



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KUPARIKIEKON SORVAUS- JA LUJITUS- LAITE

Mekaniikkasuunnittelu

Riku Kilpi

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio

KILPI, RIKU:
Kuparikiekon sorvaus- ja lujituslaite
Mekaniikkasuunnittelu

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2017

Tässä opinnäytetyössä tehtiin mekaniikkasuunnittelu automatisoitua kuparisen hitsauskiekon sorvaus- ja lujituslaitetta varten. Suunnittelu tehtiin Metecno Oy:lle, joka valmisti suunnitelman pohjalta kyseisen koneen asiakkaalleen. Suunniteltavan koneen tarkoituksena on sorvata sekä lujittaa hitsauskäytössä olevan kuparisen kiekon pinta sen uudelleenkäyttöä varten. Asiakasyrityksen nykyratkaisu oli ainoastaan koneistuskokemusta omaavien työntekijöiden käytettävissä ja tähän oli saatava muutos. Suunniteltavan koneen keskeisimpänä tavoitteena oli luoda joka päiväsessä käytössä oleva helposti operoitava sekä siirreltävässä oleva ratkaisu kuparikiekkojen työstöön. Mekaniikkasuunnittelun osalta tärkein tavoite oli koneen jäykkä sekä kestävä rakenne, kompaktia kokoa unohtamatta, jotta sorvaus saataisiin mahdollisimman tarkaksi ja lujitusvoima tasaiseksi.

Ennen varsinaista mekaniikkasuunnittelua koneelle määritettiin vaatimukset ja rajoitteet Metecnon, asiakkaan sekä turvallisuustekijöiden pohjalta. Koneen mekaniikkasuunnittelu koostui osien 3D-mallintamisen lisäksi valmiiden komponenttien mitoittamisesta sekä vertailusta. Koneen suunnittelu toteutettiin Solidworks CAD-mallinnusohjelmalla, jonka avulla saatiin myös analysoitua tarvittavien kappaleiden käyttäytyminen kuormitustilanteissa.

Työn tuloksena koneelle saatiin valmis mekaniikkasuunnitelma sekä osalistat ja työpiirustukset. Tulosten avulla Metecnolle saatiin tilattua tarvittavat komponentit sorvin rakentamista varten, joka suoritettiin onnistuneesti. Opinnäytetyössä Metecnon asiakasyritys sekä suunnittelun yksityiskohtaisemmat asiat, esimerkiksi työpiirrokset sekä osaluettelot, ovat luottamuksellisista syistä jätetty esittämättä julkisessa raportissa.

Asiasanat: sorvaus, lujittaminen, suunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and production engineering
Machine Automation

KILPI, RIKU:
Turning and hardening machine for copper discs
Mechanical design

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 4 pages
May 2015

The purpose of this thesis was to produce a mechanical design for an automated turning machine which turns and hardens copper discs that are used for seam welding. The design work was made for Metecno LLC which aims to manufacture the machine for one of its clients. The existing solution for making weldment disks reusable was a machine which needs an employee who has experience about machining and that had to change. The main requirements for the new machine were that it should be easy to use on a daily basis, and its size should be compact.

Before the design process could begin, requirements and limitations were set for the machine on basis of the expectations set by Metecno LLC, its client and safety regulations. In addition to 3D modelling, the mechanical design of the turning machine consisted of dimensioning and comparison of the components. The mechanical design and stress analysis of some components were carried out with the CAD program Solidworks.

As a results of this project, mechanical design for the turning machine was completed. The design consists of 3D parts and assembly, bill of materials and technical drawings. Consequentially, Metecno LLC was able to order and outsource the components for the turning machine.

Key words: turning, hardening, design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	METECNO OY	8
2.1	Tietoa yrityksestä.....	8
2.2	Tuotteet ja palvelut	8
3	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	10
3.1	Tuote ja työstömenetelmät.....	10
3.1.1	Kiekkohitsaus.....	11
3.1.2	Sorvaus.....	12
3.1.3	Kylmämuokkaus	13
3.2	Nykyinen ratkaisu	14
3.3	Tavoiteltava ratkaisu.....	16
3.3.1	Suunnittelulle asetetut tavoitteet, toiveet sekä rajoitteet.....	16
3.3.2	Uuden koneen työsykli.....	17
3.4	Huomioitavia seikkoja suunniteltaessa	19
3.4.1	Karamoottorin pyörimisnopeus sekä momentti	19
3.4.2	Lujitusprosessi	22
3.4.3	Koneturvallisuus mekaniikkasuunnittelussa	22
4	SUUNNITTELU	24
4.1	Layout	24
4.2	Ostokomponentit.....	24
4.2.1	Karamoottori	25
4.2.2	X-liikkeen servomoottori	27
4.2.3	Lujitustoiminnon kuularuuvi.....	29
4.2.4	Teräpidin	31
4.2.5	Kara-akselin laakerointi	33
4.2.6	Lujitusrulla	36
4.3	Valmistettavat osat.....	37
4.3.1	X-liikkeen runko	38
4.3.2	Perusrunko	41
4.3.3	Akselit	42
5	SUUNNITTELUN TULOKSET	46
5.1	Kokoonpano.....	46
5.2	Jatkotoimenpiteet	49
5.2.1	Koneen rakentaminen, ohjelmointi ja testaus	49
5.2.2	Koneturvallisuuden toteutuminen	51
5.2.3	Luovutus asiakkaalle.....	52

6 YHTEENVETO	53
LÄHTEET	54
LIITTEET	56
Liite 1. Sorvausvaiheen momentin määrittämisselmiä (Machining power 2017)	56
Liite 2. Koneen päämittakuva.....	57
Liite 3. Koneen kokoonpanon räjäytyskuva.....	58
Liite 4. Koneen ytimen räjäytyskuva	59

LYHENTEET JA TERMIT

Dislokaatio	Metallin rakenteessa esiintyvä hilavika
FEM	Finite Element Method
Murtolujuus	Jännitysarvo, jonka ylittyessä materiaali murtuu
Myötölujuus	Jännitysarvo, jonka ylittyessä alkaa tapahtua plastista muodonmuutosta
Plastinen muodonmuutos	Palautumaton muodonmuutos

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä mekaniikkasuunnitelma Metecno Oy:n asiakasyritykselle valmistettavaan koneeseen. Kyseessä on kuparisia hitsauskiekkoja varten tehtävä automatisoitu sorvaus- ja lujituslaite, jolla kyetään saattamaan käytetyt hitsauskiekot uudelleenkäytettäviksi. Työssä tutustutaan suunnittelun etenemisen lisäksi muun muassa myös Metecnoon ja sen toimintaan sekä koneen keskeisimpiin toimintoihin, jotka tuli huomioida suunnittelussa. Näitä ovat esimerkiksi kuparin koneistettavuus sekä kylmämuokkaus.

Opinnäytetyö sisälsi koneen mekaanisen mallintamisen lisäksi useiden eri komponenttien määrittämistä sekä suunnittelua. Koska kyseessä on kokonaisen koneen suunnittelu yritykselle, joka aikoo valmistaa sen, tulee osa komponenttien ominaisuuksista sekä mitoista pitää salassa. Tämän seurauksena julkisessa raportissa ei esitetä kaikkia suunnitelmia yksityiskohtaisesti, vaan painotutaan muun muassa koneen keskeisimpien komponenttien määrittelyyn sekä laskentaan.

Tavoitteisiin pyrittiin pääsemään muun muassa tutustumalla aiempaan ratkaisuun. Nykyisen koneen toimintoja, esimerkiksi lujitusvoimaa sekä kara-akselilta tarvittavaa momenttia, oli tarkoitus hyödyntää suunniteltaessa uutta konetta. Tavoitteisiin suunniteltaessa pyrittiin pääsemään myös esimerkiksi komponenttivertailuilla sekä kuparin materiaaliominaisuuksiin tutustumalla.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin valmis mekaniikkasuunnitelma koneesta. Valmis mekaniikkasuunnitelma sisältää mallinnetun koneen lisäksi räjäytyskuvat, osaluettelon sekä valmistettavien komponenttien työpiirustukset, joiden pohjalta on mahdollista tilata sekä valmistaa tarvittavat komponentit ja rakentaa kyseinen kone asiakkaalle.

2 METECNO OY

2.1 Tietoa yrityksestä

Metecno oy on yritys, joka on erikoistunut tekemään tuotteita sekä palveluita pääosin teollisuuden alalla toimiville yrityksille. Yritys muun muassa suunnittelee ja valmistaa erikoiskoneita sekä modernisoi vanhoja koneita asiakkaan tarpeiden mukaan. Yritys on perustettu vuonna 2008 ja se sijaitsee Hämeenkyrössä, Pirkanmaalla. (Metecno 2016). Taulukossa 1 on esitettyä yrityksen lukuja.

TAULUKKO 1. Metecno Oy:n lukemia (Finder 2017)

Vuosi	2013	2014	2015
Liikevaihto (1000€)	215	244	270
Tilikauden tulos (1000€)	6	11	23
Liikevoitto (%)	3,7	5,6	10,7

Yritykselle on myönnetty Bisnoden kehittämä korkein luottoluokitus, AAA, vuodesta 2014 alkaen aina vuoteen 2017 saakka. Vuonna 2017 3,5 % suomalaisyrityksistä sai korkeimman luottoluokituksen. Yritys työllisti keväällä 2017 viisi vakituista työntekijää sekä kaksi harjoittelijaa. (Metsähonkala 2016.)

2.2 Tuotteet ja palvelut

Metecno oy:n tuotteita ovat muun muassa erikoiskoneet sekä ohjauskeskukset. Yksi esimerkki Metecnon tuotteista on MeteCNC-niminen työstökone (kuva 1). Kyseistä konetta markkinoidaan monipuoliseksi, pääosin soveltuen alumiinin, puun sekä muovin työstöön. Kone on myös räätälöitävissä esimerkiksi pysty- tai vaakakaraiseksi. (Metecno 2016.)



KUVA 1. MeteCNC-vakiotyöstökone (Kuva: Matti Metsähonkala 2016)

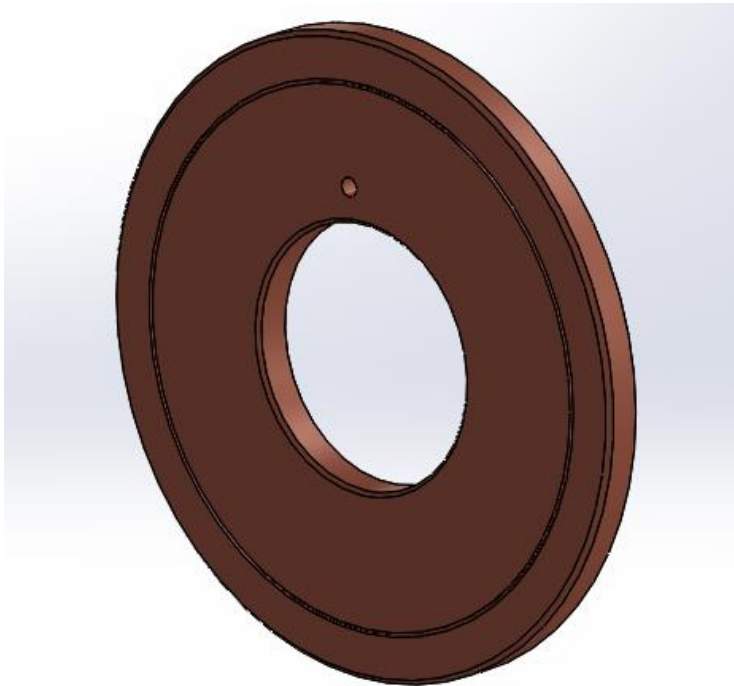
Yrityksen toiminta keskittyy myös hyvin paljon palveluihin. Metecno tarjoaa koneenrakennuksen ja keskusvalmistuksen lisäksi erilaisia suunnittelu sekä modernisointipalveluita. Suunnittelun piiriin kuuluvat muun muassa automaatio-, mekaniikka-, hydrauliiikka- sekä pneumatiikkasuunnittelut. (Metecno 2016.)

3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

3.1 Tuote ja työstömenetelmät

Suunniteltavan koneen on tarkoitus tehdä käytetyistä kuparisista hitsauskierroista uudelleenkäytettäviä. Kuvassa 2 on mallinnus käytössä olevasta hitsauskierrosta. Kuparikiekkon keskeiset tiedot työhön liittyen ovat:

- Halkaisija uutena: 305 mm
- Minimikäyttöhalkaisija: 265 mm
- Leveys: $20 \pm 0,05$ mm



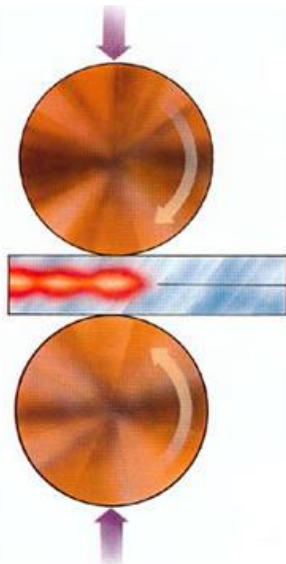
KUVA 2. Kuparikiekkon mallinnus

Kiekkon saadaan uudelleenkäytettäväksi käyttäen kahta työmenetelmää: sorvaus sekä kylmämuokkaus. Seuraavissa aliluvuissa käsitellään lyhyesti kyseiset menetelmät sekä niiden lisäksi valmiin kiekkon toiminta hitsauksessa.

3.1.1 Kiekkohitsaus

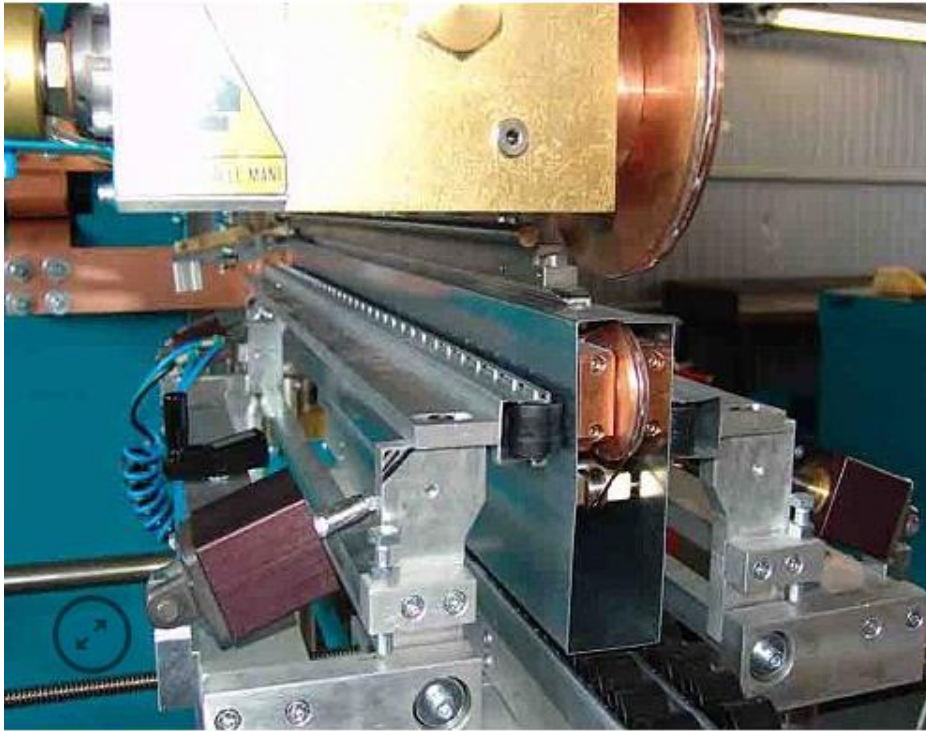
Vastushitsauksella tarkoitetaan hitsausmenetelmää, jossa hitsautuminen tapahtuu käyttämällä vastuslämpöä ja puristusta liittäessä kappaleet yhteen. Sähkövirta kulkee liitettävien työkappaleiden kosketuskohdan läpi, jotka toimivat virtapiirissä vastuksena, aiheuttaen vastuslämpöä liitoskohtaan. Kappaleita puristettaessa toisiinsa saadaan pehmenneet ja osittain sulaneet pinnat liitettyä toisiinsa. (Esabin osaamiskeskus. Vastushitsaus 2017.)

Yksi vastushitsauksen menetelmistä on kiekkohitsaus (kuva 3), jossa sähkövirta johdetaan pyörivien kiekkoelektrodien kautta hitsattavaan kohteeseen. Kiekot puristavat samalla hitsattavat kappaleet toisiaan vasten. Kyseinen menetelmä soveltuu hyvin esimerkiksi ohutlevyjen liitoshitsauksiin. (Esabin osaamiskeskus. Kiekkohitsaus 2017.)



KUVA 3. Kiekkohitsauksen havainnointi (Esabin osaamiskeskus. Kiekkohitsaus 2017)

Kuparikiekoilla hitsattaessa niiden pinta alkaa kulua. Kiekko saadaan uudelleenkäytettäväksi sorvaamalla kiekon kontaktipinta puhtaaksi. Tämän jälkeen kiekon pinta tulee vielä lujittaa. (Matti Metsähonkala 2016.) Kuvassa 4 on esitettyä eräs kuparikiekoja käyttävä hitsauslaite.

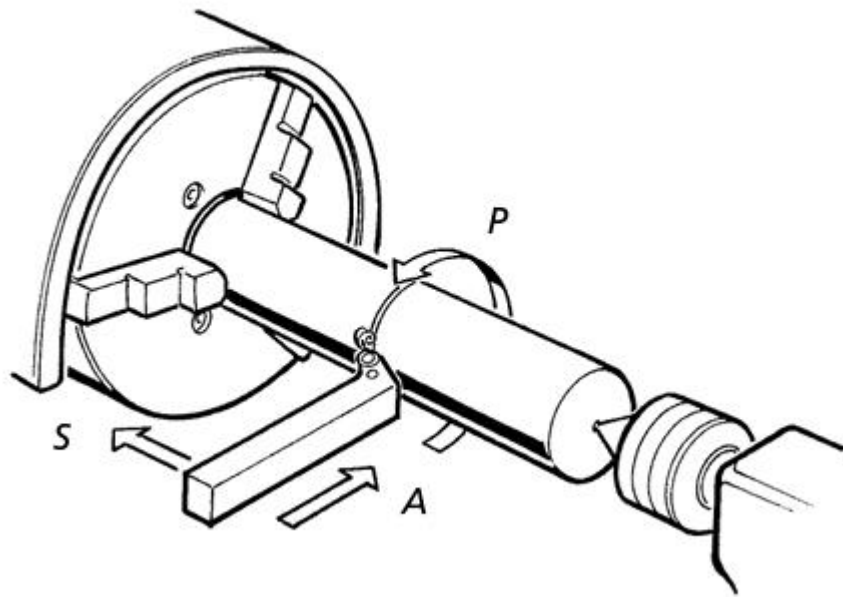


KUVA 4. Kiekkohitsausmenetelmää käyttävä kone (Cemsa, Resistance welding 2017)

3.1.2 Sorvaus

Lastuavalla työstömenetelmällä tarkoitetaan menetelmää, jossa työstettävää materiaalia merkittävästi kovemmallalla terällä tunkeudutaan työkappaleeseen. Terä irrottaa plastisen muodonmuutoksen seurauksena työstettävästä kappaleesta ainetta. Irronnutta ainetta kutsutaan lastuksi. (Aaltonen, Aromäki, Ihalainen & Sihvonen 2003, 140.)

Sorvaus luokitellaan lastuavaksi työstömenetelmäksi, jolla tavallisesi tehdään tuotteita poikkileikkaukseltaan pyöreistä kappaleista. Tyypillisiä sorvattavia kappaleita ovat muoltaan pyörähdyskappaleet, joita ovat esimerkiksi erilaiset akselit, holkit ja kiekot. (Maaranen 2004, 96.). Sorvattaessa terällä toteutetaan liikettä yleensä kahdessa eri akselissa. Kuvassa 5 on esitettyä sorvaamisen työstöliikkeet.



KUVA 5. Sorvaamisen periaate sekä työstöliikkeet (Maaranen 2004, 96.)

Kuvassa olevat kirjaimet tarkoittavat seuraavaa:

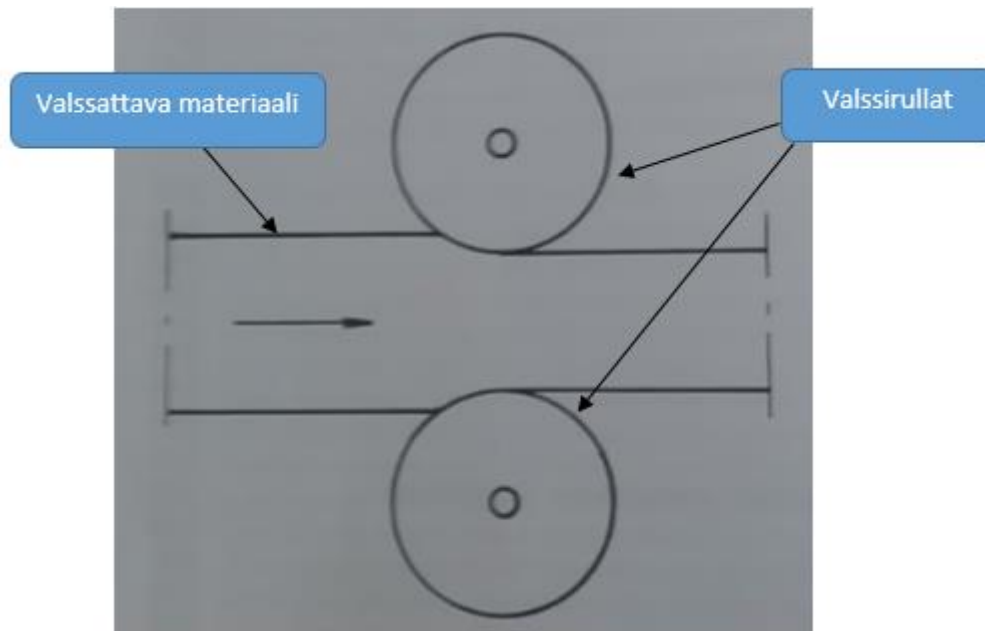
- P = pää- eli lastuamisliike
- A = asetusliike
- S = syöttöliike

Sorvattaessa pää- eli lastuamisliikkeen tekee työkappale, joka pyörii kara-akselissa. Syöttö- ja asetusliike tehdään terällä, joka on kiinnitettynä liikkuvaan alustaan. (Maaranen 2004, 13.) Tässä opinnäytetyössä asetus- ja syöttöliikkeet kuvataan xz-koordinaatistossa. X-suuntainen liike vastaa asetusliikettä ja z-liike syöttöliikettä.

3.1.3 Kylmämuokkaus

Kylmämuokkaus on metallin lujittamismenetelmä, joka aiheuttaa lujuuden sekä kovuuden kasvua metallissa, mutta samalla vähentää sitkeyttä. Kylmämuokkaus perustuu metallin dislokaatioiden määrän lisäämiseen. Dislokaatioiden lisääntyessä niiden liikkuvuus huononee. Tällöin dislokaatioiden liikuttamiseen tarvitaan enemmän ulkoista voimaa, mikä merkitsee myötölujuuden kasvamista. Tätä ilmiötä kutsutaan muokkauslujittumiseksi. (Koivisto ym. 2008, 67.)

Kylmämuokkaus, esimerkiksi kylmävalssaus (kuva 6), on ainoa lujittamismenetelmä, joka soveltuu kuparille. Kuparin murtolujuus pehmeänä on n.210 GPa, kun taas kylmämuokattuna murtolujuus on jopa 300–450 GPa. (Koivisto ym. 2008, 68.) Kylmämuokasta sovelletaan kuparisten hitsauskiekkojen lujittamisvaiheessa, jolloin vastushitsauksesta syntyvän lämmön aiheuttamaa kiekon pinnan pehmenemistä saadaan vähennettyä (Metsähonkala 2016).



KUVA 6. Valssauksen periaate (Aaltonen ym. 2003, 336, muokattu)

3.2 Nykyinen ratkaisu

Asiakkaan nykyinen ratkaisu kiekon uudelleenkäytettävyyden saattamiseen on kone, jossa on käsin hallittavissa olevat sorvaus- ja lujitustoiminto. Kuvissa 7 ja 8 on esitettynä asiakkaan nykyratkaisu kuparikiekköjen sorvaamiseen sekä lujittamiseen.



KUVA 7. Nykyinen ratkaisu (Kuva: Matti Metsähonkala 2016, muokattu)



KUVA 8. Kuparikiekkö kiinnitettyä laitteeseen (Kuva: Matti Metsähonkala 2016)

Asiakasyritys päätti hankkia uuden koneen, sillä vanhassa koneessa oli ongelmia sekä puutteita. Esimerkkinä ongelmista on sorvin muototerä, joka on punaisella ympyröitynä kuvassa 7. Terän suuren leikkauspinnan johdosta se takertui helposti kiinni kiekon pintaan sorvattaessa, mikä saattoi pysäyttää karamoottorin. Toinen uuden koneen hankintaan johtava syy oli se, että nykyistä konetta ei voi käyttää tehtaan jokainen työntekijä, vaan siihen vaaditaan henkilö, jolla on kokemusta koneen käytöstä. (Metsähonkala 2016.)

3.3 Tavoiteltava ratkaisu

Asiakas halusi uuden koneen olevan helppokäyttöinen, jota tullaan käyttämään päivittäin. Helppokäyttöisyydellä tarkoitetaan sitä, että tuotantolinjan kaikkien työntekijöiden olisi mahdollista operoida kyseistä laitetta. Aiemman laitteen käyttö vaati koneen käyttäjältä kokemusta koneistamisesta, jotta terää ei syöttänyt liian nopeasti kiekolle, mikä sai laitteen jumiiin. Ratkaisu tähän on automatisoitu kone, jolla työ onnistuu nappia painamalla. Koneen tulee myös olla kooltaan kompakti, jotta sitä voi tarvittaessa siirrellä trukilla.

3.3.1 Suunnittelulle asetetut tavoitteet, toiveet sekä rajoitteet

Koneen suunnitteluun asetettiin tavoitteita, joiden tuli täytyä. Suunnittelussa tuli tavoitella kompaktia sekä helposti siirreltävässä olevaa ratkaisua. Koneen rakenteen tuli myös olla mahdollisimman jäykkä, jotta lujitusvaiheessa lujitusrullalta tuleva voima saadaan saatettua mahdollisimman kohtisuorasti kuparikiekon pintaan. Koneessa käytettävä lujitusvoima tulee olemaan noin 10 kN. Koneen komponenttien mitoittamisessa käytettiin 1,5-kertaista lujitusvoimaa, eli 15 kN, jotta koneen komponentit saadaan mitoitettua kestäviksi sekä jäykkärakenteisiksi.

Koko suunnitteluprosessin ajan tuli huomioida myös valmistettavalle koneelle kertyvä hinta. Hintaan suunnitteluvaiheessa kyettiin vaikuttamaan muun muassa komponenttivertailuilla sekä valmistettavien osien osalta esimerkiksi koneistettavien osien aihiovalinnoilla.

Myös koneen turvallisuus tuli huomioida suunnitteluvaiheessa. Valmiin koneen tulee täyttää sitä koskevat turvallisuusdirektiivit, jotta se voidaan luovuttaa asiakkaalle. Mekaniikkasuunnittelussa huomioitavista turvallisuustekijöistä lisää luvussa 3.4.3.

Jotta lujitusvoima saataisiin mahdollisimman kohtisuorasti kuparikiekolle, oli suotavaa yrittää suunnitella kuparikiekkko mahdollisimman lähelle runkolevyä sekä lujitusrulla mahdollisimman lähelle x-liikkeen runkolevyä. Layoutin (luku 4.1) mukainen toteuttaminen asetettiin toiveeksi koneen mekaniikkasuunnittelussa.

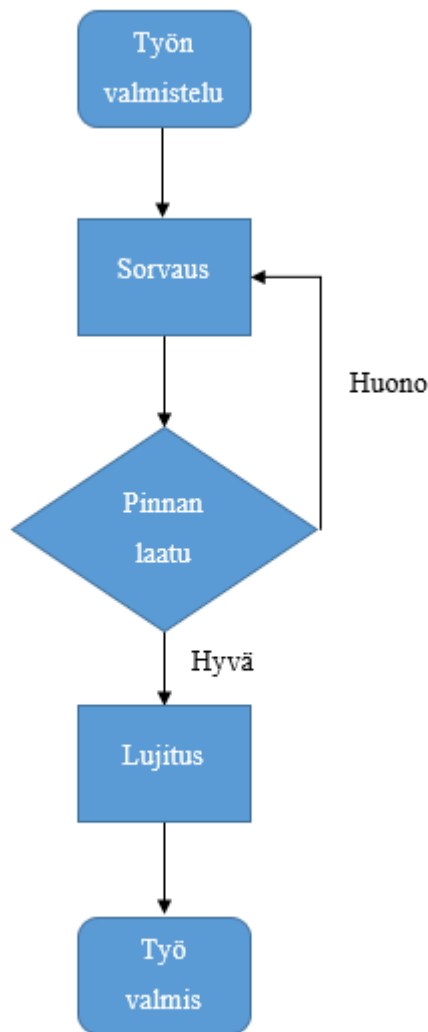
Tavoitteiden sekä toiveiden lisäksi suunnittelulle asetettiin rajoitteita, joiden avulla osaa koneen rakenteen tai toiminnan ratkaisuvaihtoehdoista saatiin karsittua. Nykyratkaisussa oleva sorvin muototerä suljettiin sorvausvaihtoehdoista pois, koska se todettiin heikoksi ratkaisuksi. Standarditerällä saadaan poistettua kara-akselin jumittumisongelma sekä se mahdollistaa koneen modifioinnin, jos sillä haluttaisiin esimerkiksi työstää leveämpää kiekkoa tulevaisuudessa.

Koneen lineaariliikkeet rajattiin toteutettaviksi servomootoreilla, kuularuuveilla ja joh-teilla, mikä rajasi koneen liikkeiden toteuttamismuodon päättämistä. Myös servomootto-reiden määrä rajattiin kahteen. Toisella servomoottorilla suoritettaisiin sorvin terän z-liike ja toisella moottorilla terän x-liike sekä lujitus.

Suunniteltavassa koneessa tuli olla siirtomahdollisuus trukilla tarvittaessa, mikä rajoitti koneen äärimittoja. Myös koneeseen valittavissa komponenteissa oli rajoitteita. Alusta-vasti olisi tarkoitus käyttää komponentteja, joita Metecno saisi helposti sekä nopeasti yh-teistyöyrityksiltä. Tällä tavoin myös mahdollistetaan komponenttien nopea saatavuus, jos ne vioittuivat tai rikkoutuvat koneessa, minkä ansiosta koneen seisonta-aikaa saadaan mi-nimoitua.

3.3.2 Uuden koneen työsykli

Asiakkaan esittämien vaatimusten mukaan koneelle määritettiin työsykli, jonka avulla saadaan hahmotettua koneen perustoiminnot. Koneen työsykli on hahmotettuna vuokaa-vioksi kuviossa 1.



KUVIO 1. Koneen työsyklin vuokaavio

Asiakkaan asettamien tavoitteiden mukaan työn kulku olisi seuraava. Käyttäjä kiinnittää kiekon ruuvilla kiinni koneeseen. Tämän jälkeen koneen luukku suljetaan, jolloin luukku lukittuu ja kappaleen työstö voidaan aloittaa. Käyttäjä painaa aluksi sorvaus-nappia, jolloin kone mittaa kuparikiekkon ja sorvaa siitä ennalta määritetyn määrän materiaalia pois. Sorvauksen jälkeen kone pysähtyy ja vapauttaa luukun, jolloin käyttäjä tarkistaa kiekon pinnan. Jos pinta ei ole tyydyttävä, käyttäjä sulkee luukun ja painaa sorvaus-nappia uudestaan, jolloin kone sorvaa kiekon uudelleen.

Kun pinta on käyttäjän mielestä tyydyttävä, hän sulkee luukun ja painaa lujitus-nappia. Tällöin kone pyörittää kiekkoa hitaasti samalla työntäen lujitusrullaa kiekon keskipistettä kohden, noin 10 kN:in voimalla, jolla saadaan kiekon pinta lujitettua. Lujituksen päätyttyä kone palaa kotiasemaansa ja pysähtyy, jonka jälkeen luukku vapautuu ja koneistettu kiekko on valmis uudelleenkäytettäväksi.

3.4 Huomioitavia seikkoja suunniteltaessa

Työstettävä kappale aiheutti seikkoja, jotka ovat erittäin keskeisessä osassa suunniteltaessa konetta, esimerkiksi sorvattaessa käytettävä pyörimisnopeus. Suunniteltaessa tulee myös huomioida muun muassa lujitusvaiheen aiheuttama suuri voima sekä koneturvallisuus.

3.4.1 Karamoottorin pyörimisnopeus sekä momentti

Koska uuteen koneeseen olisi tarkoitus tulla standarditerä muototerän sijaan, tulee kara-akselin maksimipyörimisnopeus sekä tarvittava momentti muuttumaan. Karan tarvittava pyörimisnopeus saadaan määritettyä kaavan (1) avulla (Maaranen 2004, 15).

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} \quad (1)$$

n = pyörimisnopeus (1/min)

v = lastuamisnopeus (m/min)

d = halkaisija (m)

Kuparin lastuamisnopeus on 100–400 m/min (Maaranen 2004, 127), jonka seurauksena työstettävän kiekon lastuamisnopeudeksi päätettiin 200 m/min. Kara-akselin pyörimisnopeusalue saadaan määritettyä kaavan (1) avulla laskemalla pyörimisnopeus uudelle sekä pienimmälle käytettävälle kiekolle. Uuden kiekon sorvaamista tarvittavaksi pyörimisnopeudeksi määritettiin laskemalla seuraavaa.

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{200 \frac{m}{min}}{\pi \cdot 0,305 m} \approx 209 \text{ 1/min}$$

Kulunut kiekko vaati enemmän pyörimisnopeutta. Pyörimisnopeus on määritettynä seuraavassa laskussa.

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{200 \frac{m}{min}}{\pi \cdot 0,265 m} \approx 240 \text{ 1/min}$$

Karamoottorin tuli myös pyörittää kiekkoa sorvauksen lisäksi lujitettaessa. Vanhassa koneessa moottorilta vaadittiin enemmän momenttia sorvausvaiheessa, jonka takia koneeseen oli myöhemmin vaihdettu moottorin vaihde. Seuraavissa laskuissa on määritetty nykyratkaisussa olevan kara-akselin momentti vaihteen jälkeen. Laskut saatiin määritettyä moottorissa sekä vaihteessa olevien kilpiarvojen avulla.

Nykyratkaisussa oleva oikosulkumoottori on Lönnerin valmistama nelinapainen 5,5 kW:in oikosulkumoottori, jonka nimellisyörimisnopeus on 1435 1/min. Moottorin akseli on kytkettynä Bonfigliolin vaihteeseen. Vaihteen tiedot saatiin valmistajan internetsivuilta löytyvästä katalogista. Tarvittavat tiedot toisio-akselin momentin määrittämiseen ovat välitysuhde $i = 22,6$ sekä hyötysuhde $\eta = 95\%$ (Bonfiglioli. Tuotekatalogi 2017, 6, 81).

Kara-akselille tulevan momentin saa määritettyä laskemalla ensin oikosulkumoottorin nimellismomentin, jonka jälkeen saadaan määritettyä vaihteelta kara-akselille tuleva momentti. Kaavalla (2) saa määritettyä oikosulkumoottorin akselista tulevan nimellismomentin (ABB 2017, 14)

$$T_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n} \quad (2)$$

T_n = nimellismomentti (Nm)

P_n = nimellisteho (kW)

n_n = nimellisyörimisnopeus (1/min)

Kaavan (2) sekä moottorin kilpiarvojen avulla saadaan oikosulkumoottorin nimellismomentti laskettua.

$$T_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n} = \frac{9550 \cdot 5,5 \text{ kW}}{1435 \text{ rpm}} \approx 37 \text{ Nm}$$

Saadun tuloksen avulla määritetään kara-akselin momentti vaihteen jälkeen kaavan (3) avulla (Blom ym. 1999, 250, muokattu).

$$i = \frac{T_b}{T_a \cdot \eta} \quad (3)$$

i = välitysuhde

T_a = ensiön momentti (Nm)

T_b = toision momentti (Nm)

η = vaihteen hyötysuhde

Muokkaamalla kaavaa saadaan toisiomomentti laskettua määritettyä kaavan (4) avulla. (Blom ym. 1999, 250, muokattu).

$$T_b = i \cdot T_a \cdot \eta \quad (4)$$

Kaavan (4) avulla saadaan määritettyä koneen nykyisen ratkaisun momentti kara-akselilla.

$$T_b = i \cdot T_a \cdot \eta = 22,6 \cdot 37 \text{ Nm} \cdot 0,95 \approx 794 \text{ Nm}$$

Nykyratkaisuun on tehty jonkin verran muutoksia sen elinkaaren aikana. Muun muassa työstettävän kuparikiekkon mitat ovat muuttuneet sekä sorvaustoimintoa on alettu teemmään muototerällä. Muototerän käyttöönoton yhteydessä vaihde-moottori-yhdistelmän momentti ei riittänyt pyörittämään kiekkoa sorvattaessa kunnolla, jonka seurauksena sen vaihteisto on vaihdettu pari kertaa. Taulukossa 2 on esitettyä eri vaihteiden vaikutukset koneen toimintaan. (Metsähonkala 2016.)

TAULUKKO 2. Vaihteen toimivuus koneessa

Vaihde-moottori-yhdistelmä	Pyörimisnopeus (1/min)	Momentti (Nm)	Lujitus	Sorvaus
1	220	345	Momentti riittävä	Momentti ei riittävä
2	115	425	Momentti riittävä	Momentti ei riittävä
3	60	500	Momentti riittävä	Momentti juuri riittävä

Kyseisestä taulukosta huomataan, että kone on onnistunut pyörittämään kiekkoa sitä lujitettaessa, kun vaihdemoottorista on saatu 345 Nm:n momentti. Standarditerällä sorvat-

taessa kara-akselilta vaaditaan noin 20–60 Nm terän syötöstä riippuen. Terän työstöpaineen laskut tehtiin Tungaloy'n internetsivuilta löytyneen laskurin avulla. Laskut löytyvät raportin lopusta (liite 1). Laskurin suuntaa antavien tulosten avulla päätettiin tavoitella noin 400 Nm:n momenttia, sillä uuden teräratkaisun myötä kara-akselilta tarvitaan enemmän momenttia lujitusvaiheessa.

3.4.2 Lujitusprosessi

Lujitettaessa kuparikiekkoa on huomioitava, että x-suuntaisesta lineaariliikkeestä aiheutuva voima kohdistuu useisiin eri komponentteihin. Eniten lujitusvoima vaikuttaa runkosiin, akseleihin ja niiden laakereihin sekä voimaa välittäviin komponentteihin. Osien kestävyyttä sekä jäykkyyttä todennettiin esimerkiksi laskennoilla sekä analyyseillä. Komponenttien soveltuvuutta lujitusvaiheessa on analysoitu luvussa 4.

3.4.3 Koneturvallisuus mekaniikkasuunnittelussa

Suurimpia suunniteltavan koneen mekaanisista ratkaisuista aiheutuvia turvallisuusriskejä ovat akseleista sekä lineaariliikkeistä aiheutuvat takertumis-, puristumis- sekä leikkautumisvaarat. Myös sorvauksesta irtoava lastu voi aiheuttaa vaaratilanteita. Lastun lentäessä käyttäjää kohti, se voi aiheuttaa esimerkiksi näköaistin menettämisen.

Mekaniikkasuunnittelussa kyseiset riskit tulee kartoittaa sekä huomioida suunnittelussa. Suunniteltavan laitteen koon vuoksi päädyttiin erottamaan vaara ihmisestä sekä ympäristöstä.

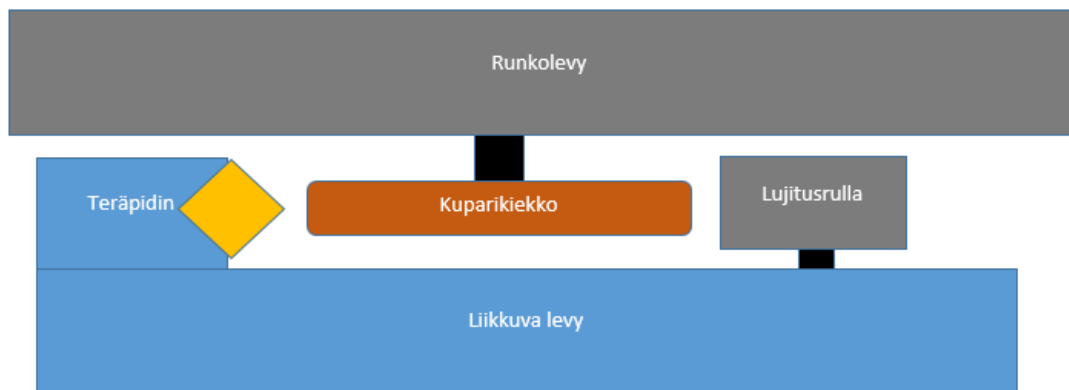
Koneen pääasialliseksi suojaustekniseksi ratkaisuksi vaaravyöhykkeisiin pääsyn estämiseksi valikoitui kiinteiden suojusten käyttö koneessa (SFS-EN ISO 12100, 2010, 78). Kiinteällä suojuksella tarkoitetaan suojaa, joka on joko kiinteästi kiinnitettynä, esimerkiksi hitsattuna, tai kiinnittimillä, joita on mahdotonta irrottaa ilman työkaluja. Suojukset eivät myöskään saisi pysyä kiinni ilman kiinnittimiään. (SFS-EN ISO 12100, 2010, 86.)

Koneessa käytettävän luukun tulee täyttää avattavaa suojusta koskevat vaatimukset. Kyseisistä vaatimuksista keskeisin on liikkuvien osien käynnistymisen estäminen käyttäjän ulottuessa niihin (SFS-EN ISO 12100, 2010, 86).

4 SUUNNITTELU

4.1 Layout

Asiakkaalta saatujen ja yhdessä määritettyjen vaatimusten sekä rajoitusten pohjalta alkoi alustavan kokonaisuuden suunnittelu. Koska x-liike sekä lujitus tulisi toteuttaa yhdellä servomootorilla, olisi lujitusrullan sekä terän sijoittelu järkevintä sijoittaa molemmin puolin kuparikiekkoa siten, että ne ovat samassa runko-osassa. Koneen keskeisimmät rakenteet olisivat peruslevy, johon olisi kiinnitettyä kara-akseli sekä peruslevyn suuntaisesti liikkuva levy, jossa olisi lujitusrulla sekä sorvin terä ja sen z-liike (kuva 9).



KUVA 9. Hahmotelma koneen rakenteesta

Alustavasti pyrittäisiin siihen, että koneen sorvaus- sekä lujitusvaiheet tapahtuisivat levyjen välissä, jotta kiekko saataisiin lähelle peruslevyä. Tämä pienentäisi lujituksen aiheuttamaa momenttikuormitusta kara-akselille huomattavasti.

4.2 Ostokomponentit

Koneessa käytettävien komponenttien jaottelu voitiin tässä projektissa jakaa kahteen eri ryhmään: ostettavissa oleviin valmiskomponentteihin sekä valmistettaviin komponentteihin. Ostettavia komponentteja määrittäessä tuli huomioida esimerkiksi komponenttien kestävyys sekä soveltuvuus suunniteltavaan koneeseen, mikä saadaan todennettua muun muassa laskennoilla sekä komponenttien välisillä vertailuilla. Seuraavissa aliluvuissa on esitettyä koneen keskeisimmät ostokomponentit sekä perustelut niiden valinnoille.

4.2.1 Karamoottori

Luvussa 3.4.1 on esitetty alustavia määritystekijöitä sorvin karamoottorille. Koska kiekon sorvaus olisi tarkoitus toteuttaa standarditerällä muototerän sijaan, on karamoottorilta vaadittava momentti pienempi, mutta pyörimisnopeus suurempi. Tämän seurauksena nykyratkaisun moottori–vaihde-yhdistelmää ei voi hyödyntää. Vanhasta sovelluksesta saatiin kuitenkin selville, että noin 400 Nm:n momentti on riittävä arvo karamoottorille luji-tettaessa kiekkoa. Laskennoilla saatiin määritettyä karamoottorin pyörimisnopeusalue sorvattaessa, joka on noin 210–240 1/min. Jotta kuparikiekkoa saataisiin pyöritettyä eri nopeuksilla, tulee vaihde-moottoria ohjata taajuusmuuttajalla. Koska kyseinen opinnäyte-työ rajoittuu mekaniikkasuunnitteluun, ei taajuusmuuttajan määrittäminen kuulu tähän opin-näytetyöhön.

Oikosulkumoottorin tehoksi valikoitui 7,5 kW, sillä se tarjoaisi hyvän momentin sekä se olisi fyysisiltä mitoiltaan sopiva. Kyseisen kokoluokan moottorin suuntaa antava nimel-lismomentti saadaan määritettyä kaavan (2) avulla. Laskussa käytetty nimellipyörimis-nopeus on otettu Nord-merkkisen moottorivalmistajan katalogista nimellismomentin määrittämisen avuksi (Nord, Moottorikatalogi 2017, 76).

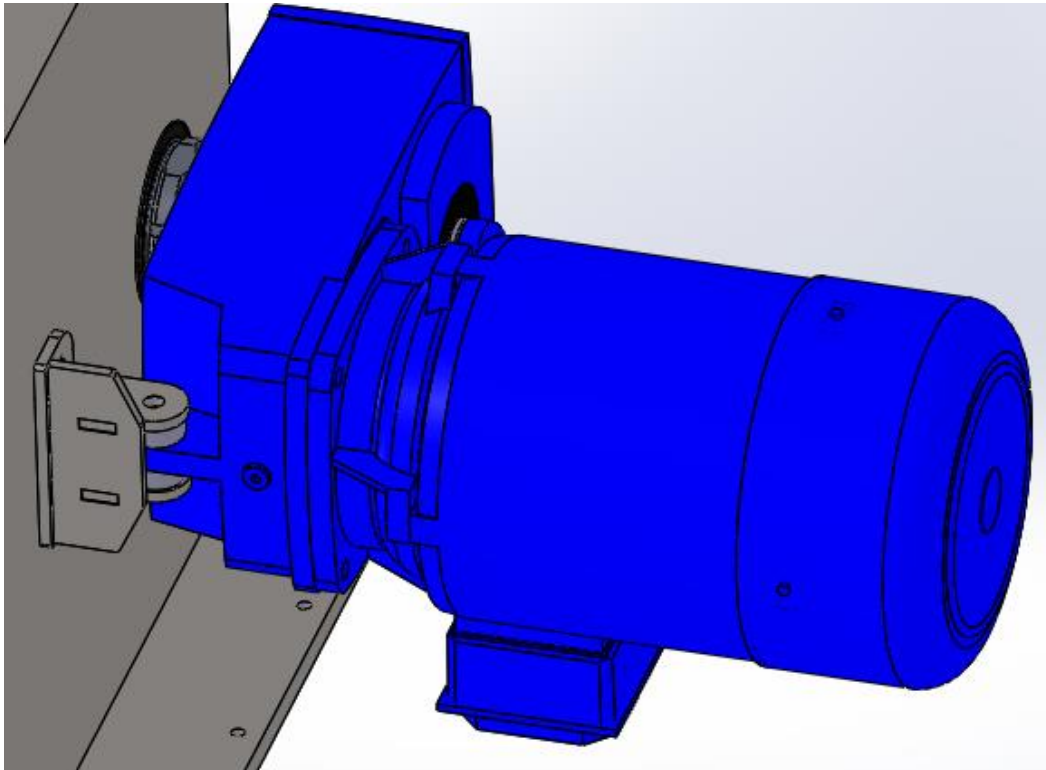
$$T_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n} = \frac{9550 \cdot 7,5 \text{ kW}}{1445 \text{ rpm}} \approx 49 \text{ Nm}$$

Jotta kara-akselille saataisiin noin 400 Nm:in momentti, tulee moottorin ja kara-akselin välille asetettavan vaihteen välityssuhde i määrittää. Välityssuhde saatiin määritettyä kaa-van (3) avulla.

$$i = \frac{T_b}{T_a \cdot \eta} = \frac{400 \text{ Nm}}{49 \text{ Nm} \cdot 0,95} \approx 8,6$$

Vaihde-moottorin tyypiksi valikoitui tappivaihde-moottori (kuva 10). Kyseisellä vaihde-moottorityypillä on erittäin hyvä hyötysuhde, jopa yli 95% (Unicase tappivaihteet. Tuo-

tetiedot 2017). Tappivaihdemoottori todettiin myös helpoimmaksi kiinnitettäväksi koneeseen, sillä se pysyy paikallaan kara-akselin sekä runkolevyn taakse kiinnitettävän momenttituen avulla.



KUVA 10. Tappivaihdemoottori kiinnitettynä momenttituella runkoon

Tappivaihdemoottoreita oli saatavilla kahdelta yhteistyöyrittäjästä, joita olivat Nord Gear Oy sekä SEW-Eurodrive Oy. Ominaisuuksiltaan saman kokoluokan sekä välityssuhteen osalta molempien tarjoajien vaihdemoottorit olivat hyvin tasavertaisia. Koneeseen tuli Nordin tappivaihdemoottori. Valitun vaihdemoottorin keskeisimmät tiedot ovat esitettynä taulukossa 3 (Nord. Vaihdemoottorikatalogi 2017, 284).

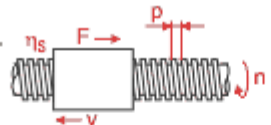
TAULUKKO 3. Vaihdemoottorin ominaisuudet 50Hz verkkovirrassa

Nimi	Nord SK3282ABG-132MP/4 TF
Teho (kW)	7,5
Vaihteen hyötysuhde	>95%
Välityssuhde	8,31
Toision pyörimisnopeus (rpm)	174
Toision nimellismomentti (Nm)	412
Massa (kg)	n. 102

Kyseisten yritysten tarjouksia ei ole esitettyä tarkemmin tarjousten luottamuksellisuustekijöiden takia.

4.2.2 X-liikkeen servomoottori

Koneen liikkeitä päätettiin toteuttaa servomoottoreilla, sillä servomoottorit todettiin järkevimmäksi ja tarkimmaksi ratkaisuksi koneeseen. Koska koneen x-liike toteutetaan kuu-laruuvilla (luku 4.2.3) avulla voi servomoottorin alustavaa mitoitus suorittaa Oy Mekanex Ab:n internetsivuilta löytyvän laskurin avulla (kuva 11).

$$Md = \frac{F \cdot p}{2000\pi \cdot \eta_s}$$


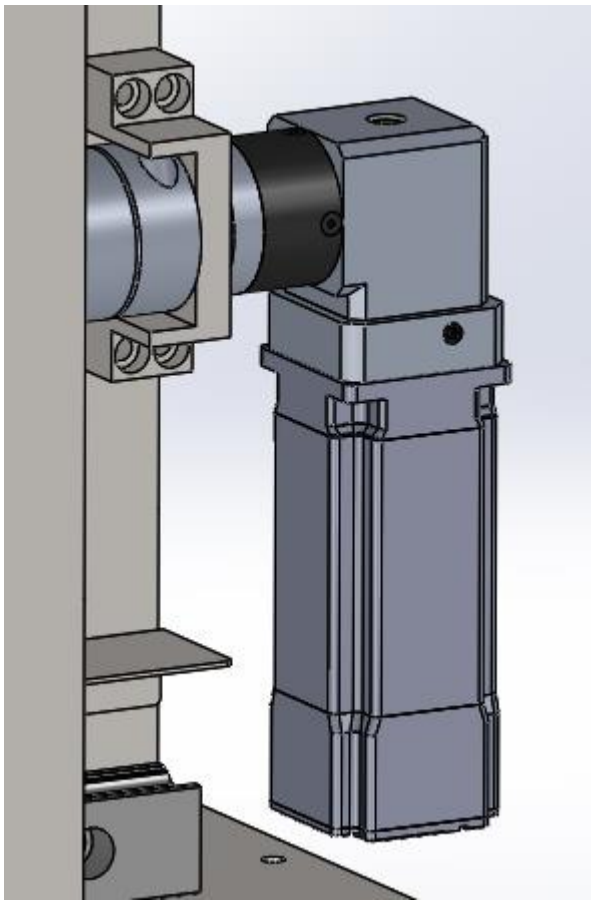
Desimaalierottimena tulee käyttää pistettä (.)

Haluttu lineaarivoima (F)	<input style="width: 100%;" type="text" value="15000"/>	N
Haluttu nopeus (v)	<input style="width: 100%;" type="text" value="50"/>	mm/s
Kierteen nousu (p)	<input style="width: 100%;" type="text" value="10"/>	mm
Hyötysuhde	<input style="width: 100%;" type="text" value="0.90"/>	
<input type="button" value="Laske"/> <input type="button" value="Tyhjennä"/>		
Tarvittava vääntömomentti (Md)	<input style="width: 100%;" type="text" value="26.53"/>	Nm
Ruuvin pyörimisnopeus (n)	<input style="width: 100%;" type="text" value="300.00"/>	1/min
	<input style="width: 100%;" type="text" value="5.00"/>	1/s

KUVA 11. Kuvakaappaus laskurista sekä laskennan tuloksista (Laskenta. Ruuvikäytön momentti 2017).

Saadut tulokset kertovat, miten lineaariliikkeen nopeus sekä voima heijastuvat pyörimisnopeuteen sekä vääntömomenttiin. Suunniteltavassa koneessa lujitusvoima tulee olemaan

noin 10 kN. Kyseisessä laskussa on huomioitu varmuuskerroin 1,5, jonka seurauksena haluttu lineaarivoima on laitettu laskuun 15 kN:iksi. Koska kuularuuvi kiinnitetään moottorin akseliin, ovat kyseiset tulokset alustavia määritelmiä tarvittavalle servomoottorille. Kyseessä on suurta momenttia, mutta melko pientä pyörimisnopeutta vaativa liike. Tämän takia on viisasta valita servomoottorin väliin vaihde. Vaihteen avulla saadaan servomoottorin fyysistä kokoa sekä tehon tarvetta pienennettyä, mikä heijastuu koneen mittoihin sekä komponenttien hintoihin. Vaihteistoja oli myös saatavilla 90° kulmalla. Tällä ratkaisulla koneen leveyttä saatiin kavennettua (kuva 12).



KUVA 12. X-liikkeen servomoottori ja kulmavaihde

Selvitettyjen tietojen avulla saatiin määritettyä tarvittava servomoottori ja kulmavaihde koneen x-liikkeelle. Taulukossa 4 on esitettyinä valitun servomoottori–vaihde-paketin keskeisimmät tiedot.

TAULUKKO 4. Servomootori–vaihte-paketin ominaisuudet

Ominaisuus	Arvo
Servomootorin jännite (V)	400–480
Toision nimellisyörimisnopeus (1/min)	300
Toision momentti (Nm)	28

Taulukon 4 arvot on saatu Bechhoff Automation Oy:n edustajan tarjouksesta. Kyseisen tarjouksen luottamuksellisuuden johdosta esimerkiksi tarkempia yksityiskohtia sekä paketin hintaa ei esitetä julkisessa raportissa.

4.2.3 Lujitustoiminnon kuularuuvi

Yksi tärkeimmistä lujitusvoiman välittäjistä vaihteelta kiekolle on kuularuuvi (kuva 13). Kuularuuvin avulla pyörivä liike saadaan muutettua lineaariliikkeeksi, jolla lujitusvoima välitetään servomootorin vaihteelta kuparikiekolle.



KUVA 13. Kuularuuvi (Rollco. Kuularuuvi 2017)

Yksi tapa kuularuuvien mitoittamiseen on sen väsymiseliniän määrittäminen. Kaavalla (5) saadaan määritettyä kuularuuvien väsymisikäarvio kierroksina (Rollco. Kuularuuvikatalogi 2016. 17).

$$L = \left[\frac{Ca}{Pa \cdot fw} \right]^3 \cdot 10^6 \quad (5)$$

L = Kuularuuvien väsymisikä kierroksina

Ca = Dynaaminen kuormitusarvo (N)

Pa = Kuularuuviin kohdistuva aksiaalikuorma (N)

fw = Kuormituskerroin

Kaavan (5) arvot saadaan määritettyä tutkimalla suunniteltavaa sovellusta sekä tarkistamalla katalogista tietyn kuularuuvien toiminta-arvot. Kyseisessä sovelluksessa kuularuuviin kohdistuu noin 10 kN aksiaalisuuntaista voimaa, mutta lujituksessa käytetyn varmuuskertoimen 1,5 vuoksi laskenta on suoritettu 15 kN:lla. Dynaaminen kuormituskerroin on riippuvainen kuularuuvien tyypistä sekä koosta. Kuormituskerroin määritetään katalogissa olevan taulukon avulla (kuva 14).

	fw:
Smooth operation without impact	1.0~1.2
Normal operation	1.2~1.5
Operation with impact and vibration	1.5~3.0

KUVA 14. Kuvakaappaus kuormituskerroimen määrittämisoheesta (Rollco. Kuularuuvikatalogi 2016, 17).

suunniteltavassa sovelluksessa tapahtuu puristusta ilman kovaa iskua tai värähtelyä. Tämän seurauksena kuormituskerroin on määritetty arvoksi 1,3.

Kuularuuvien valikoinnissa kriteereinä toimivat kierteen nousu sekä sen kestävyys. Kuularuuvien kierteennousuksi valikoitui 10 mm. Näiden kriteerien avulla saatiin määritettyä oikea kuularuuvi, joka on Rollcon fscr2510. Kuularuuvien halkaisija on 25 mm 10 mm:n nousulla (Rollco 2016, 7). Kyseisen kuularuuvien väsymiselinikä on laskettuna kaavan (5) avulla.

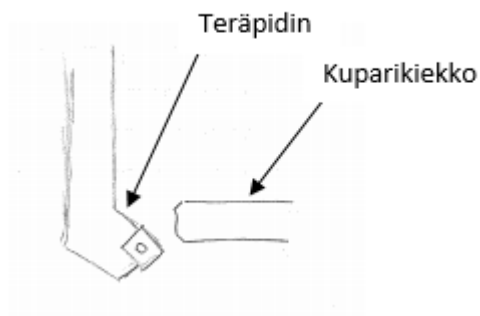
$$L = \left[\frac{20700 \text{ N}}{15000 \text{ N} \cdot 1,3} \right]^3 \cdot 10^6 \approx 1\,200\,000$$

Kyseinen ruuvi kestäisi noin 1,2 miljoonaa kierrosta, jos se olisi kuormitettuna koko ajan. Todellisuudessa ruuvi on kuormitettuna vain osan työsyklistä, joten se kestää huomattavasti pidempään. Kyseinen kuularuuvi todettiin hyväksi, sillä yhden kiekon puristus tapahtuu maksimissaan kuularuuvien yhden kierroksen aikana.

Ruuvin kestoja olisi voinut kasvattaa huomattavasti, esimerkiksi valitsemalla isomman ruuvin kyseisen tilalle. Tämä olisi kuitenkin kasvattanut ruuviin liitettävien komponenttien kokoa, mikä olisi heijastunut suoraan muiden komponenttien valintoihin ja suunnitteluun.

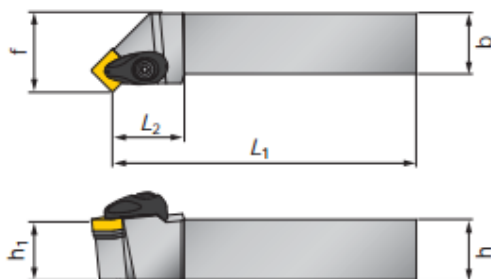
4.2.4 Teräpidin

Sorviin valittavalla teräpitimellä on erittäin merkittävä vaikutus kokoonpanossa, sillä sen asennusasento vaikuttaa suoraan koneen leveyteen sekä sorvauksen liikerataan. Itse terän geometrinen ihannemuoto on neliö, sillä kyseisen muodon avulla kiekkoon tehtävät viisteet saataisiin tehtyä kaksiakselisella koneella mahdollisimman yksinkertaisesti. Teräpidin olisi myös hyvä saada asetettua 90° kulmaan kiekon sorvattavaan pintaan nähden. Kuvassa 15 on hahmotelma optimaalisesta teräpitimestä.



KUVA 15. Hahmotelma optimaalisesta teräpitimestä

Etsimisen ja vertailun tuloksena oli, että kuvan 15 mukaista teräpidintä ei ole saatavilla mahdollisimman helposti. Lähimpänä kyseistä ratkaisua vastaava teräpidin on esitettyä kuvassa 16.



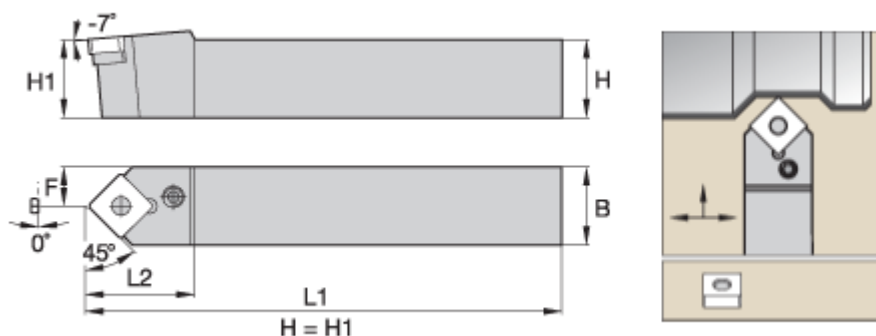
KUVA 16. Ratkaisua eniten vastaava teräpidin (Tungaloy. Toolholders 2017, 6)

Kyseinen terä olisi toista viistettä sorvattaessa ottanut pitimellä kontaktia pyörivään kuparikiekkoon, mikä voisi rikkoa koneen. Yksi ratkaisu teräpitimen ongelmaan olisi itse suunniteltu ja teetetty teräpidin. On kuitenkin järkevää ensin vertailla itse tehtyä teräpidintä sekä ostettavissa olevaa teräpidintä keskenään. Taulukossa 5 on vertailua teräpidinten välillä.

TAULUKKO 5. Teräpidinten vertailua

	Omavalmiste	Osto-osa
Soveltuvuus koneeseen	Erinomainen	Kohtalainen/hyvä
Vaikutus suunnitteluun	Helpottaa huomattavasti	Lisää suunnittelua
Hinta	Kallis	Edullinen
Osan suunnittelu/mallinnus	Tehtävä itse	Saatavilla
Saatavuus	Suunniteltava/valmistettava itse	Hyvä
Koneen seisokki komponentin rikkoutuessa	Korjattava/valmistettava uusi	Nopeasti saatavilla

Vertailun tuloksena huomataan, että on järkevämpää panostaa koneen kokonaisuuden suunnitteluun kuin yhden osan suunnitteluun, joka helpottaa kokonaisuutta vain hieman. Koska teräpitimiä, joita olisi voinut asettaa 90° kulmaan, ei ollut helposti saatavilla, on päädytty ratkaisuun, että pitimen tulee olla kohtisuorassa kiekon sorvattavaan pintaan nähden. Tämä leventäisi konetta hieman, mutta kasvattaa valittavissa olevien teräpidinten määrää. Järkevimmäksi teräpitimeksi valikoitui kuvan 17 mukainen teräpidin.



KUVA 17. Valikoitunut teräpidin (Kennametal. Toolholders 2017)

Kyseinen teräpidin osoittautui noudattavan tiettyjä standardeja, jonka seurauksena myös muiden valmistajien vastaavat teräpimitet ovat sopivia suunniteltavaan koneeseen. Tällöin sorviin on mahdollisimman helppoa ja nopeaa saada uusi teräpidin, jos se rikkoutuu.

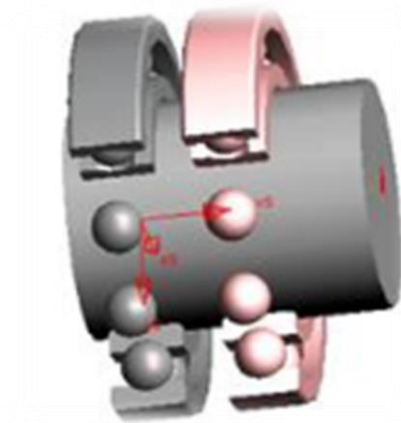
4.2.5 Kara-akselin laakerointi

Koneen kara-akselin laakerointiin tuli kiinnittää erityisen paljon huomiota, sillä tuleviin laakereihin kohdistuu lujitusvoimasta aiheutuvan säteisvoiman lisäksi momenttia, mikä hankaloittaa laakerin mitoittamista käsin laskennallisesta näkökulmasta. Kuvassa 18 on hahmoteltuna, kuinka lujitus tapahtuu kara-akselilla. Haastavan kara-akselin laakeroinnista tekeekin se, että akseli laakeroidaan vain yhdestä kohtaa. Lujitusvoima kohdistuu kuparikiekkoon ja se on kuvassa 18 esitettyä punaisella nuolella.



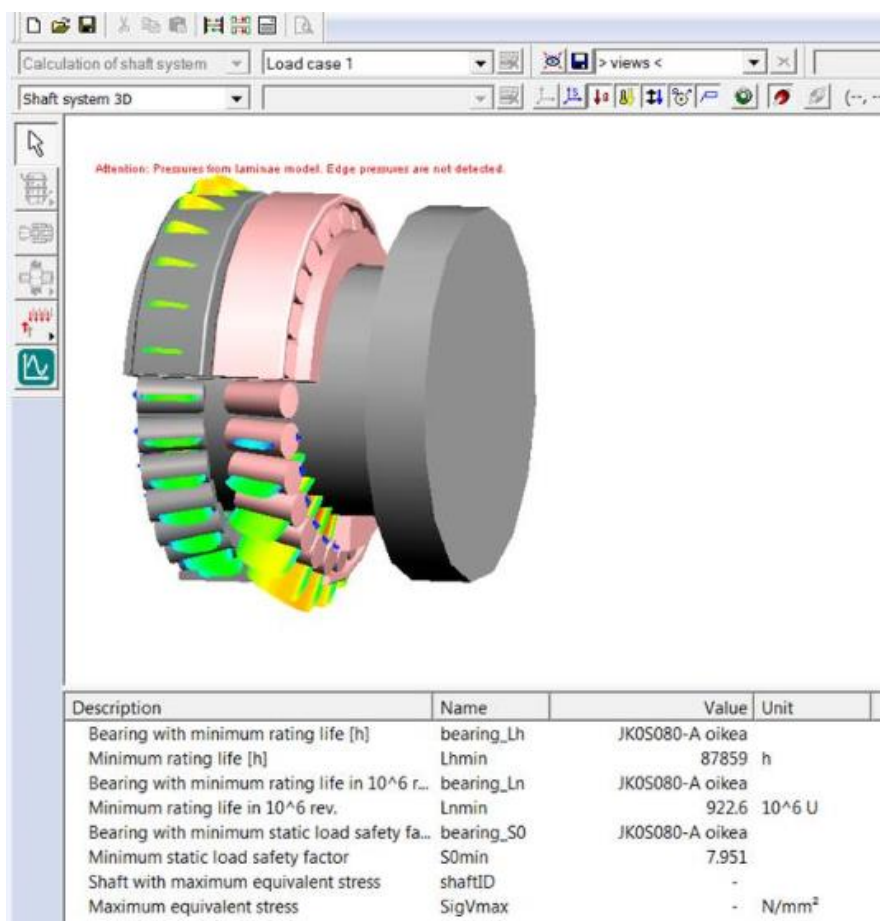
KUVA 18. Koneen kara-akselin laakerointi ja lujitusvoima

Laakerivaihtoehdot saatiin haarukoitua BearingX-ohjelmiston avulla, jossa myös lujituksessa käytettiin varmuuskertoimen tuomaa 15 kN:a lujitusvoimana. Ohjelmiston avulla saatiin selville, että alustava ratkaisu urakuulalaakereilla olisi kestänyt noin 500 tuntia lujitusvoimaa (kuva 19) ja kasvattamalla laakereita pääsisi noin 3400 tuntiin (Lehmusto 2017). Kuvassa 19 oikean puoleinen laakeri on kuormituksen puoleinen laakeri, joka ottaa vastaan suuremman kuorman ja hajoaa laakereista ensimmäisenä.



KUVA 19. Ensimmäinen ratkaisuvaihtoehto (Lehmusto 2017)

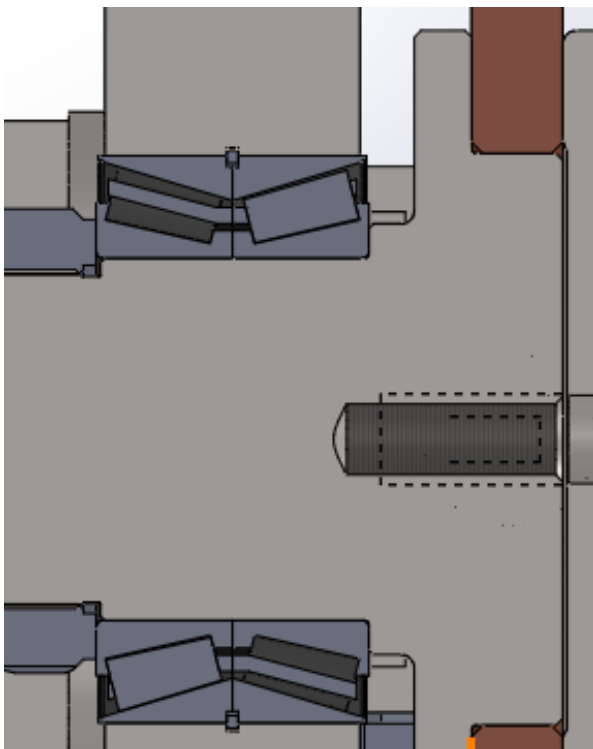
Urakuulalaakereilla momenttikuorman kannattelu kyseisessä kuvan 18 mukaisessa pienessä tilassa on hankalaa. Kyseisen kuormituksen kannattamiseen parhaaksi laakerivaihtoehdoksi osoittautui kartiorullalaakeri. BearingX-laskentaohjelmistolla saatiin laakeriparin heikommalle laakerille kestoikää 15 kN kuormituksella noin 88 000 tuntia (kuva 20). Laakerin eliniässä tuli kuitenkin huomioida esimerkiksi ympäristön aiheuttamat tekijät sekä laakerin mahdollinen huolto ja voitelu. (Lehmusto 2017.)



KUVA 20. Kuvakaappaus BearinX-laskentaohjelmistosta (Lehmusto 2017)

Kyseisten JK0S08-A-kartiorullalaakereiden elinikä todettiin erittäin hyväksi ratkaisuksi kara-akselin laakerointiin. Laakerit ovat myös valmiiksi tiivistettyjä, minkä ansiosta akseliin ei tarvinnut suunnitella tiivistepaikkoja. Tämä säästi aikaa suunnittelussa sekä tilaa akselilla (kuva 21). BearingX-laskentaohjelma huomautti, että laakereiden rasvan käyttöikä osoittautui laakereiden laskennallista käyttöikää lyhemmäksi, jonka seurauksena laakereille suositellaan jälkivoitelua noin kerran vuodessa (Lehmusto 2017).

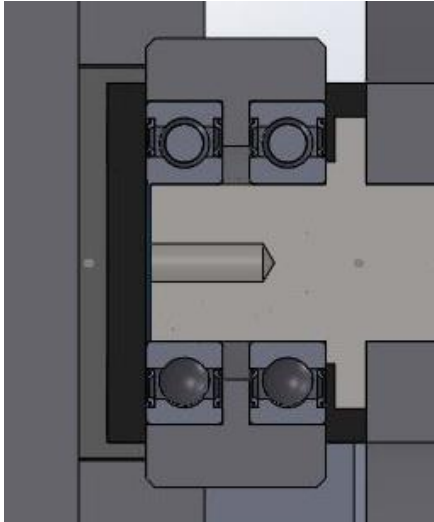
BearingX-laskentaohjelmistolla määritettiin laakeriparin kesto pelkällä lujitusvoimalla, jonka takia se suositteli säännöllistä jälkivoitelua. Lujitusvaihe kestää koneen työsyklissä vain muutaman sekunnin, jonka johdosta voidaan päätellä, että laakeripari kestää huomattavasti pidempään kuin 88 000 tuntia. Kyseisiä laakereita on myös mainostettu keskorasvatuiksi sekä huoltovapaiksi (FAG, Integroidut kartiorullalaakerit 2008, 2), jonka takia kyseiset laakerit on suunniteltu siten, että niiden mahdollinen huolto onnistuu ainoastaan irrottamalla laakerit pesästä ja purkamalla ne rasvausta varten. Näiden seikkojen seurauksena laakeripari oletetaan tässä sovelluksessa huoltovapaaksi.



KUVA 21. Lämpileikkaus kara-akselin laakeroinnista

4.2.6 Lujitusrulla

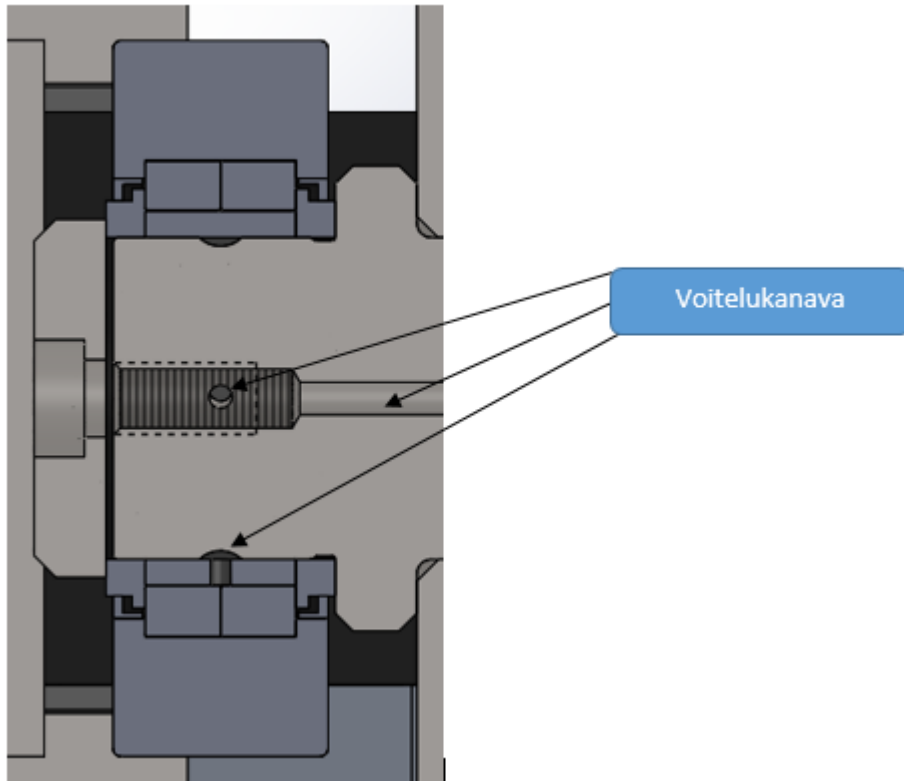
Koneessa lujitus on tarkoitus suorittaa kylmämuokkaamalla, eli kiekon pintaa vasten painetaan rullalla kiekon pyöriessä ilman erillistä kiekon kuumentamista. Samaa menetelmää on käytetty myös nykyisessä ratkaisussa (luku 3.2). Alustavana ideana oli toteuttaa lujitusrullan kiinnittäminen akseliin ruuvilla sekä aluslevyllä. Kyseisellä tavalla olisi mahdollista kiinnittää rulla tilatehokkaasti runkolevyn ja liikkuvan levyn väliin (kuva 22).



KUVA 22. Lämpileikkaus lujitusrullan ensimmäisestä versiosta

Lujitusrullan rakenne on riippuvainen lujitusvoiman aiheuttamasta jännityksestä akseliin, joka heijastuu sen mittoihin. Luvussa 4.3.3 on esitettyä lujitusrullan akselin rakenne, joka valikoitui ratkaisuksi koneeseen. Kyseinen akseli kasvatti laakereiden sisähalkaisijaa niin suureksi, että lujitusrullan halkaisijaa olisi joutunut kasvattamaan liikaa. Suurempi lujitusrulla vaatisi lisää tilaa, mikä kasvattaisi konetta sekä vaatisi enemmän voimaa lujitusliikkeeseen.

Valmiskomponentti, joka voisi ajaa lujitusrullan roolia, on juoksurulla. Juoksurullat ovat ulkorenkailtaan huomattavasti paksuseinäisempiä kuin normaalit laakerit ja ne kestävät hyvin säteiskuormia (Schaeffler 2017). Tämän seurauksena juoksurulla ajaisi ulkomitoiltaan lujitusrullaa. Juoksurullan käyttö eliminoisi myös erikseen valmistettavan lujitusrullan valmistuskustannukset sekä helpottaisi kyseisen osan huoltoa, sillä lujitusrulla saadaan voideltua lujitusakselin kautta menevän voitelukanavan avulla (kuva 23). Valitussa juoksurullassa on myös valmiiksi tiivisteet, mikä helpotti akselin suunnittelua sekä pienensi tilan tarvetta.



KUVA 23. Juoksurulla lujitusrullana sekä akselissa menevä voitelukanava

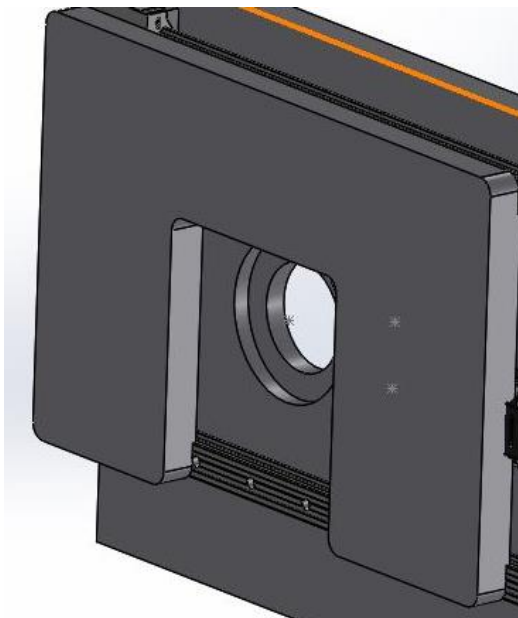
4.3 Valmistettavat osat

Suunniteltavan koneen keskeisimmässä osassa ovat suunnittelun pohjalta valmistettavat osat, joita ovat esimerkiksi koneen perusrunko sekä kara-akseli. Suunniteltaessa kyseisiä komponentteja suurin haaste on se, että ne on saatava valmistettua, esimerkiksi koneistamalla, suunnittelun pohjalta, mikä on samalla rajoittava tekijä suunnittelussa. Kappaleiden tuli myös olla mahdollisimman jäykkiä, joka takaisi tasaisimman mahdollisen lujituksen kuparikiekolle. Seuraavissa aliluvuissa on käsiteltyä keskeisimpien valmistettavien komponenttien suunnittelua sekä perusteluja, miksi mikäkin komponentti on todettu ratkaisuksi koneeseen. Kaikkien FEM-laskentaohjelman tuottamissa venymäanalyysissä on käytetty lujitusvoimaa varmuuskertoimen kanssa, eli käytetty voima oli 15 kN.

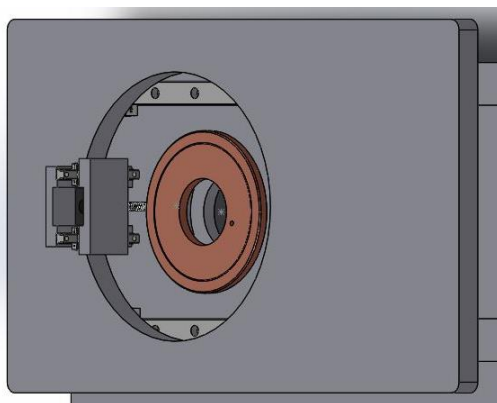
4.3.1 X-liikkeen runko

Koneessa x-liikkeen rungolla tarkoitetaan koneen runko-osaa, johon on kiinnitettyä lujitusrulla sekä alusta, jossa on sorvin teräpidin sekä sen z-liike. Huomioitavaa komponentin suunnittelussa on se, että sen tulisi olla kestävä sekä jäykkä koneen suorittaessa kuparikiekon lujittamista.

X-liikkeen runkolevystä suunniteltiin erilaisia versioiteja, joissa vertailtiin keskenään muun muassa valmistettavuutta, käytännöllisyyttä sekä lujuutta. Kuvissa 24 ja 25 on esitettyä alkupään versioiteja x-liikkeen runkolevystä.

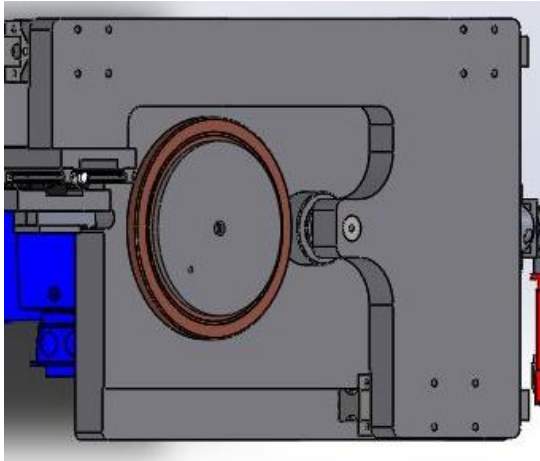


KUVA 24. Ensimmäinen versio x-liikkeen runkolevystä



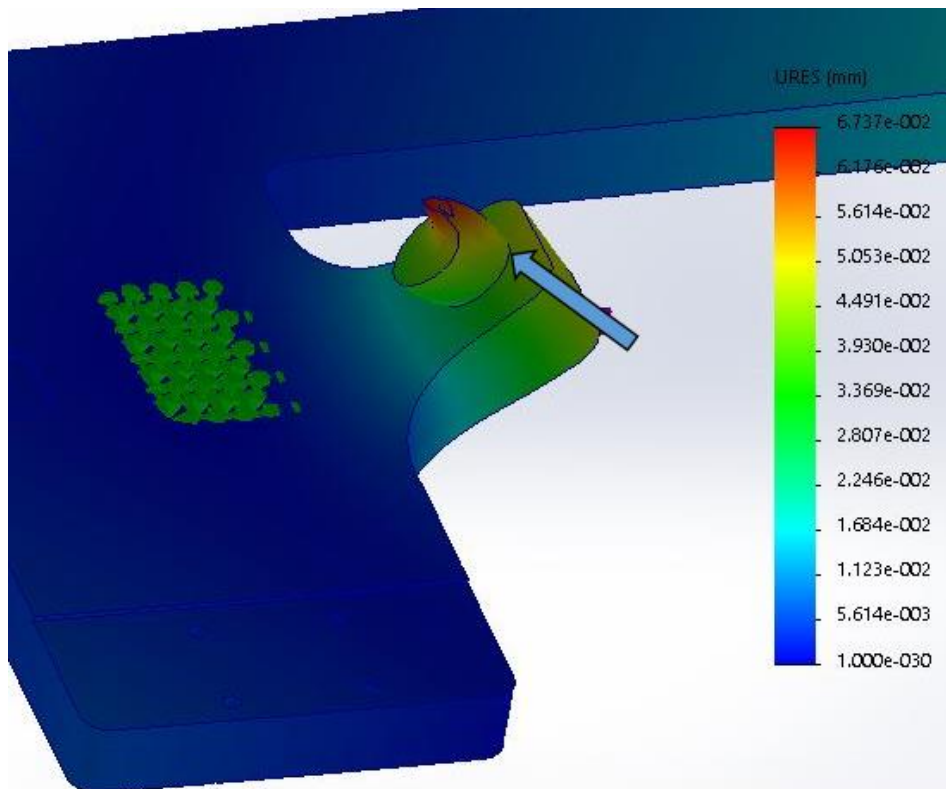
KUVA 25. Näkemys x-liikkeen runkolevystä

X-liikkeen runkolevyn suunnittelu heijastuu suoraan perusrungon suunnitteluun. Tämän seurauksena koneen massa sekä mitat kasvavat huomattavasti, jos koneen x-liikkeen runkoa kasvatti. Eri versioiden vertailun tuloksena x-liikkeen runkolevyksi valikoitui kuvan 26 mukainen ratkaisu. Levyssä sorvin teräpidin laitetaan ylösalaisin, mikä mahdollistaa sen, että lastua ei lennä alajohteelle, kun se suojataan. Samalla alajohteen mittaa kyetään lyhentämään.



KUVA 26. X-liikkeen runkolevyn alustava ratkaisu

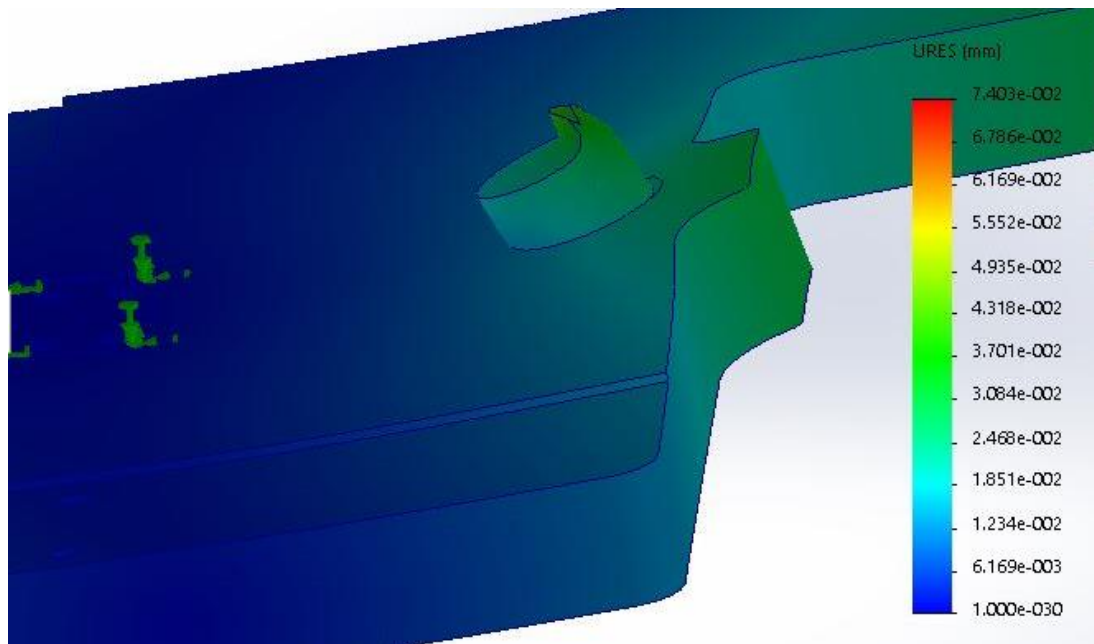
Kyseisen ratkaisun jäykkyys lujitustilanteessa tulee kuitenkin varmistaa ennen varsinaista päätöstä. Kappaleen jäykkyyttä analysoitiin Solidworksin FEM-laskentaohjelmistolla, jonka avulla saadaan selville kappaleessa tapahtuvat suuntaa antavat muodonmuutokset sekä venymät (kuva 27).



KUVA 27. Venymäanalyysi alustavasta x-liikkeen levyn versiosta

Kuvassa 27 oleva väripalkki ilmoittaa venymän kappaleessa. Lujitusvoima kappaleessa on kohdistettuna levyssä olevan mallinnetun akselin päähän, koska levyyn ei kohdistu kohtisuoraa voimaa, vaan se välittyy akselin kautta. Kuvassa 27 olevan nuolen kohdalla, lujitusrullan akselin reiän läheisyydessä, venymä varmuuskertoimella käytettävässä lujitustilanteessa on noin $4,6 \cdot 10^{-2}$ mm.

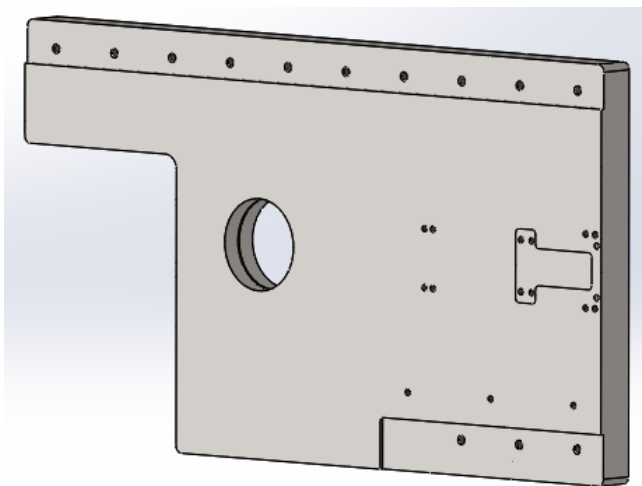
Kyseistä levyä pyrittiin saamaan vielä jäykemmäksi, koska koko koneen rakenteesta olisi tarkoitus saada mahdollisimman jäykkä kokonaisuuden fyysiset mitat huomioon ottaen. Kyseistä kappaletta oli melko helppo saada jäykemmäksi lisäämällä materiaalia lujitusrullan akselin ympärille, jolloin kappaleen venymää saatiin laskettua samasta kohtaa noin $2,6 \cdot 10^{-2}$ mm:iin (kuva 28).



KUVA 28. Lopullisen ratkaisun alustava venymäanalyysi

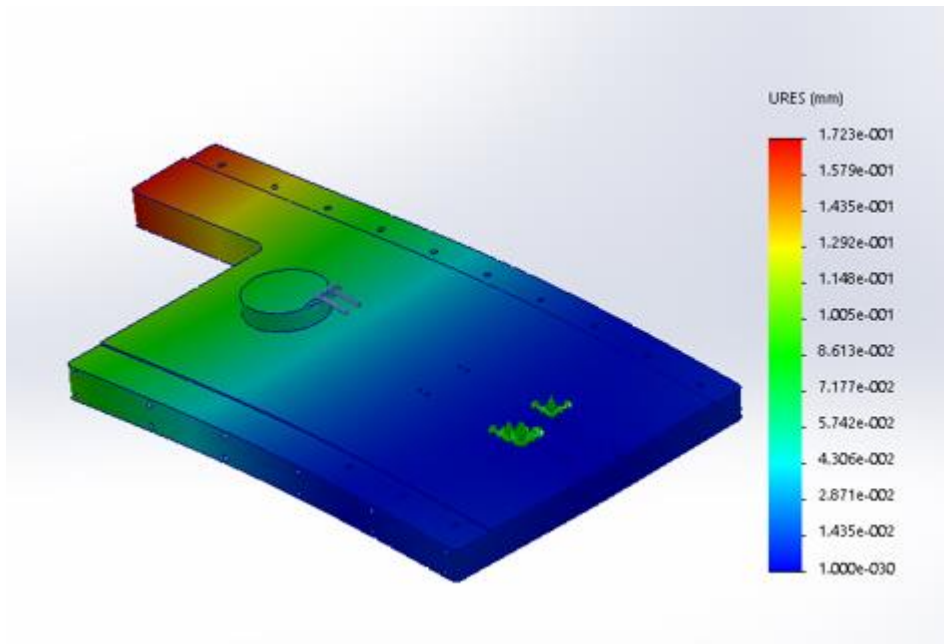
4.3.2 Perusrunko

Perusrungolla koneessa tarkoitetaan paikallaan pysyvää kappaletta, johon on kiinnitetty koneen kara-akseli (kuva 29). Perusrungon rakenne on melko yksinkertainen, mutta x-liikkeen rungon toteutus vaikuttaa erittäin paljon sen suunnitteluun sekä toteutukseen.



KUVA 29. Valmiin perusrungon mallinnus koneistettuna

Myös perusrungon sopivuus koneeseen tuli varmentaa alustavalla venymäanalyysillä. FEM-laskennalla perusrungolle saatiin kuvan 30 mukaiset venymät.



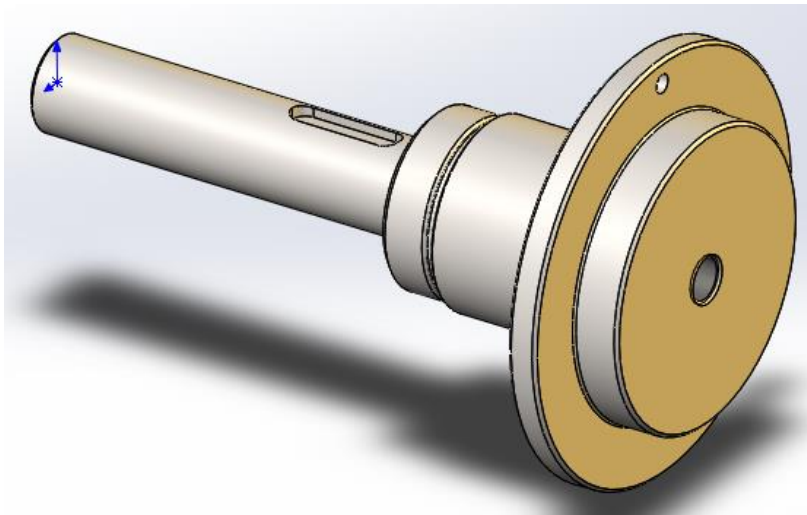
KUVA 30. Perusrungon alustava venymäanalyysi lujitusvaiheessa

Kuvan 30 analyysin mukaan kara-akselin kohdalla oleva venymä on noin $4,6 \cdot 10^{-2}$ mm. Kyseistä kohtaa voisi jäykistää käyttämällä vahvempaa runkolevyä, mutta se katsottiin heikoksi tavaksi, sillä se olisi kasvattanut runkolevyn massaa huomattavasti. Venymäanalyysi ei myöskään huomioi esimerkiksi runkolevyn pohjaan tulevan kiinnitystavan sekä johteiden tuomaa lisäjäykkyyttä rakenteessa, jonka seurauksena kyseinen runkolevy todettiin sopivan jäykäksi kyseiseen sovellukseen.

4.3.3 Akselit

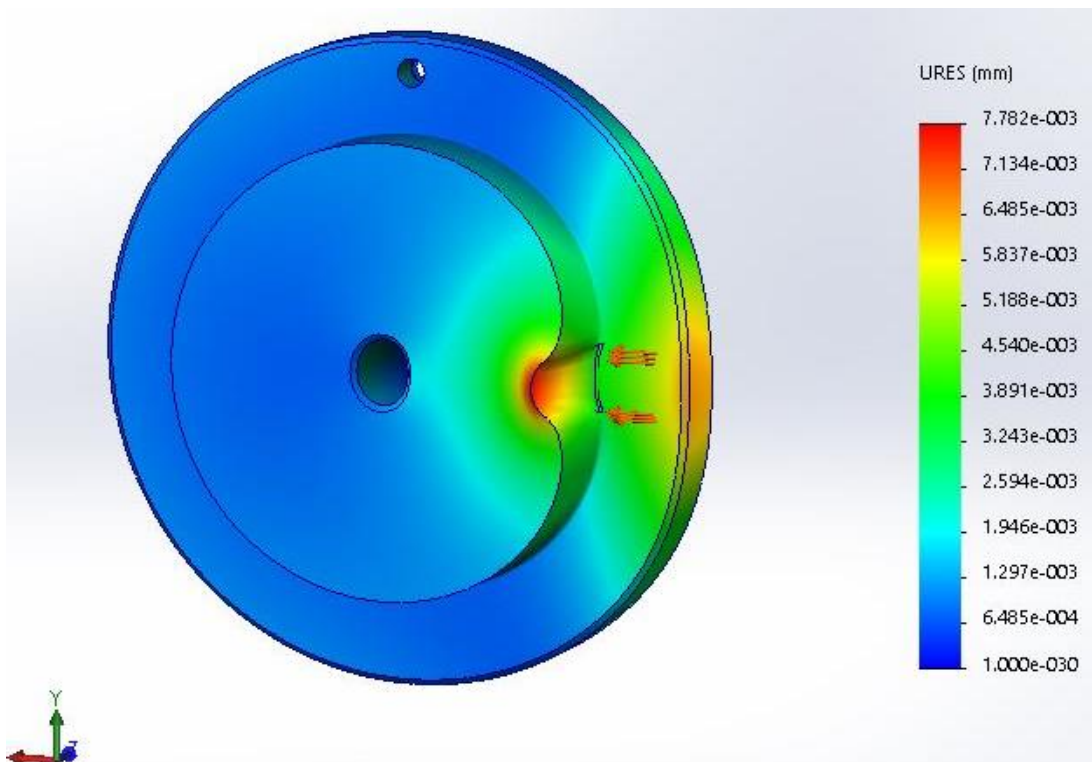
Lujitustoiminnon aiheuttamaa voimaa vastaanottivat perusrunko- sekä x-liikkeen runkolevyn lisäksi koneen lujitusrullan akseli sekä kara-akseli. Akseleiden suunnittelu oli pääosin riippuvaista lujitusvoiman lisäksi valituista komponenteista, esimerkiksi laakereista.

Kara-akselia suunniteltaessa tuli huomioida kuparikiekon asettamat ehdot sekä akselin laakerointi ja kiinnitys runkoon sekä tappivaihdemootoriin. Myös valmistustapa tuli huomioida suunnittelun joka vaiheessa, jotta suunnitellusta kara-akselista olisi mahdollista valmistaa oikea komponentti. Kuvassa 31 on esitettyinä valmiin kara-akselin mallinnus.



KUVA 31. Kara-akselin mallinnus

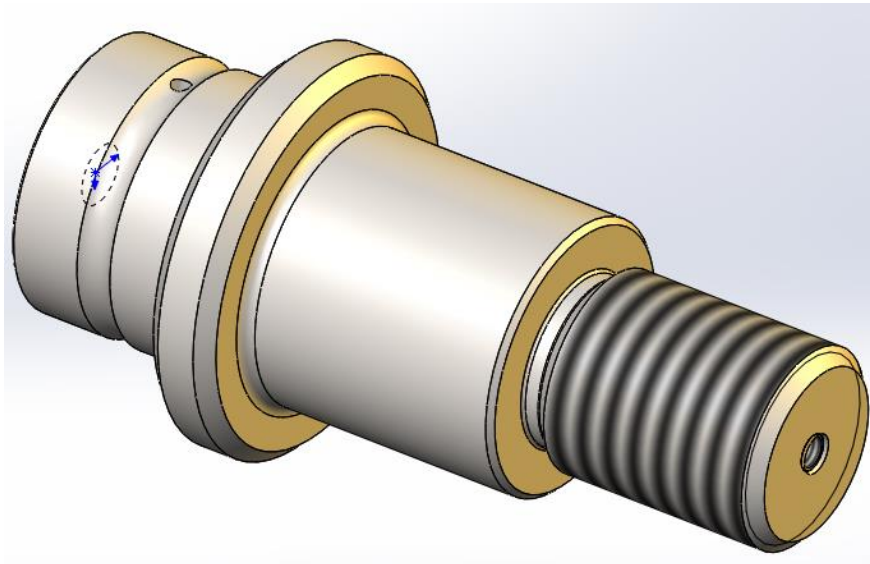
Kara-akselin sopivuus koneeseen tarkastettiin myös FEM-analyysillä. Kuvassa 32 on esitettyä akselin venymä. Kappale on katkaistu analyysiä varten laakeroinnin tukipinnan kohdalta.



KUVA 32. Kara-akselin alustava venymäanalyysi

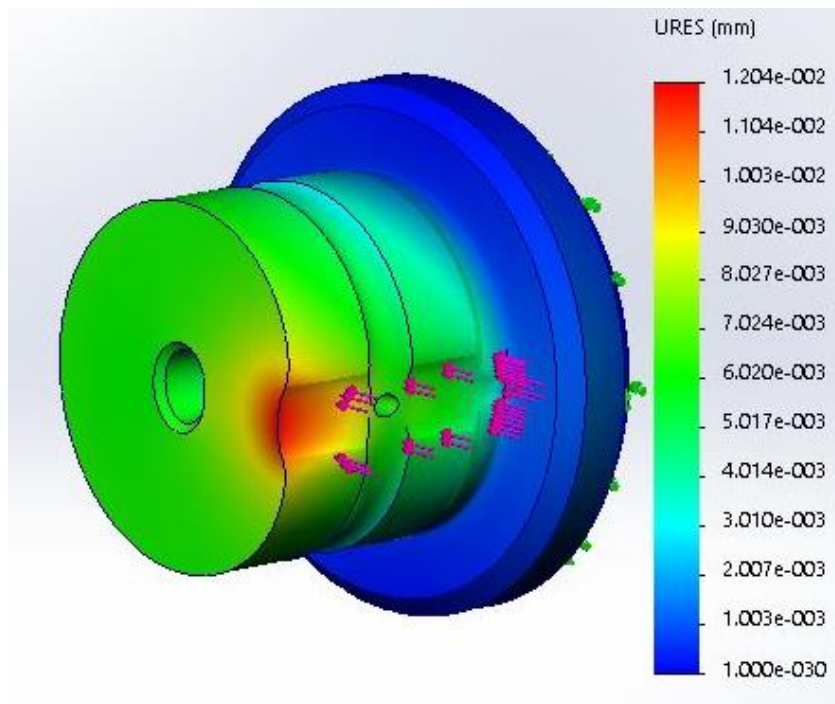
Kara-akselin venymäanalyysistä todettiin, että se on riittävän jäykkärakenteinen koneeseen. Kara-akselin jäykkyyttä ei olisi pystynyt lisäämään rakenteellisilla muutoksilla, sillä akselin laakerointiratkaisu sekä kuparikiekon mitat rajoittivat akselin suunnittelua.

Myös lujitusrullan akselia koski samat toimintaperiaatteet: suunniteltaessa tuli huomioida komponentit sekä valmistustapa. Kuvassa 33 on esitettyä valikoitunut akseli lujitusrullalle. Kuten luvussa 4.2.6 on esitettyä juoksurullan käyttö lujitusrullana, tuli akseliin tehdä voitelukanava. Voitelun helpottamiseksi rasvanippa on sijoitettu akselin koneesta ulospäin osoittamaan päähän.



KUVA 33. Mallinnus valmiista lujitusrullan akselistä

Lujitusrullan akselin sopivuus koneeseen todennettiin myös FEM-analyysillä. Kuvassa 34 on esitettyä alustava venymäanalyysi.



KUVA 34. Lujitusrullan alustava venymäanalyysi

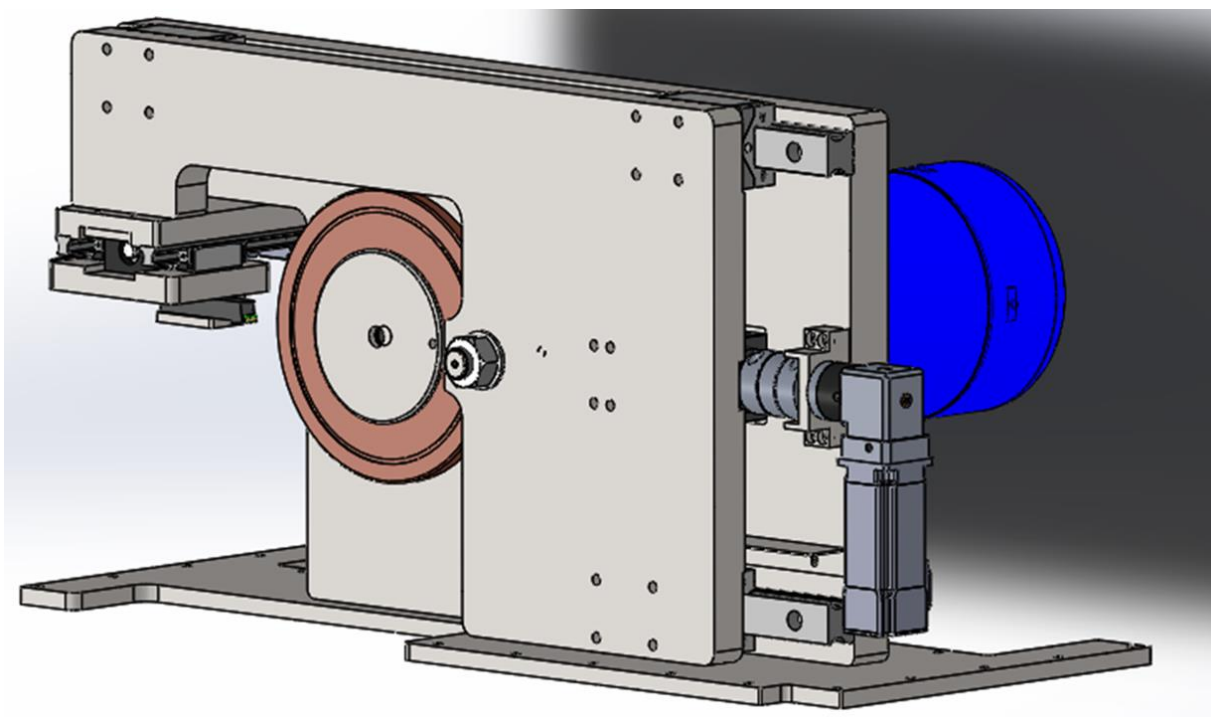
Kuvan 34 venymäanalyysi ei huomioi akseliin tulevaa kiinnitysruuvia sekä lujitusrullaa, jotka tuovat lisätukea akseliin. Lujitusrullan akseli todettiin myös sopivan jäykäksi ratkaisuksi koneeseen, sillä kuten kara-akselin tavoin, myös tässä komponentit vaikuttivat askelin rakenteeseen.

Kaikkien kappaleiden FEM-analyysit ovat alustavia ja suuntaa antavia tuloksia lujitustoiminnon aiheuttamasta voimasta. Ne eivät huomioi esimerkiksi kappaleisiin kiinnitettävien komponenttien tuomaa lisätukea sekä voiman jakautumista eri osien kesken. Tuloksilla saatiin alustavaa tietoa kappaleiden venymistä lujitusvaiheessa, jonka avulla saatiin ratkaistua sopivat ainevahvuudet kappaleille huomioiden kuitenkin niiden vaikutuksen kokonaisuuden fyysisiin mittoihin.

5 SUUNNITTELUN TULOKSET

5.1 Kokoonpano

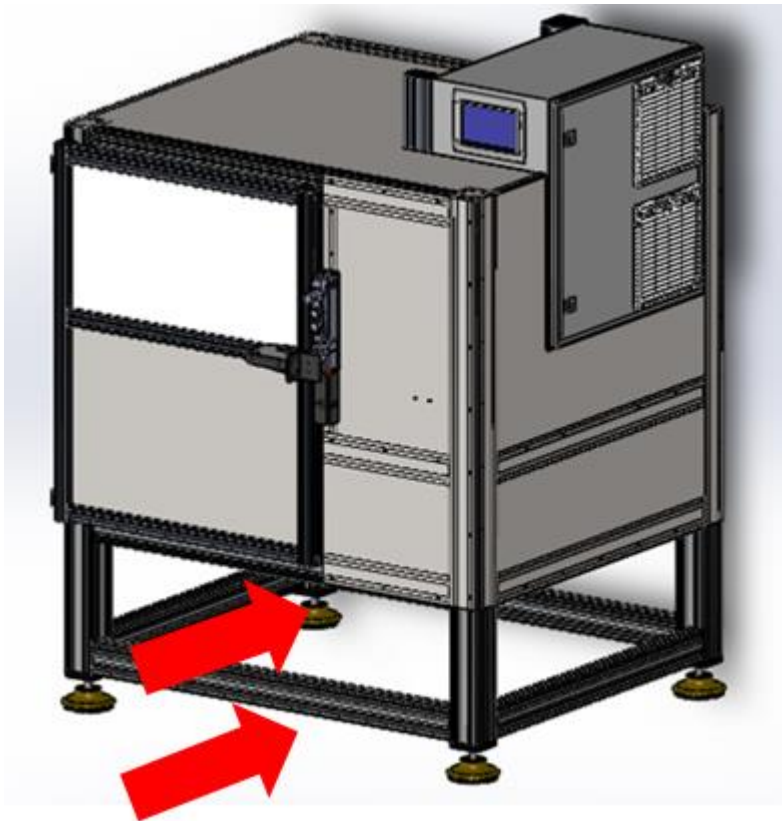
Yhdistämällä valitut komponentit ja suunnitellut osat kokoonpanoksi, saadaan havainnollistettua valmis kone. Kuvassa 35 on esitettyä valmiin koneen alikokoonpano, jossa on koneen toimintoon liittyvät keskeisimmät osat.



KUVA 35. valmiin koneen mekaniikan kokoonpano

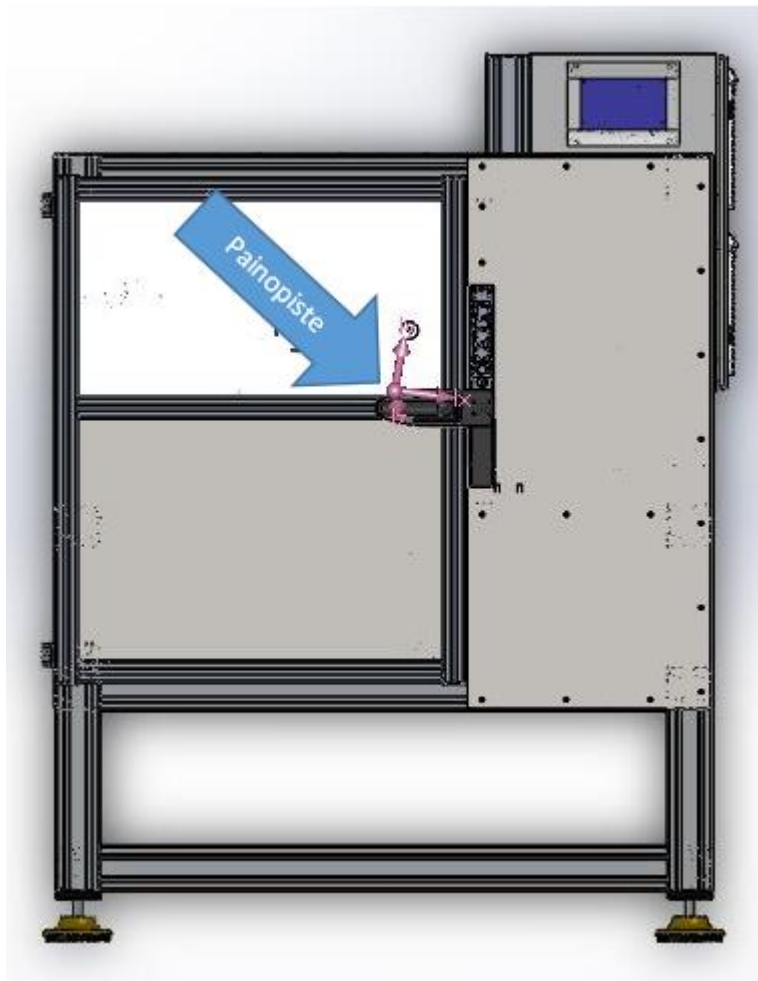
Kyseinen kokoonpano toteuttaa sille annetut vaatimukset sekä rajoitteet. Esimerkiksi koneen liikkeitä tuli toteuttaa kahdella servomootorilla. Kuvassa 35 z-liikkeen servomootori on hieman piilossa. Suunnittelun toiveena oli myös, että työstettävä kiekko olisi levyjen välissä kara-akselin laakereihin kohdistuvan momenttikuorman minimoimiseksi. Tämä toteutui komponenttivalintojen ansiosta.

Kuvassa 35 oleva kokoonpano ei ole vielä valmis kone, sillä siitä puuttuu tekijöitä, jotka vaikuttavat sen toimintaan sekä turvallisuuteen. Koneen tuli myös olla siirrettävissä oleva, eristetty kokonaisuus. Kuvassa 36 on esitettyä koneen kokoonpano kaikilla komponenteilla.

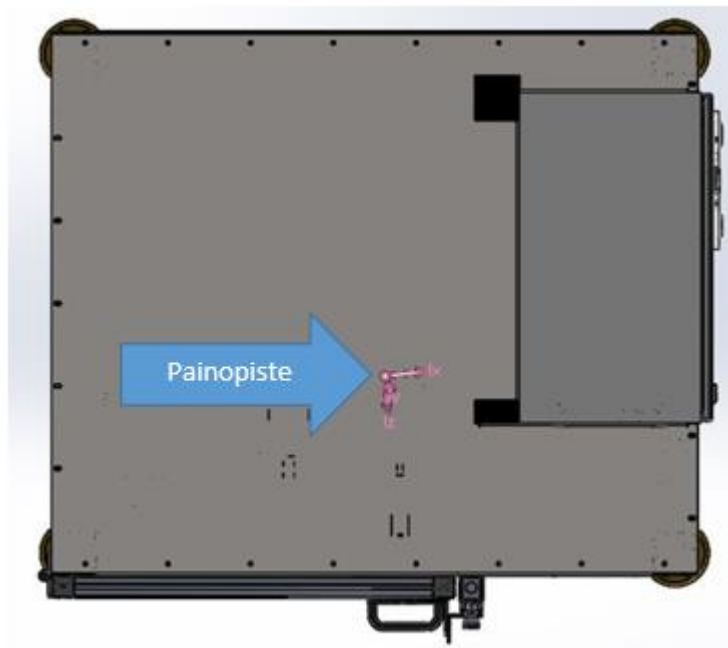


KUVA 36. Valmiin koneen kokoonpano

Suunniteltu sorvaus- ja lujituslaite on kokonaisuudessaan suojattu ohutlevyllä, mikä estää ihmisen raajojen joutumisen koneeseen sen ollessa käynnissä. Kokoonpanon kokonaismassa mallinnuksessa on noin 770 kg. Laitetta on mahdollista liikuttaa trukilla kuvassa 36 olevien nuolien osoittamista raoista siten, että trukin haarukka tuodaan koneen luukun puolelta. Kuvissa 37 ja 38 on esitettyä painopisteen sijainti. Mekaniikkasuunnittelun onnistumisesta koneturvallisuuden osalta lisää luvussa 5.2.2. Koneesta on esitettyä päämittakuva (liite 2) sekä räjäytyskuvat (liitteet 3 ja 4) liitteenä raportin lopussa.



KUVA 37. Painopisteen sijainti edestä katsottuna



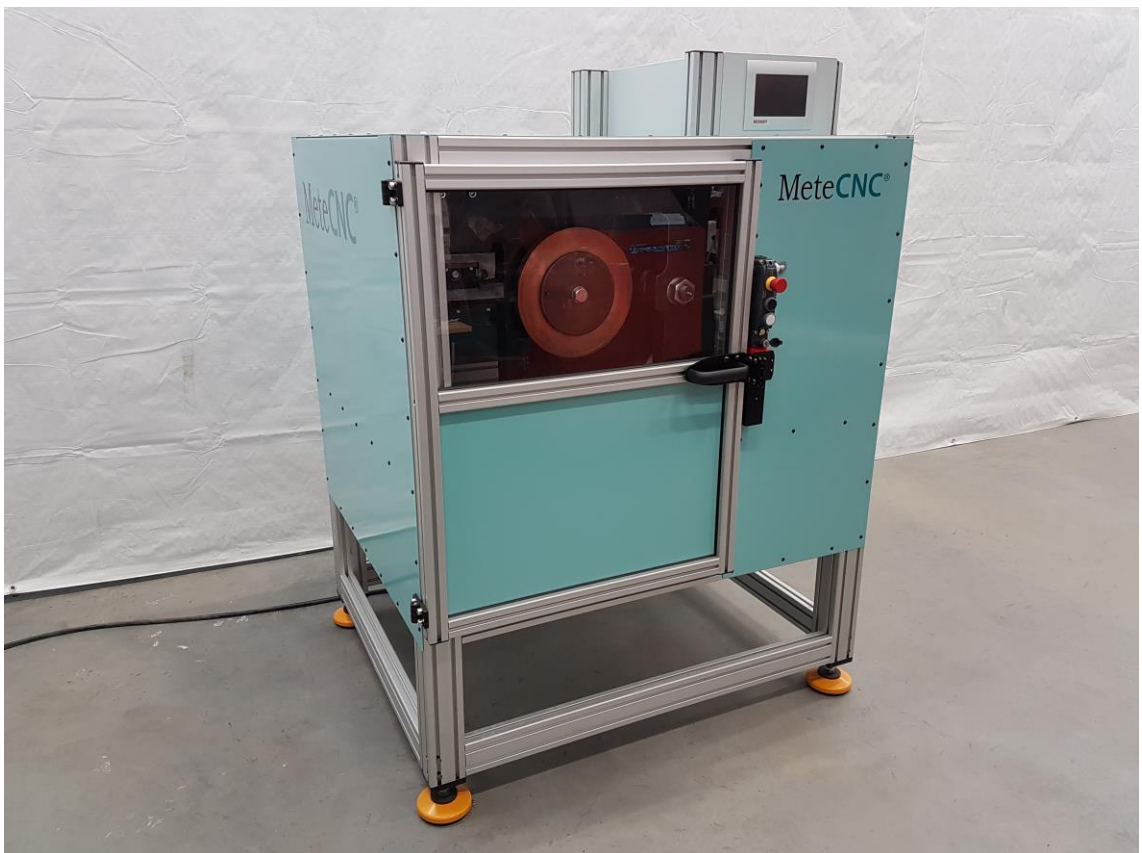
KUVA 38. Koneen painopisteen sijainti päältä katsottuna

Koneen omavalmistekomponenteista tuli myös tehdä työpiirustukset, joiden pohjalta osat on mahdollista valmistaa, osaluettelon lisäksi. Kyseiset piirustukset sekä osaluettelo saatiin onnistuneesti valmiiksi, mutta niitä ei ole esitetty tässä opinnäytetyössä yrityssalaisuuksien takia.

5.2 Jatkotoimenpiteet

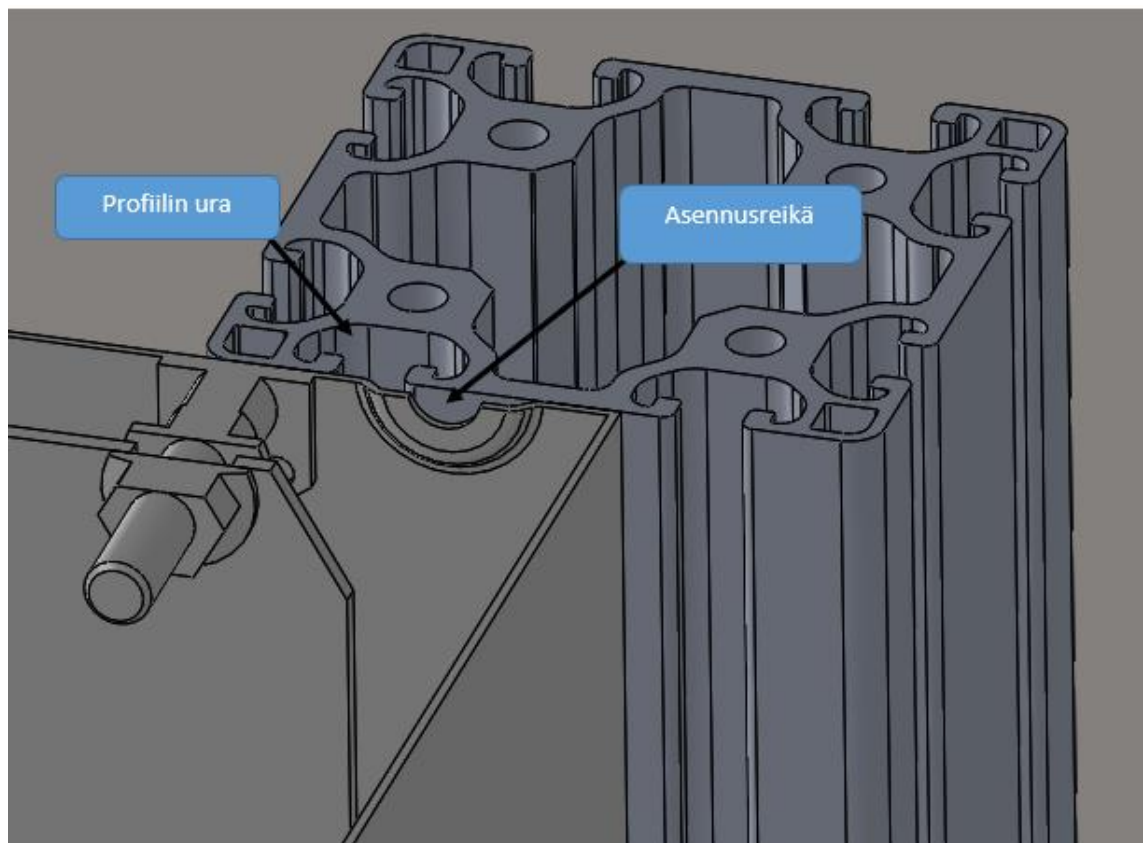
5.2.1 Koneen rakentaminen, ohjelmointi ja testaus

Osaluettelon avulla tilataan osto-osat sekä valmistettavat osat. Osat menivät tilaukseen ja niiden saapuessa aloitettiin koneen rakentaminen. Koneen rakennus toteutettiin kevään 2017 aikana, jonka lomassa suoritettiin koneen logiikan suunnittelu, ohjelmointi sekä ohjauskeskuksen valmistaminen. Kuvassa 39 on mekaniikkasuunnitelman pohjalta rakennettu kuparikiekon sorvaus- ja lujituslaite.



KUVA 39. Rakennettu sorvaus- ja lujituslaite (Kuva: Matti Metsähonkala 2017)

Koneen mekaniikan suunnittelu onnistui fyysisen kokoonpanon osalta yleisesti ottaen hyvin. Esimerkiksi koneen raskaat metalliset osat olivat suunnitelman mukaisia ja ne saatiin osaksi kokoonpanoa ilman niiden suurempaa muokkaamista, joita olivat esimerkiksi kierreiden puhdistaminen. Ainoa varsinainen kokoonpanon suunnitteluvirhe oli ohjauskeskuksen asennuspaikka koneeseen. Keskus oli tarkoitus asentaa alumiiniprofiileissa oleviin uriin, mutta profiilit oli suunniteltu noin 10 mm liian lähelle toisiaan (kuva 40). Asennusvaiheessa huomattua ongelmasta selvittiin tekemällä toisen pään profiiliin kierrereivät ja asentamalla ohjauskeskus niihin.



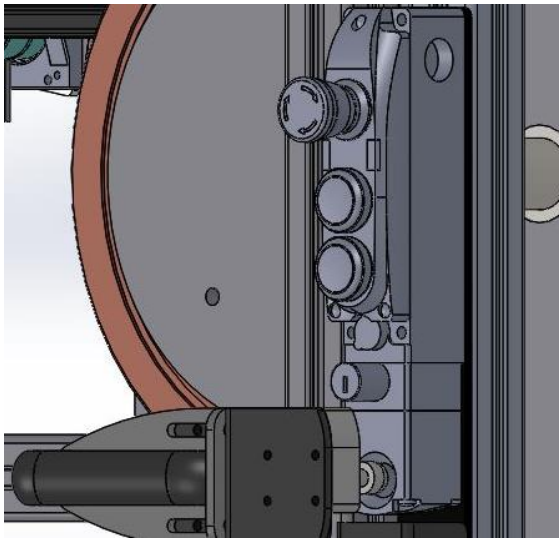
KUVA 40. Suunnitteluvirhe

Koneen mekaniikan, ohjauskeskuksen sekä kokoonpanon valmistuessa siihen voidaan asentaa logiikka. Tämä jälkeen konetta testataan ja tarvittaessa sen mekaniikkaa tai ohjelmaa parannellaan. Testausten ja hienosäädön jälkeen kone on valmis luovutettavaksi asiakkaalle.

5.2.2 Koneturvallisuuden toteutuminen

Koneeseen on suunniteltuna kiinteät suojukset, jotka täyttävät määritelvät: ne eivät pysy ilman kiinnittimiään ja ne kiinnitetään koneeseen ruuveilla, joita on mahdoton irrottaa ilman työkaluja. Myös koneen pohja on suojattu kokonaisuudessaan levyllä, joka näkyy liitteessä 3.

Kone on joka paikasta suojattu kiinteästi lukuun ottamatta luukkua, josta asennetaan kuparikiekko sekä lastulaatikko. Kyseinen luukun turvallisuus on varmistettu turvalukolla, joka pitää luukun kiinni koneen liikkuvien osien ollessa toiminnassa (kuva 41).



KUVA 41. Koneen luukkuun tuleva turvalukko

Ennen koneen luovuttamista asiakkaalle tulee koneessa muun muassa olla CE-merkintä, jolla todennetaan koneen täyttävän sitä koskevat direktiivit sekä niitä vastaavat kansalliset säädökset. CE-merkinnän tulee olla kiinteästi kiinnitettynä ja ilman sitä, konetta ei saa saattaa markkinoille ja ottaa käyttöön. (Kerttula & Siirilä 2007, 22.)

Konetta ei myöskään saa luovuttaa asiakkaalle, jos vaatimustenmukaisuusvakuutusta ei ole allekirjoitettu. Vaatimustenmukaisuusvakuutus tulee olla laadittuna samalla kielellä, kuin konetta varten tehdyt ohjeet. Kyseisellä vakuutuksella osoitetaan, että koneen suunnittelussa on noudatettu kaikkia konetta koskevia direktiivejä ja ne tulee mainita vakuutuksessa. Myös koneen suunnittelussa käytetyt standardit tulee luetteloida vakuutukseen. Direktiivien sekä standardien lisäksi vakuutuksessa tulee vähintään olla esitettyä valmistajan nimi ja paikkakunta, koneen kuvaus ja yksilöinti, luettelo direktiiveistä, jotka kone

täyttää sekä allekirjoittaneen vastuuhenkilön asema yrityksessä sekä nimenselvennys. (Kerttula & Siirilä 2007, 20.). Metecno CE-merkitsee koneen ja tekee siitä EY-vaatimusten mukaisuusvakuutuksen ennen, kuin se luovutetaan asiakkaalle.

5.2.3 Luovutus asiakkaalle

Kun kone on rakennettu, testattu ja todettu täyttävän vaatimukset, luovutetaan se asiakkaalle. Kyseisen koneen osalta sen käyttöönottoimenpiteet sekä koulutus suoritetaan Metecnon tiloissa, koska sorvi on yksinkertainen käyttää. Kone luovutetaan asiakkaalle myös Metecnon toimitiloissa, sillä se ei tarvitse varsinaista asennusta asiakkaan toimitiloihin. Koneen luovutus asiakkaalle suoritetaan alkukesästä 2017. (Metsähonkala 2017.)

6 YHTEENVETO

Työn tärkeimpänä tavoitteena oli saada aikaiseksi valmis mekaniikkasuunnitelma jäykärakenteisesta kuparikiekon sorvaus- ja lujituslaitteesta työpiirustusten sekä osaluettelon kera, joiden avulla olisi mahdollista tilata sekä valmistaa tarvittavat osat ja rakentaa toimiva kone. Keskeisiä tavoitteita olivat myös asiakkaan asettamat määritteet sekä koneturvallisuuden huomiointi sorvaus- ja lujituslaitteen mekaniikkasuunnittelussa.

Koneen mekaniikkasuunnittelu onnistui hyvin. Koneesta saatiin valmis kokoonpano osaluetteloineen sekä työpiirustuksineen, joiden pohjalta oli mahdollista tilata osat sekä valmistaa sorvaus- ja lujituslaite. Komponenttien mitoitus sekä vertailut tuottivat tulosta ja koneeseen saatiin valittua siihen sopivat komponentit. Myös valmistettavien osien suunnittelu sekä niiden toimivuuden todentaminen onnistui. FEM-laskentaohjelmalla keskeisimmille komponenteille saatiin hyvät alustavat venymäanalyysit, joiden pohjalta osat todettiin hyviksi sekä jäykiksi teoriassa. Myös koneturvallisuus huomioitiin mekaniikkasuunnittelussa. Esimerkiksi kone sai ympärilleen kiinteät suojukset, jotka täyttävät niitä koskevia määräyksiä.

Vaikka asiat näyttivät hyvältä kokoonpanossa tietokoneella, on mahdollista, että osa komponenteista, mittatoleransseista tai kokoonpanoratkaisusta voi tarvita vielä kehitetystä. Koneen kokoonpanomallinnukseen ei tarkoituksella lisätty kaikkia kiinnitystarpeita, esimerkiksi suojalevyjen ruuveja, jotka tulevat oikeaan kokoonpanoon. Kiinnitystarpeet kuitenkin huomioitiin suunniteltaessa konetta, esimerkiksi kierrereikien syvyyksiä sekä ruuvien kestävyyskäsitteitä pohtimalla. Tulee myös huomioida, että venymäanalyysit ovat suuntaa antavia sekä varmuuskertoimella tehtyjä. Tällöin ne eivät huomioi esimerkiksi kappaleessa olevien komponenttien tuomaa lisätukea tai lujitusvoiman jakautumista komponenttien kesken.

Koneen osat menivät tilaukseen mekaniikkasuunnitelman valmistuttua, kun se todettiin toimivaksi lopputulokseksi. Koneesta rakennettiin kevään 2017 aikana ensimmäinen versio. Sen rakennusvaiheessa ei esiintynyt suurempia ongelmia ja niistä selvittiin kevyillä muutostöillä. Aina on kuitenkin kehitettävää. Kehityksen avulla seuraavasta versiosta saataisiin hieman helpommin rakennettava, fyysisiltä mitoiltaan kompaktimpi sekä esteettisempi kokonaisuus.

LÄHTEET

Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2003. Valmistustekniikka. 10. painos. Helsinki: Hakapaino Oy

ABB. Tekninen opas nro 7. Sähkökäytön mitoitus. Luettu 16.1.2017. https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suosara, E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. 4. painos. Helsinki: Oy Edita Ab

Bonfiglioli. C-A-F-S series. Tuotekatalogi. Luettu 16.1.2017. http://www.bonfiglioli.com/media/products/attachments/BR_CAT_CAFS_STD_ENG_R01_0.pdf

Cemsa. Resistance welding. MRL F. Tuote-esittely. Luettu 30.3.2017. <http://www.cemsa.it/en/negozio/resistance-welding/mrl-f-2/>.

Esabin osaamiskeskus. Kiekkohitsaus. Esab. Luettu 24.3.2017. <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/kiekkohitsaus.cfm>

Esabin osaamiskeskus. Vastushitsaus. Esab. Luettu 29.3.2017. <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/vastushitsaus.cfm>

FAG. Integroidut kartiorullalaakerit. Teknistä tuotetietoa. 2008. Luettu 11.2.2017. http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_151_fi_fi.pdf.

Finder. Metecno Oy. Taloustiedot. Luettu 15.3.2017. <https://www.finder.fi/Automaatiota/Metecno+Oy+Matti+Mets%C3%A4honkala/Siuro/yhteystiedot/1886955>

Kennametal. Toolholders. Sorvin teräpitimen tuote-esittely. Luettu 9.3.2017. <https://www.kennametal.com/en/products/20478624/47535256/63745063/63745069/63840413/63840493/100004702.html?dv=1493977933934>

Kerttula, T. & Siirilä, T. 2007. Koneturvallisuuden perusteet. 1. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2008. Konetekniikan Materiaalioppi. 12. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Lehmusto, M. sovellusinsinööri. Laakerointi. Sähköpostiviesti. mikko.lehmusto@schaeffler.com. Luettu 10.2.2017.

Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. 5. painos. Porvoo: WS-Bookwell

Mekanex. Laskenta. Ruuvikäytön momentti. Luettu 20.1.2017. <http://www.mekanex.fi/berakningar/vridmoment-for-en-rorelseskruv/>

Metecno. Etusivu. Luettu 15.3.2017. <http://www.metecno.fi/>

Metecno. MeteCNC-työstökoneet. Luettu 15.3.2017. <http://www.metecno.fi/metecnc/>

Metsähonkala, M. toimitusjohtaja, Metecno Oy. 2016. Haastattelu 5.12.2016. Haastattelija Kilpi, R. Hämeenkyrö.

Metsähonkala, M. toimitusjohtaja, Metecno Oy. 2017. Haastattelu 13.4.2017. Haastattelija Kilpi, R. Hämeenkyrö.

Nord. Motors M7000. Tuotekatalogi. Luettu 17.1.2017. https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/M7000_IE1_IE2_IE3_EN_1717.pdf

Nord. Unicase tappivaihteet. Tuotetiedot. Luettu 18.1.2017. https://www.nord.com/cms/fi/product_catalogue/geared_motors/parallel_shaft_geared_motors/pgop_parallel_shaft_geared_motors~1_1541.jsp

Rollco. Ball screws. Tuotekatalogi. Luettu 28.12.2016. http://www.rollco.fi/fileadmin/user_upload/Rollco/Brochures/Ball_Screws.pdf

Rollco. Tuotteet. Kuularuuvi. Luettu 28.12.2016. <http://www.rollco.fi/tuotteet/kuularuuvi/>

Schaeffler. X-life INA-juoksurullat. Luettu 5.4.2017. http://www.schaeffler.fi/content.schaeffler.fi/fi/products_services/rotativ_products/track_rollers/track_rollers_2/track_rollers.jsp.

Suomen Standardoimisliitto SFS. 2010. SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 3. painos.

Tungaloy. Machining power. Laskentaohjelma. Luettu 12.1.2017. <http://mpwr.imc-companies.com/machiningpwr/machiningpower.wgx?vwinstance=36961afb8bce4158851bc14dd2fc8572&Home=tungaloy>

Tungaloy. Toolholders. Sorvin teräpidinkatalogi. Luettu 5.1.2017. <http://www.tyokalukeskus.fi/pdf/tac-turning-a-sorvauspitimet.pdf>

LIITTEET

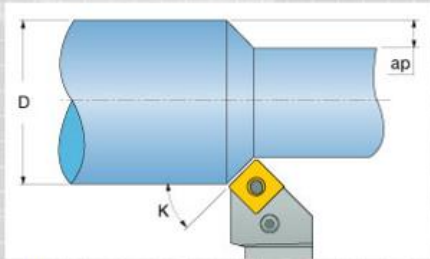
Liite 1. Sorvausvaiheen momentin määrittämisselmiä (Machining power 2017)

Turning

Insert Type: Straight edge

Data for Straight edge

workpiece diameter (D): 305 mm
 Feed per revolution (f): 0.1 mm
 Depth of cut (ap): 1 mm
 Spindle speed (n): 208.7 rpm
 Cutting velocity (Vc): 200 m/min
 Workpiece material: Copper alloy
 Effective rake angle (γ): 0 deg.
 Lead angle (κ): 90 deg.



Results

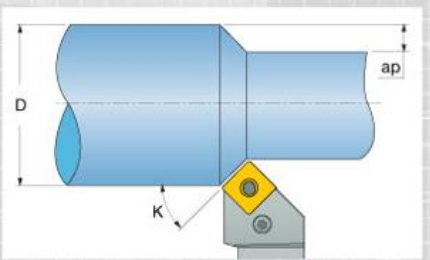
Kc:	1303 N/mm ²	185 KPsi
Net power demand:	0.43 KW	0.59 HP
Material removal rate:	19.93 cm ³ /min	1.22 in ³ /min
Tangential force:	130 N	29.23 lb
Mean torque :	19.8 Nm	175.2 inch*lb

Turning

Insert Type: Straight edge

Data for Straight edge

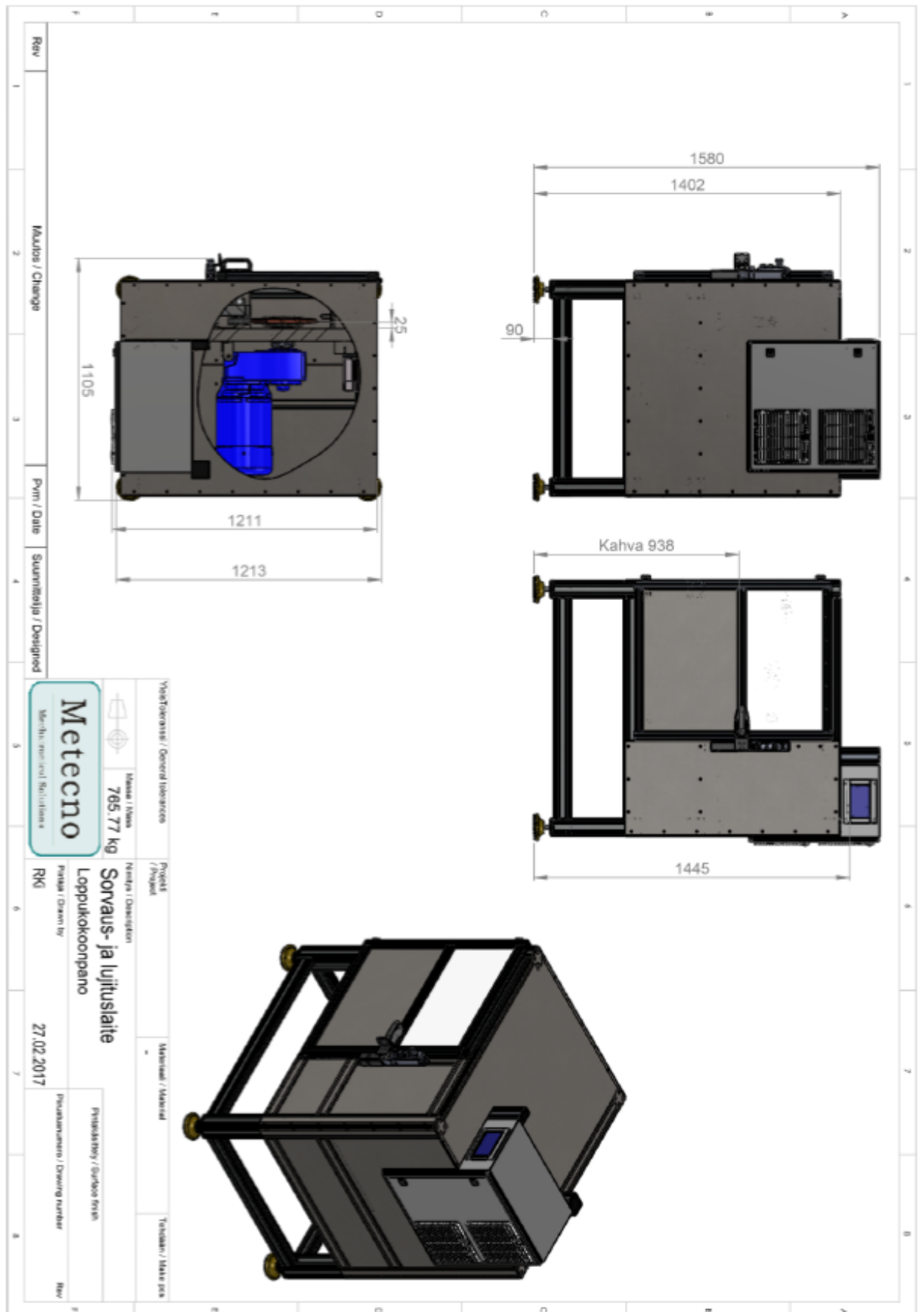
workpiece diameter (D): 305 mm
 Feed per revolution (f): 0.5 mm
 Depth of cut (ap): 1 mm
 Spindle speed (n): 208.7 rpm
 Cutting velocity (Vc): 200 m/min
 Workpiece material: Copper alloy
 Effective rake angle (γ): 0 deg.
 Lead angle (κ): 90 deg.



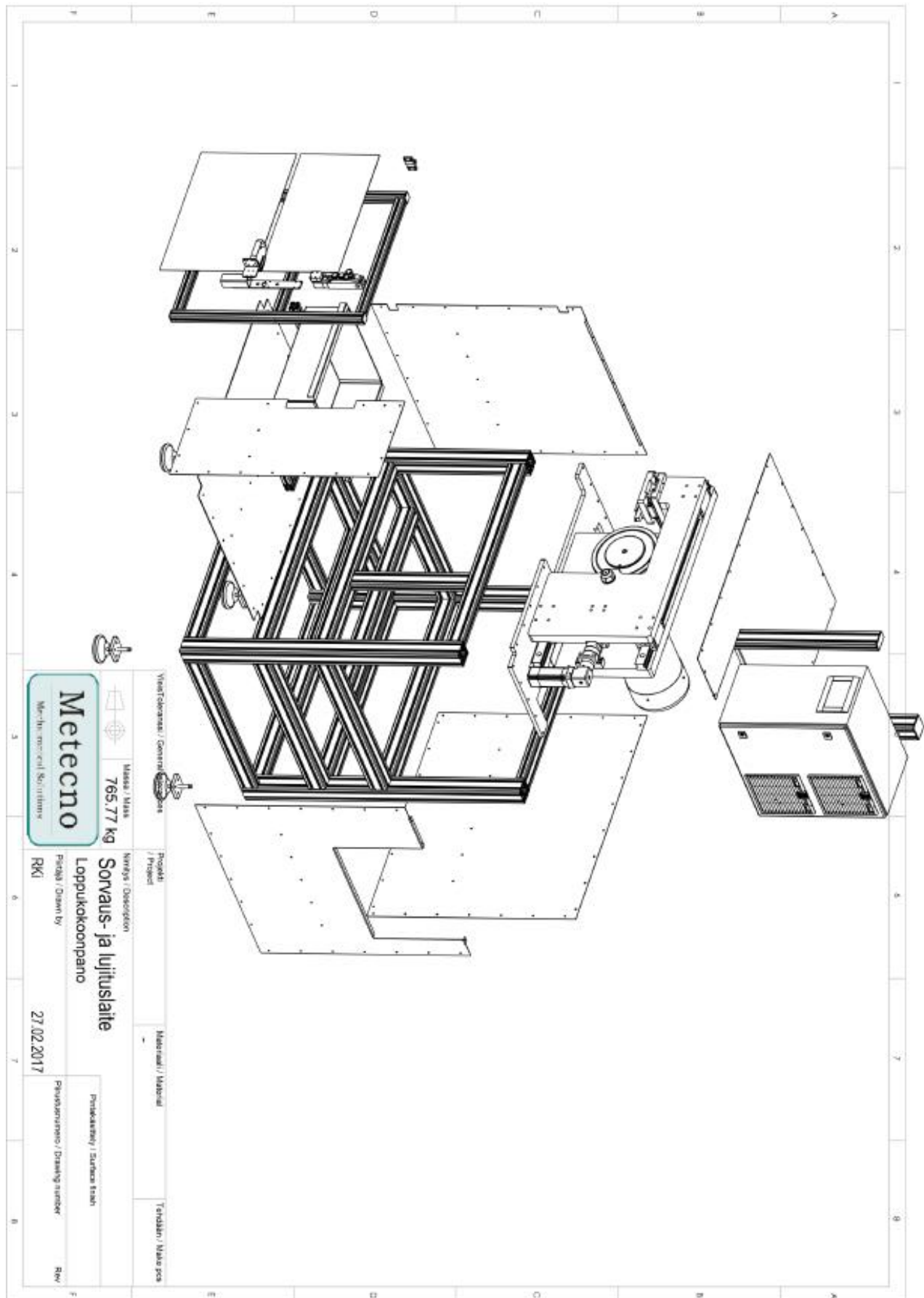
Results

Kc:	844 N/mm ²	120 KPsi
Net power demand:	1.4 KW	1.91 HP
Material removal rate:	99.67 cm ³ /min	6.08 in ³ /min
Tangential force:	422 N	94.87 lb
Mean torque :	64.2 Nm	568.2 inch*lb

Liite 2. Koneen päämittakuva



Liite 3. Koneen kokoonpanon räjäytyskuva



Liite 4. Koneen ytimen räjäytyskuva

