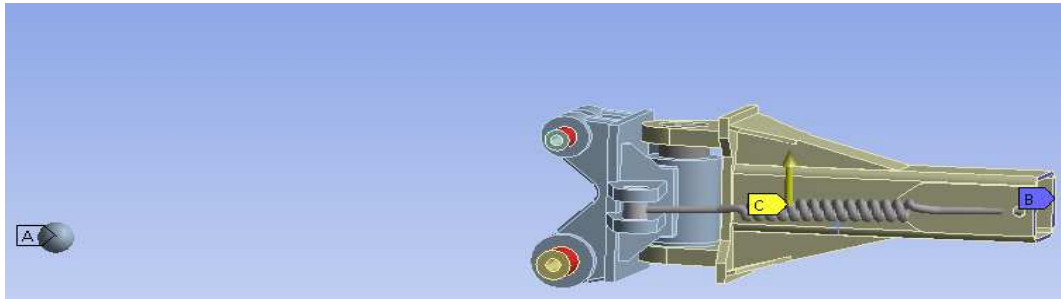


Kuva 8. Ala- ja yläpuomien sekä sylinterin rasitukset. Positiivinen voima on vetoa.

Suurin voima kohdistuu saksipuomin yläpuomiin, minne vaikuttaa 63 kN voima puomin ollessa nostettu ylös 45 asteen kulmaan vaakatasoon nähden. Näiden tietojen avulla saimme laskettua riittävät laippalaakerit ja nostosylinterin.

6.1.2 Reunaehdot

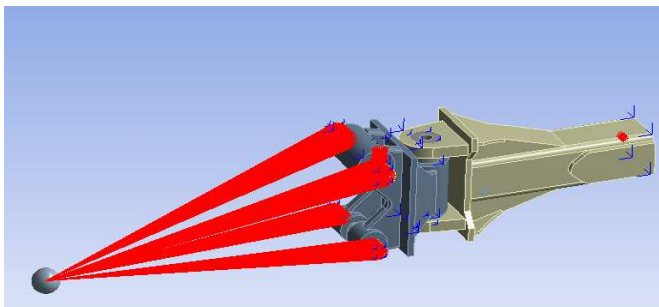
Mallissa oli mukana pala jatkopuomia ja saksipuomin nivel (kuva 9). Kuormitus tuodaan malliin kiihtyvyyden avulla. Malli on kiinnitetty saksipuomin leikkauspinnasta fixed-tuennalla.



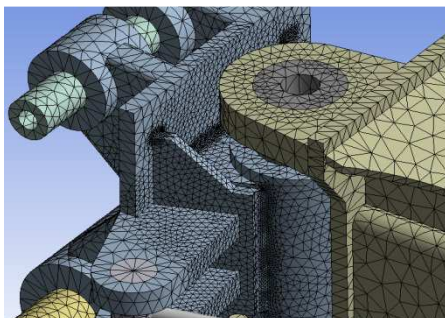
Kuva 9. Mallin kontaktit. A kuvaa lisävarusteen massakeskiötä

6.1.3 Kuormitustapaukset

Kuormitustapauksia oli kaksi, ensimmäinen kuormitustapaus laskettiin pystysuuntaisesta heilahduksesta johtuvasta iskusta ($2G = 19.62 \text{ m/s}^2$) ja toinen sivulle kohdistuvasta liikkeestä ($y = 9.81 \text{ m/s}^2$, $z = 9.81 \text{ m/s}^2$). Nivelä kuormitetaan lisälaitteen ja saksipuomin massakeskiöllä. Lisälaitteen massa on 650 kg ja saksipuomin 350 kg. Massakeskiö on asetettu saksipuomin kiinnitystappeihin remote force- tyyppisesti (kuva 10). Suurimmille rasitusalueille määritettiin tiheät elementtiverkot (kuva 11).

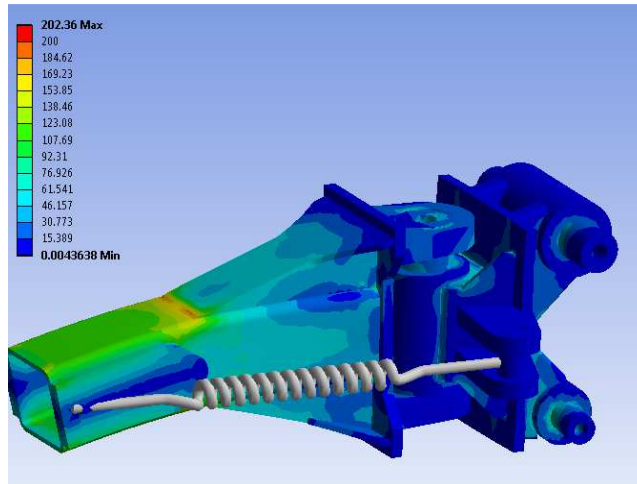


Kuva 10. Massapisteen kiinnittäminen saksipuomin akselisiin.

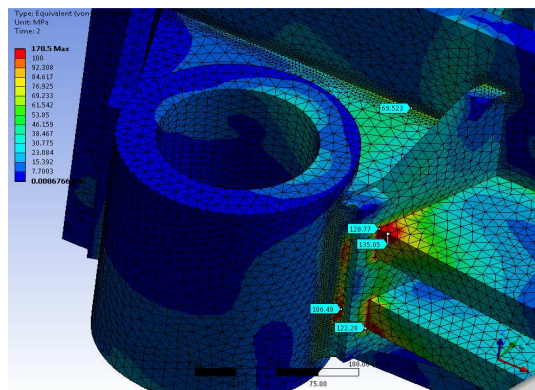


Kuva 11. Saksipuomin nivelen elementtiverkko.

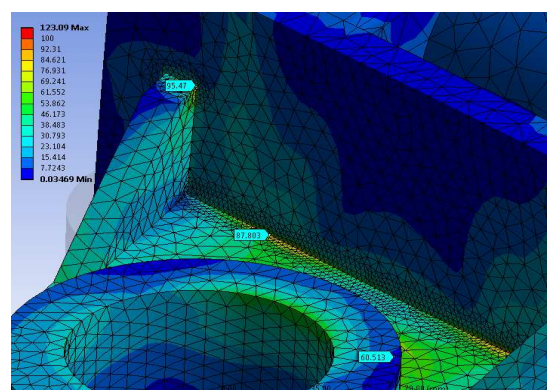
Saksipuomia kuormittaessa 2G voimalla nivelen alueella suurin rasitus kohdistuu jatkojuomien tukilevyn hitsaussaumaan (kuva 12), jossa rasitus nousee yli 200 MPa:n. Saksipuomin kääntönivelen laakeripesän rakenteeseen ei kohdistu suuria rasituksia (kuva 13 ja Kuva 14), vaan ne siirtyvät nivelen kautta jatkojuomiin. Hitsaussauman lisäksi kuormitus rasittaa kiinnitysosan ja kääntönivelen puoliväliä jatkojuomissa. Tämä rasitus näkyy myöhemmin jatkojuomien lujuuslaskennassa.



Kuva 12. Rasitukset kääntönivelen alueella



Kuva 13. Saksipuomin kääntönivelen rasitus

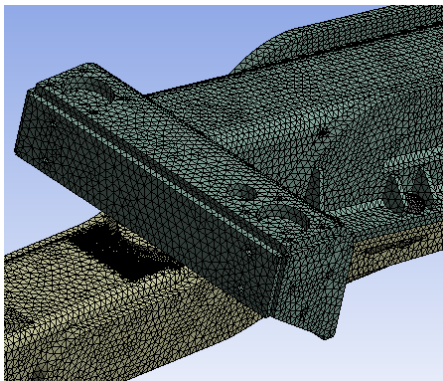


Kuva 14. rasitukset nivelen kiinnityskohdissa.

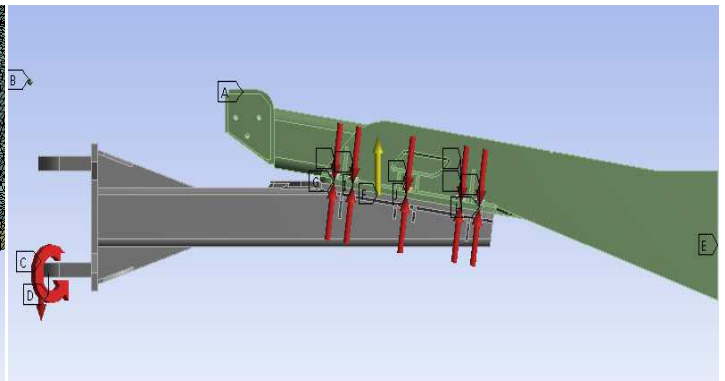
6.2 Jatkopuomi

6.2.1 Reunaehdot

Mallissa on hytin puomi ja jatkopuomi. Malli on kiinnitetty avaruuteen hytin puomin päädystä fixed-tuennalla [E] (kuva 16). Tukilevyt on irrotettu taustastaan ja näihin on mallinnettu hitsit. Laippaliitoksessa on kitkallinen kontakti 0.3 kitkakertoimella. Laippaliitoksen M20-pultit on kiinnitetty kannastaan kiinteästi bonded- kontaktilla. Pulteissa on 100 kN esikriestys. Hytti (1000 kg)[A] ja hyttiin kiinnitettävä optiolaite (100 kg)[B] on asetettu malliin pistemassoina. Optiolaite lisättiin, että hytinpuomi saadaan samalla testattua suurimmalla mahdollisella kuormalla. Elementtiverkko tihennettiin jatkopuomin kiinnityslevyn etuosan hitsin alueelta (kuva 15).



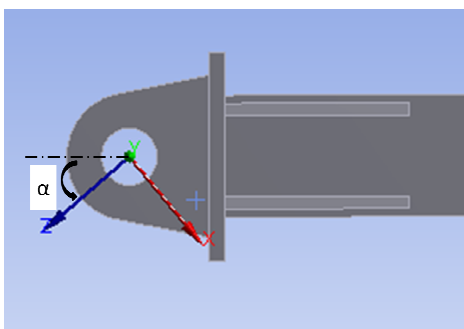
Kuva 15. Elementtiverkko puomeissa



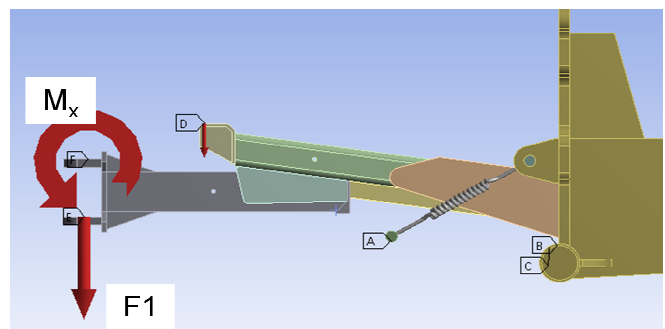
Kuva 16. Reunaehdot

6.2.2 Kuormitustapaukset

Puomistoa laskettiin kahdessa eri asennossa. Toisessa tilanteessa puomi oli edessä ja toisessa saksipuomia oli käännetty 40 astetta vasemmalle (kuva 17). Laskenta on suoritettu kahdella erisuuruisella kuormalla: "staattisella" ja "dynaamisella" tilanteella. Staattisessa tilanteessa rakennetta kuormittaa maanvetovoima, ja dynaamisessa tilanteessa kiihtyvyyys on 2 g:tä ylöspäin. Dynaamisen tilanteen aiheuttaa epätasainen ajopinta, jolloin puomi pääsee heilahtamaan.



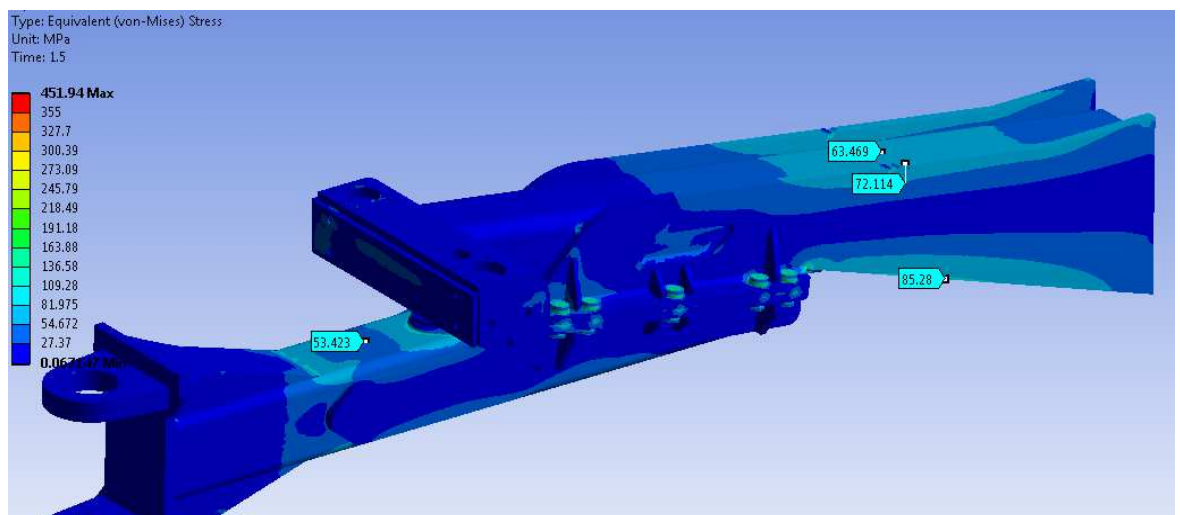
Kuva 17. Puomi liike 0-40 astetta



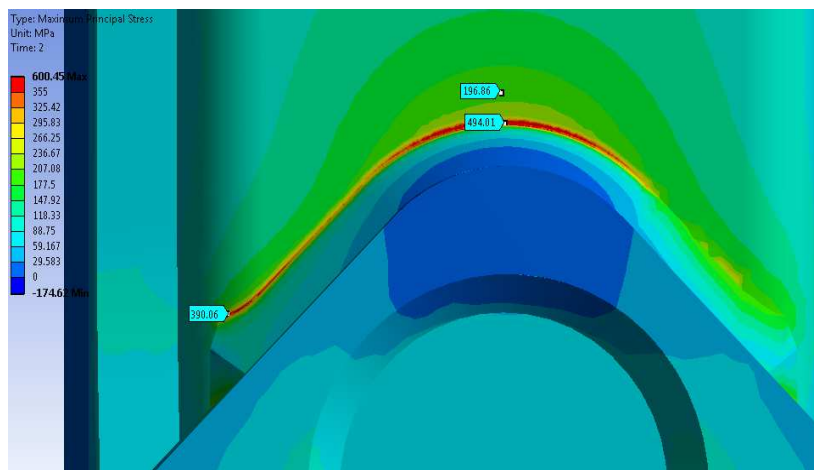
Kuva 18. Puomin päähän kohdistuu voimat F1 ja Mx

F1 ja Mx on laskettu saksipuomin ja lisälaitteen massojen vaikutuksista (kuva 18). Mx on kohdistettu puomin ylä- ja alakorvakkeen reikään. $M_x = 12.2 \text{ kNm}$ (staattinen), $M_x = 24.4 \text{ kNm}$ (dynaaminen heilahdus). F1 on kohdistettu puomin alakorvekkeen pinnalle $F_1 = 9 \text{ kN}$ (staattinen), $F_1 = 18 \text{ kN}$ (dynaaminen heilahdus).

Jatkopuomia kuormitettaessa saksipuomi suorassa (kuva 19), suurin rasitus tulee jatkopuomin kiinnitysliipin etupään hitsausaumaan, jota kuormittaa jatkopuomin taipuminen alaspäin. Dynaamisessa tilanteessa analysaattoripuomin liipin etupään hitsin maksimipääjännitys nousee noin 500 Mpa:iin (kuva 20). Lovijännitysmenetelmän mukaan 0..500 Mpa:iin kuormitusyklejä hitsi kestää noin 180 000. Tilanne oli hieman pahempi ensimmäisissä laskelmissa, mutta myöhemmin kiinnitysliippaan lisättiin aukko, että liippa joustaisi paremmin. Rakennetta ei lähdetty parantamaan, koska puomi täytyi saada valmiiksi testijaksoa varten. Rakennetta parannetaan vasta testijakson jälkeen, koska puomi halutaan kytkeä myöhemmin myös muihin laitteisiin, jolloin nykyinen kiinnitystapa ei ole mahdollinen.

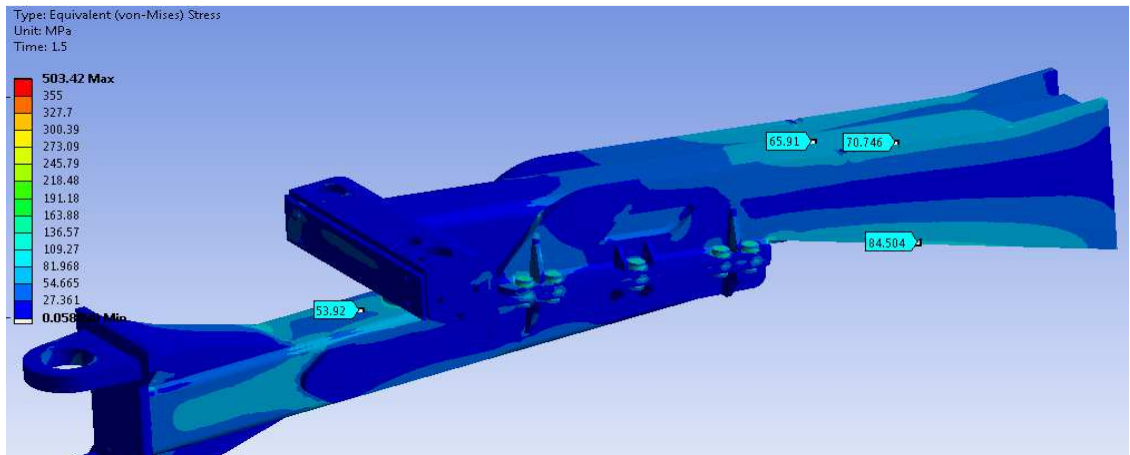


Kuva 19. Saksipuomi suorassa



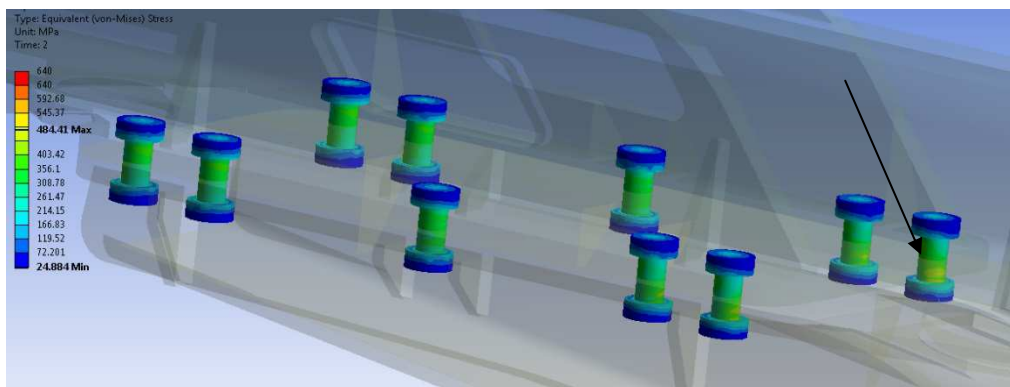
Kuva 20. Kiinnitysliipin hitsausauman rasitukset

Saksipuomin ollessa käännettynä 40 astetta, kasvaa rasitus kiinnitysraipan ensimmäisissä ruuviliitoksissa (kuva 21).

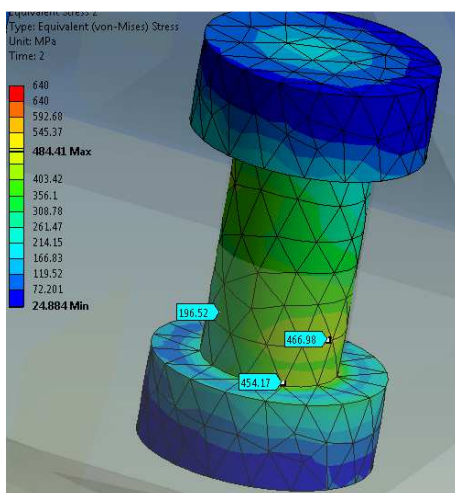


Kuva 21. Saksipuomi käännettynä 40 astetta

Vasen etupultti on eniten rasitettu (kuva 22). Dynaamisessa tilassa pulttivoima nousee kuormituksessa 100 kN:sta → 105 kN:iin ja lisäksi aukeava laippaliitos taivuttaa pulttia. Kuormitetuimman pultin VonMises- jännitys on suurimmillaan noin 470 Mpa (kuva 23), jolloin varmuus myötörajan on 1,36.



Kuva 22. Liitososan kiinnituspultit



Kuva 23. Vasemman etupultin rasitus

7 TURVALLISUUSTARKASTELU

Puomin rakenteen turvallisuudesta pidettiin turvallisuuspalaveri asiakkaan tiloissa. Suurimmat turvallisuusriskit olivat saksipuomin väliin puristuminen, puomin osuminen ulkopuoliseen puomia liikuteltaessa tai puomin äkillinen putoaminen esimerkiksi hydraulikkaletkun rikkoontumisessa.

Puomin väliin puristumista ehkäistään asentamalla puomien väliin suojapeite, joka estää puomin väliin pääsemisen.

Puomin liikenopeus säädetään hitaaksi, ettei puomin liike pääse iskemään yllättäen ja kovalla liikenopeudella.

Sylinterit on varustettu kuormanlaskuventtiilipatruunoilla, joten hydraulikkaletkun rikkoontuessa puomi ei pääse putoamaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella, mallintaa ja tehdä valmistuskuvat, joiden perusteella voidaan valmistaa täysin uudenlainen puomi asiakkaan pintaporauslaitteeseen. Suurimman haastavuuden antoi se, että vastaavaa rakennetta ei ole ennen tehty. Tämän vuoksi lähtötilanteena oli vain tieto vaadituista ominaisuuksista ja kohde, jonne puomi tuli saada kiinnitettyä jälkiasenteisena.

Puomikokonaisuus mahdollistaa usean eri lisälaitteen kiinnittämisen helposti puomiin ja niiden siirtämisen pois ohjaamon edestä, mikä antaa laitteen käyttäjälle paremman näkyvyyden porauskohtaan ja laitteella ajettaessa myös eteenpäin. Vaikka lisälaite on kiinnitettyä puomikokonaisuuteen, se ei kasvata porauslaitteen kuljetusmittoja eikä rajoita laitteen liikkuvuutta.

Puomin valmistamiseen meni aikaa noin neljä viikkoa tilauksesta ja valmistuskustannukset olivat linjassa asiakkaan puomeista käyttämän keskiarvon mukaan, mikä määräytyy kg/€ mukaan.

Lopputuloksena on asiakkaan vaatimukset täyttävä kokonaisuus. Puomia tullaan jatkokehittämään niin, että se olisi kytkettävissä myös eri laitetyppeihin. Samalla pystytään rakentamaan kiinnitystapa hieman eri tavalla, että suurimpia kuormituksia saadaan lievennettyä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Comatec Group, [viitattu 30.5.2013], Intranet

Heikki Salkinoja, Koneenosat kurssimateriaali. Savonia ammattikorkeakoulu Varkaus (2010)

Koneautomaation wiki. Venttiilit. Metropolia [viitattu 27.5.2013]

Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/8.+Venttiilit>

Liukulaakereiden suunnittelu. Johnson Metall AB [viitattu 25.5.2013]

Saatavissa: http://www.johnson-metall.fi/liukulaakereiden_suunnittelu.php