

SÄÄDETTÄVÄ HUOLTOPUKKI KANNATINRULLAN HUOLTOON

Lindholm Markku

Opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Markku Lindholm	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Ins. (AMK) Mika Majuri		
Toimeksiantaja	Tormets Oy		
Työn nimi	Säädettävä huoltopukki kannatinrullan huoltoon		
Sivumäärä	49 + 1		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella säädettävä huoltopukki kannatinrullien huoltoon Tormets Oy:lle. Tavoitteeksi oli asetettu uuden säädettävän huoltopukin suunnittelu ja sen valmistuspiirustuksien luominen.

Uudenmallisen huoltopukin funktiona oli parantaa työergonomiaa ja läpimenoaika sekä vähentää hukkaa tuotannossa kuten työntekijän ylimääräisiä työvaiheita esimerkiksi kiertäessä suuren huoltopukin ulokkeita ja parantaa hitsauksen laatua huoltopukin säädettävän kierrosnopeuden ansiosta. Huoltopukin tuli myös sopia toimeksiantajan määrittelemille, halkaisijaltaan eri mittaisille kannatinrullille.

Nykyisellään käytössä oleva huoltopukki on liian suuri ja sen säilytys vaatii suuren tilan. Huoltopukin rullat joiden päälle kannatinrulla asettuu eivät ole säädettävissä.

Suunnittelu aloitettiin esiselvityksellä. Tutustuttiin tiloihin, jossa vanha huoltopukki sijaitsi ja otettiin selvää millaisia mittoja ja ominaisuuksia toimeksiantaja uudelta huoltopukilta vaati. Suunnittelu toteutettiin Autodesk Inventor -suunnitteluohjelmalla.

Työn tulokseksi saatiin valmistuspiirustukset huoltopukin valmistusta varten. Tormets Oy tulee käyttämään työn tuloksia huoltopukin valmistamiseen.

Mechanical Engineering
Bachelor of engineering

Author	Markku Lindholm	Year	2023
Supervisor(s)	Mika Majuri, BEng		
Commissioned by	Tormets Oy		
Title	Adjustable Service Stand for Support Roller Maintenance		
Number of pages	49 + 1		

The purpose of this thesis was to design an adjustable service stand for the maintenance of support rollers for Tormets Oy. The goal was to design a new adjustable maintenance stand and create its manufacturing drawings.

The function of the new service stand was to improve work ergonomics, lead time, and to reduce waste in production, such as the employee's extra work steps, for example, when rotating the projections of a large service stand and to improve the quality of welding thanks to the adjustable rotation speed of the service stand. The service stand also had to be suitable for support rollers of different diameters specified by the client.

The service stand currently in use is too big and requires a lot of space to store. The rollers on which the support roller is placed are not adjustable.

The planning started with a preliminary survey. I got to know the premises where the old service stand was located and found out what dimensions and features the client required from the new service stand. The design was implemented with the Autodesk Inventor design program.

The results of the thesis were the production drawings for the production of the service stand. Tormets Oy will use the results of the work to manufacture the service stand.

Keywords

design, maintenance, occupational safety

SISÄLLYS

ALKUSANAT.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TORMETS OY.....	7
3 TEORIA.....	9
3.1 Standardit ja koneensuunnittelu.....	9
3.2 Työturvallisuus.....	11
3.3 Työergonomia.....	12
4 HUOLTOPUKIN SUUNNITTELU.....	14
4.1 Esisuunnittelu.....	14
4.2 Suunnittelu.....	17
4.3 Laskelmat (FEM).....	29
4.4 Valmistuspiirustukset.....	45
5 TULOKSET.....	46
6 POHDINTA.....	47
LÄHTEET.....	48
LIITTEET.....	49

ALKUSANAT

Haluan kiittää Tormets Oy:tä ja etenkin työnohjaajani teknologiajohtaja DI Joonas Mykkälää opinnäytetyön aiheesta, neuvoista ja yhteistyöstä opinnäytetyöprosessin aikana. Kiitän myös opinnäytetyöni ohjaajaa Mika Majuria avusta ja ohjauksesta opinnäytetyön eri vaiheissa.

Torniossa 16.5.2023

Markku Lindholm

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella huoltopukki kannatinrullien huolto varten Tormets Oy:lle. Huoltopukin funktiona on toimia alustana kannatinrullien päätyjen vaihdossa sekä parantaa kannatinrullien huoltamisen työergonomiaa, vähentää tuotannossa syntyvää hukkaa sekä laitteen säilytyksen vaatimaa tilaa. Huoltopukki koostuu pääasiassa jalustasta ja kahdesta rullasta, jossa rullien välinen etäisyys on säädettävä ja toinen rullista on vetävä, jotta huollettava kannatinrulla saadaan pyörimään sen päädyn hitsaamista varten.

Opinnäytetyössä keskityttiin vetävällä rullalla varustettuun huoltopukkiin, koska vapaasti pyörivä huoltopukki valmistetaan samoilla piirustuksilla, jossa pyörittävän rullan kokoonpano korvataan vapaasti pyörivän rullan kokoonpanolla.

Opinnäytetyöhön sisältyi huoltopukin esisuunnittelu, suunnittelu sekä 3D -mallintaminen ja valmistuspiirustusten luominen. Suunnittelussa otettiin huomioon suunniteltavan huoltopukin työergonomia ja työturvallisuus sekä suoritettiin laskenta huoltopukin rakenteen riittävälle lujuudelle, huoltopukin rakenteen stabiilisuudelle huoltopukin ollessa kuormitettuna ja ilman kuormaa, sekä kannatinrullan pysyminen huoltopukin tukirullien päällä kannatinrullaa työstettäessä, jotta rakenne olisi riittävän kestävä ja turvallinen.

Suunnittelu sekä valmistuspiirustukset piirrettiin ja laskelmat simuloitiin Autodesk Inventor -suunnitteluohjelmalla. Laskelmia varmistettiin käsin laskemalla käyttäen avuksi lujuusopin ja trigonometrian laskentamalleja.

2 TORMETS OY

Tormets Oy on Torniossa toimiva metallialan yritys, jonka toimitusjohtajana toimii Kari Rantamaa. Yrityksen palveluihin kuuluvat mm. teräs- ja levytyöt, koneistus, prosessi- ja kaasuputkistot, hydraulikka ja voitelujärjestelmät, teollisuuden huolto- ja kunnossapito sekä kuljettimet ja materiaalinkäsittelylaitteet. Tormets Oy palvelee asiantuntevasti kaikilla edellä mainituilla aloilla aina esiselvityksestä käyttöönottoon saakka. (Tormets 2022b.)

Tormets Oy:n perusti vuonna 1969 Yrjö Hiltunen nimellä Tornion Metallisorvaamo. Ensimmäiset vuosikymmenet yritys pyöri neljän hengen voimin. Vuonna 1990 tuli sukupolven vaihdos, kun Yrjö Hiltusen tytär Tarja Kurttio yhdessä miehensä Matti Kurttion kanssa ostivat yrityksen. Vuonna 1992 yritys koki uudistuksia ja yritykselle rakennettiin uudet toimitilat sekä hankittiin ensimmäinen CNC-ohjattu kone. Kone sai aluksi osakseen epäilyjä henkilökunnalta, mutta pian olivat kaikki vakuuttuneita koneen hyödyllisyydestä. Investointeja tehtiin kovaan tahtiin ja vuoden 1995 loppupuolella kuudes uusi kone otettiin käyttöön. Tormets halusi pysyä valmiina vastaamaan Outokummun Tornion terästehtaiden tarjoamiin haasteisiin. Outokumpu vastasi 1990-luvulla yli 90% Tormetsin liikevaihdosta. Toimitiloja laajennettiin myös kasvaneen liiketoiminnan johdosta. (Tormets 2022d.)

Vuonna 2002 Matti Kurttio kysyi Tormetsin nykyistä toimitusjohtajaa DI Kari Rantamaata yhtiön osakkaaksi. Kurttio tarvitsi apua yhtiön hallintoon investointi- ja laajentumistahdin ollessa vauhdikas. Rantamaa osti osakkuuden syyskuussa 2002 ja tuli mukaan yrityksen kehittämiseen ja operatiiviseen toimintaan. Tormets laajensi toimintaansa aiemman konepajatoiminnan lisäksi myös kunnossapito-palveluihin. Yrityksen vahva ammattitaito koneistuksessa tuki huoltopalveluja erinomaisesti, mikä puolestaan toi kilpailuetua. Tormetsin naapurissa toimiva Lapmet Oy ja Lapmet Montage tulivat myyntiin vuonna 2007. Tormets teki nopean päätöksen yrityksen ostosta ja se toi Tormetsin toimintaan mukaan uusia asiakkaita, tuotteita ja palveluita. Yrityskaupan myötä Tormetsin henkilöstömäärä tuplaantui. (Tormets 2022d.)

Lapmetin oston myötä toimintaan tuli mukaan levy- ja hitsauspalvelutyöt, joiden johdosta alettiin valmistaa materiaalinkäsittelylaitteita projektiliiketoimintana. Vuonna 2011 Tormets teki historiansa suurimman kaupan, kun yritys myi Outokummun F3 projektiin kuljetinjärjestelmän. Sen arvo oli siihen aikaan kaksinkertainen Tormetsin vuotuisen liikevaihtoon nähden. Kaksi ja puoli vuotta kestänyt projekti vei Tormetsin kapasiteetista puolet. (Tormets 2022d.)

Vuonna 2018 Tormetsin liikevaihto oli 14,1 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä oli 75 henkilöä (Tormets 2022a). Vuonna 2022 yrityksen omistus pohja muuttui, kun nykyinen toimitusjohtaja Kari Rantamaa osti Tormets Oy:n koko osakekannan.

Tormets Oy (kuvio 1) on tehnyt lukuisia isoja projekteja monille toimijoille kuten Outokumpu Stainless Oy, Maertz Ofenbau AG/SMA mineral Röyttä, Wärtsilä Manga LNG-terminaali, Stora Enson ja Metsäfibren sellutehtaille (Tormets 2022c.)



Kuvio 1. Tormets pääkonttori (Tormets 2022b).

3 TEORIA

Tässä luvussa käydään läpi standardeihin ja koneensuunnitteluun liittyvää tietopohjaa sekä työturvallisuuden ja työergonomian perusteita sekä miten niitä on sovellettu opinnäytetyössä.

3.1 Standardit ja koneensuunnittelu

Koneenrakentajien ja -suunnittelijoiden toimintaa helpottamaan on olemassa lukuisia standardeja, joiden mukaan koneensuunnittelua voidaan suorittaa yhteneväisillä menettelytavoilla ja aikaan saadaan yhteneväisiä tuotteita, jolla on suuri merkitys nykyaikaisessa globaalissa taloudessa (METSTA 2020).

Nykyään on saatavilla tuhansia standardeja, joista käyttäjällä voi olla vaikeuksia valita oikeaa tai sopivaa standardia omiin tarpeisiinsa. Tätä valinnanvaikeutta helpottaa Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n verkkokauppa SFS-Online, jossa standardeja voi hakea esimerkiksi hakusanojen avulla. Näin saadaan rajattua haun tuloksia vaikkakin hakutulos saattaa olla siltikin hyvin laaja, koska yksittäiseen tekniikan alaan voi liittyä useita standardeja. (METSTA 2020.)

Kaikilta laitteilta sekä koneilta odotetaan tiettyä käyttöikää, joka vaihtelee olennaisesti koneen tai laitteen käyttötarkoituksen mukaan. Koneen elinkaaren aikana voi kuitenkin tapahtua asioita, jotka haittaavat laitteen toimintaa tai tekevät siitä mahdotonta. Rakenteeseen tapahtuneita muutoksia sanotaan vaurioiksi tai vaurioitumiseksi. Ne eivät tarkoita ainoastaan koneen tai laitteen rakennetta murtaavaa vauriota vaan myös sellaisia muutoksia mitkä haittaavat, vaikeuttavat tai estävät laitteen tavanomaista käyttöä. Tällaisiin tapauksiin vaikuttavat käyttöolosuhteet eivät aina ole ennalta ehkäistävissä tai havaittavissa. On myös tapauksia, joissa käyttöolosuhteet sekä –tilanteet olisi voitu selvittää ennakkoon, ja jos näin ei ole tehty voidaan puhua suunnitteluvirheestä. Suunnittelun yksi ensisijaisimpia ja vaikeimpia asioita on ennustaa koneen tai laitteen käyttäytyminen ennen kuin sitä on rakennettu. (Airila ym. 1995, 9.)

Usein suunnitteluun sisältyy jonkinasteinen matemaattisten laskentamallien käyttäminen, jotka voivat olla esimerkiksi lujuusoppiin, mekaniikkaan, termodynamiikkaan, virtausmekaniikkaan liittyviä. (Airila ym. 1995, 9.)

Lujuusopilla ennakoidaan suunnitellun laitteen tai koneen rakenteen mekaanista käyttäytymistä kuormitustilanteen vaikutuksen alaisena, ja sitä sovelletaan myös tässä opinnäytetyössä, jotta välttyttäisiin suunnitteluvirheiltä. Lujuusopilla laskettaessa keskeinen käsite on, että laskelmat tehdään rakennetta kuvaaviin abstraktisiin malleihin eli luonnoksiin, ei laitteen todelliseen rakenteeseen. Lujuusopillisilla laskelmilla pyritään selvittämään laitteen rakenteen käyttäytymistä eri tilanteissa. (Airila ym. 1995, 9.)

Tässä opinnäytetyössä käytetään laskennan lisäksi myös Autodesk Inventor -suunnitteluohjelmassa toteutettavaa simulointia, jota osin myös todistetaan käsin laskemalla oikeaksi.

Opinnäytetyössä suunniteltava huoltopukki tulee CE-merkitä ennen sen käyttöönottoa mikä tarkoittaa sitä, että tiettyjen vaatimusten tulee täytyä, kuten riskien arvioinnin ja koneen olennaisten turvallisuus- ja terveystvaatimusten. Kone tulee suunnitella ja rakentaa vaatimustenmukaisesti, siitä on laadittava tekninen tiedosto ja käyttöohjeet sekä suoritettava vaatimustenmukaisuus arviointimenetely ja vaatimuksenmukaisuusvakuutus. Koneen valmistaja voi käyttää apunaan yhdenmukaistettuja standardeja, jotta edellä mainitut vaatimukset täytyisivät. Mikäli standardeista on poikettu, täytyy pystyä osoittamaan, että turvallisuustaso on saavutettu jollain vaihtoehtoisella menetelmällä vastaamaan standardia. (Tukes 2020.)

Opinnäytetyön suunnitteluun sovelletaan standardia SFS-EN ISO 12100 Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. SFS-EN ISO 12100 on A-tyyppin standardi mikä tarkoittaa sitä, että standardi on kaikille koneille sovellettavissa oleva turvallisuuden perusstandardi. Kyseinen standardi määrittää myös peruskäsitteitä, perusperiaatteita ja menetelmiä koneen turvallistamiseksi konetta suunnitellessa. Kyseinen standardi myös määrittää riskien arvioimisen ja riskien pienentämisen perusperiaatteet, jotta turvallinen päämäärä saavutetaan. Edellä mainitut asiat perustuvat tietoon ja kokemuksiin, jotka on saavutettu koneiden suunnittelemisesta, käyttämisestä, poikkeavista tapahtumista, tapaturmista sekä riskeistä. (SFS-EN ISO 12100, 5, 6.)

3.2 Työturvallisuus

Suomessa on voimassa työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. Lain tarkoitus on tehdä paremmaksi työntekijöiden työympäristöä, työolosuhteita, turvata työkykyä sekä torjua ja ennalta ehkäistä työtapaturmia. Lakia sovelletaan työehtosopimuksen mukaisesti tehtävään virkasuhteeseen tai työhön. (Työturvallisuuslaki 2002/738 § 1.)

Kyseinen laki tulee kyseeseen myös työn aiheena olevaa kannatinrullan huoltoon valmistettavaa huoltopukkia suunniteltaessa, koska työnantajalla on yleinen huolehtimisvelvoite työntekijästä esimerkiksi työturvallisuuslain 23.8.2002/738 8§:n mukaan työnantajan tulee suunnitella, valita, mitoittaa ja toteuttaa työolosuhteita parantavat toimenpiteet. Työturvallisuuslain 23.8.2002/738 12§:n mukaan työympäristön koneiden ja laitteiden suunnittelussa on otettava huomioon koneiden vaikutukset työntekijään, työntekijän turvallisuuteen ja -terveyteen. (Työturvallisuuslaki 2002/738 § 2:8.1 § 2:12.)

Riskienarviointi on osa työturvallisuutta sekä yksi edellytyksistä koneen CE-merkintää varten. Riskienarviointi tulee suorittaa laitetta suunniteltaessa, jossa apuna käytetään edellisessä luvussa mainittua SFS-EN ISO 12100 standardia. Kyseisessä standardissa määritetään riskien arvioinnin periaatteet. (SFS-EN ISO 12100, 17, 18.)

Arviointiin kuuluu raja-arvojen määrittäminen, missä huomioidaan laitteen elinkaaren aikaiset suoritusarvot ja ominaisuudet sekä tunnistetaan niihin liittyvät ihmiset, ympäristöt ja tuotteet. Käyttörajoissa huomioidaan koneen tarkoituksenmukainen käyttö ja kohtuudella ennakoitava väärinkäyttö, johon sisältyy mm. koneen toimin toimintatavat, koneen käyttäjien fyysiset erilaisuudet kuten kätisyys, ikä ja koneen käyttäjien koulutustaso, kokemus ja kyky käyttää konetta. Tilarajoissa huomioon otettavia asioita ovat koneen liikkeiden laajuus ja konetta käyttävien henkilöiden tilan tarve. Aikarajoissa huomioon on otettava koneen elinikä ja sen suositellut huoltovälit. Muita raja-arvoja voivat olla koneella käsiteltävän materiaalin ominaisuudet, puhtaustaso ja ympäristön aiheuttamat vaikutukset kuten lämpötila, kosteus ja pöly. (SFS-EN ISO 12100, 18, 19.)

Tässä opinnäytetyössä suunniteltavan huoltopukin käyttäjät ovat koulutettua kunnossapitohenkilöstöä, jolla on hyvä tietämys erityisvaaroista sekä koneen käyttö-tarkoituksesta. Huoltopukin käyttöympäristöön varattu tila, jossa kannatinrullien huolto tapahtuu, saadaan maksimoitua suunniteltavan huoltopukin rakenteen ollessa mahdollisimman kompakti, joka on toimeksiantajan yksi lähtötiedoista.

Huoltopukin suurimmat riskitekijät ovat sormien litistyminen kannatinrullan ja huoltopukin rullien väliin, sekä sormien tai vaatteiden takertuminen ketjuvälitykseen, joka pyörittää huoltopukin vetävää rullaa. Nämä ehkäistään ketjuvälityksen päälle suunniteltavalla suojalla sekä varoituskylteillä, jossa osoitetaan litistymisvaara ja ilmaistaan, että laitteessa on pyöriviä osia sekä laitetta operoiville henkilöille järjestetään erillinen perehdytys uuden huoltopukin käyttöön liittyen.

3.3 Työergonomia

Työergonomia tarkoittaa työn ja toimintaympäristöön liittyvää ennakoitua suunnittelemista, sekä kehittämistä. Tavoitteena on hyvä työkäytäntö ja työympäristö, sekä prosessin sujuvoittaminen ja käyttäjäystävälliset välineet. (Työterveyslaitos 2022.)

Työergonomia on osa koneturvallisuutta ja sillä pyritään välttämään muun muassa asentoja ja liikkeitä, jotka ovat kuormittavia konetta käytettäessä. Pyritään välttämään myös melun, lämpövaikutuksen ja lämmön aiheuttamaa haittaa. (ISO/TR 22100-3.)

Tässä opinnäytetyössä suunniteltavassa huoltopukissa ei ole merkittävää haittaa sen aiheuttamasta metelistä eikä lämpötilasta. Suurin yksittäinen vaikuttaja huoltopukin suunnittelussa on ergonomisen työasennon luominen kannatinrullien päätyjen hitsausta suoritettaessa. Työskentelykorkeus tullaan suunnittelemaan siten, että työasento ei ole kuormittava ja käsivarret olisivat luontevassa asennossa kannatinrullan laakeripesää hitsattaessa korkeuden ollessa standardin mukaisesti 95-125cm (ISO/TR 22100-3).

Opinnäytetyössä suunniteltavasta huoltopukista suunnitellaan mahdollisimman kompakti, jotta sen viemä lattia pinta-ala olisi mahdollisimman vähäinen, mikä tarkoittaa työntekijän kannalta mahdollisimman esteetöntä kulkua huoltopukin

vieressä. Tämä vaikuttaa tuotannossa syntyvän hukkaan, jota voisimme kuvailla sanoilla "vähemmän askelia enemmän tuotantoa". Hukka koostuu mm. ylimääräisistä liikkeistä, päädyn hitsaussauman katkeamisesta ja vaikeista työasenoista joita epäergonominen työasento aiheuttaa.

Huoltopukin päällä pyörivän kannatinrullan pyörintänopeus on säädettävä, jotta saadaan otettua huomioon hitsausnopeus kannatinrullien halkaisijan muuttuessa. Lisäksi säädettävä pyörintänopeus huomioi työntekijöiden yksilöllisiä ominaisuuksia hitsaustaidoissa, jotta saadaan aikaan katkeamaton sauma päädyn hitsausta suoritettaessa, joka lisää työergonomiaa parantamalla työn suorituksen jouhevuutta ja sujuvuutta. Säädettävä pyörintänopeus vaikuttaa työn läpimenoaikaan vähentämällä hukkaa.

4 HUOLTOPUKIN SUUNNITTELU

4.1 Esisuunnittelu

Suunnittelutyö aloitettiin tutustumalla toimeksiantajan kanssa vanhaan huoltopukkiin (kuvio 2) ja tilaan, jossa se sijaitti. Huoltopukista olemassa oleva versio vie suuren tilan, ei ole säädettävissä erikokoisille kannatinrullille ja on myös melko hankalasti siirrettävä. Uuden säädettävän huoltopukin tulee olla mahdollisimman kompakti, jotta työntekijän ei tarvitse tehdä ylimääräisiä askeleita laitteen ulokkeita kiertäessä. Laitteen säilytys ei saa viedä isoa tilaa silloin kun se ei ole käytössä. Säädettävällä ominaisuudellaan se kävisi useamman eri osaston käytettäväksi, koska sen päälle voi nostaa halkaisijaltaan eri mittaisia rullia. Toimeksiantajan lähtötiedoissa sanotaan, että huoltopukin tulee sopia halkaisijaltaan 50-300 millimetriä oleville rullille.



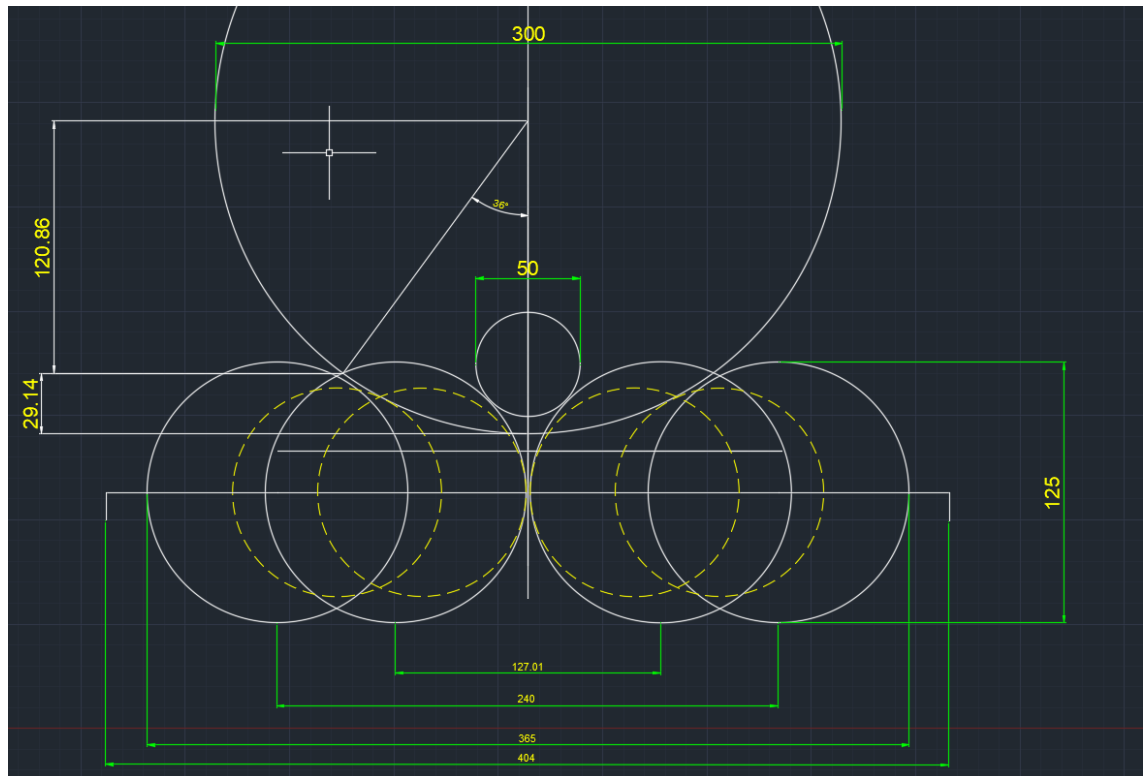
Kuvio 2. Vanhan kannatinrullan huoltopukin vapaasti pyörivä osa

Esisuunnitteluun sisältyi muutaman yksinkertaisen luonnoksen piirtäminen käsin paperille ja niistä yhdessä toimeksiantajan kanssa päätettiin paras versio, josta varsinaisen huoltopukin suunnittelu aloitettiin. Yhtenä vaihtoehtona oli saksityyppisesti säädettävä huoltopukki (kuvio 3), mutta sen rakenteen korkeus kasvaa rullia lähemmäksi toisiaan säädettäessä ja koska huoltopukin työskentelykorkeus haluttiin pitää vakiona, se hylättiin. Parhaaksi versioksi päätettiin johteita pitkin kulkevat korvakot, joita säädetään kuularuuveilla. Näin rakenteesta saatiin kapea ja matala, työskentelykorkeus pysyi samana ja lähtötiedoissa oleva vaatimus laitteen kompaktiudesta täyttyi.



Kuvio 3. Saksi tyyppisesti nouseva huoltopukki (tukirullat eivät ole paikoillaan)

Ensimmäisenä vaiheena toteutettiin huoltopukin rullien koon määrittäminen piirtämällä luonnos AutoCAD-suunnitteluohjelmalla (kuvio 4).



Kuvio 4. AutoCAD-luonnos rullien halkaisijasta

Seuraavaksi mitoitetaan tukirullalle kohdistuva voima F_t . Kosketuskulmaksi määriteltiin kulma α $35,79^\circ$, joka on huoltopukin keskilinjan, kannatinrullan sekä tukirullan lävistävän vektorin välinen kulma, koska silloin varmistetaan se, että kannatinrulla pysyy tukirullien välissä. Kannatinrullan maksimimassa yhdelle pukille on 1000 kg.

Tukirullalle kohdistuva voima F_t laskettiin kaavalla

$$F_t = \frac{N_m}{\cos\alpha} \quad (1)$$

missä

N_m on kannatinrullan massasta aiheutuva voima

α on kosketuskulma

Saadaan tukirullaan kohdistuvan voiman F_t tulokseksi 6046 N.

Tukirulliksi valikoitui pienin mahdollinen lasketun kuormituksen kestävä rulla Blickle VSVU 127/20H7, joiden halkaisija on 125 mm ja dynaaminen kuormankesto on 700 kg eli 6867 N. Voidaan todeta, että ne kestävät voiman F_t joka on 6064 N.

Voima F_b ,joka pudottaa kannatinrullan huoltopukin päältä laskettiin kaavalla

$$F_b = \tan\alpha * N_m \quad (2)$$

missä

N_m on kannatinrullan massasta aiheutuva voima

$\tan\alpha$ on kosketuskulma α 35,79°

Kannatinrullan pudottavaksi voimaksi F_b saadaan 3536 N, jolloin voidaan todeta rakenteen olevan stabiili.

Luonnokseen piirrettiin huoltopukin tukirullien liikeradat käyttäen halkaisijaltaan 125 mm olevaa Blicken pyörää. Luonnos myös havainnollistaa huoltopukin rungon leveyttä rullien ollessa ääriasennossa.

4.2 Suunnittelu

Lujuusopissa varmuudella tarkoitetaan suunnitteluprosessissa suoritettavaa tiettyä analyysivaihetta, jolla vältytään vakavilta vaurioilta rakenteissa. Tämä estää alimitoitusta ja mahdollista rakenteen väsymisvaurioita. Mikäli tarvittavat tiedot vaurion välttämiseksi olisivat olleet jossain saatavilla, voidaan puhua suunnitteluvirheestä (Airila ym. 1995, 10, 11.)

Tämän vuoksi opinnäytetyön suunnittelussa käytettiin varmuuskertoimena vähintään 1,5.

Laitteen käyttömoottorin määrittely aloitettiin laskemalla kannatinrullan kehänopeus toimeksiantajan määrittelemän hitsausnopeuteen perustuen. Hitsausnopeus on 100-300 mm/min. Määritellään tilanne, jossa saavutetaan maksimipyörintänopeus huoltopukin rullalle. Tilanne jossa huoltopukin päällä olevan kannatinrullan halkaisija on 300 mm ja hitsattavan kaulan halkaisija on 50 mm.

Kannatinrullan kierrosnopeus n hitsaus kohdan halkaisijan ollessa 50 mm, jonka säde voidaan laskea olevan 25 mm, laskettiin kaavalla

$$n = \frac{v}{2\pi r} \quad (3)$$

missä

v on kehänopeus

r on hitsauskohdan säde

Saadaan kannatinrullan kierrosnopeudeksi $1,91 \frac{1}{min}$

Halkaisijaltaan 300 mm olevan kannatinrullan, jonka säde on 150 mm, tukipinnan kehänopeus v_k laskettiin kaavalla

$$v_k = 2\pi n r_k \quad (4)$$

missä

n on kannatinrullan kierrosnopeus

r_k on kannatinrullan säde

Saadaan kannatinrullan kehänopeudeksi $1800 \frac{mm}{min}$

Selvitetään kierrosnopeus n_b huoltopukin vetävälle tukirullalle jonka päällä kannatinrulla pyörii. Kannatinrullan kehänopeus on $1800 \frac{mm}{min}$. Kierrosnopeus laskettiin kaavalla

$$n_b = \frac{v_k}{2\pi r_b} \quad (5)$$

missä

r_b on vetävän tukirullan säde

v_k on kannatinrullan tukipinnan kehänopeus

Saadaan tukirullan kierrosnopeudeksi $4,6 \frac{1}{min}$

Käytön mitoittamiseksi tuli myös laskea huoltopukille asetettavan maksimikokoisen kannatinrullan hitausmomentti. Lieriömäisten kappaleiden hitausmomentti laskettiin kaavalla

$$J = \frac{1}{2} m r^2 \quad (6)$$

missä

m on kannatinrullan massa

r on kannatinrullan säde

Laskussa käytetään halkaisijaltaan 300 mm ja 2000 kg painavaa kannatinrullaa. Hitausmomentiksi tulee $22,5 \text{ kgm}^2$.

Kulmanopeus ω , jota tarvitaan maksimikiihdytysmomentin selvittämiseen. Kannatinrullan kierros nopeus on $1,91 \frac{1}{\text{min}}$. Kulmanopeus laskettiin kaavalla

$$\omega = 2\pi n \quad (7)$$

missä

n on kannatinrullan kierrosnopeus

Saadaan tulokseksi $0,2 \text{ rad/s}$.

Kannatinrullan huoltopukin käyttömoottori tulee olemaan taajuusmuuttaja käyttöinen, mutta sen määrittäminen on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Oletetaan, että taajuusmuuttajan kiihdytysramppi on pituudeltaan $0,5$ sekuntia ja selvitetään kannatinrullan maksimi kulmakiihtyvyys α .

Kulmakiihtyvyys laskettiin kaavalla

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (8)$$

missä

$\Delta\omega$ on nopeuden muutos

Δt on ajan muutos

Kulmakiihtyvyydeksi saadaan $0,4 \text{ rad/s}^2$

Maksimivääntömomentti laskettiin kaavalla

$$M = J\alpha \quad (9)$$

missä

J on kannatinrullan hitausmomentti

α on kannatinrullan kulmakiihtyvyys

Momentti joka tarvitaan kannatinrullan pyörykseen on 9 Nm.

Lasketaan kannatinrullan pyörykseen tarvittava keskimääräinen teho P kaavalla

$$P = \frac{W}{t} \quad (10)$$

missä

W on työ, eli kannatinrullan pyörykseen tarvittava vääntömomentti

t on taajuusmuuttajan kiihdytysramppi

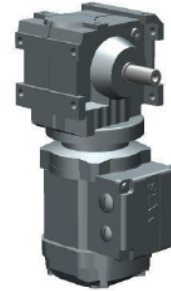
Saadaan tulokseksi 18 W eli 0,018 kW.

Käytön varmuuskertoimen ollessa vähintään kaksi, vaihdemoottoriksi valikoitui SEW kierukkavaihdemoottori S37DRN63MS4, jonka toisioakselin kierrosnopeus on $8,8 \frac{1}{min}$ (kuvio 5).

S37DRN63MS4
Kierukkavaihdemoottorit S...DRN.. (IE3)

Tuotetiedot

Moottorin nimellisa nopeus	[1/min]: 1380
Toisiopyörimisa nopeus	[1/min]: 8,8
Kokonaisvälytyssuhde	: 157,43
Toisiomomentti	[Nm]: 74
Käyttökerroin SEW-FB	: 1,25
Asennusasento	: M2A
Pohja- ja pintamaalaus	: 7031 Blue gray (51370310)
Pistokkeen/kytkentäkotelon asento	[°]: 0
Kaapelin sisäänvienti / pistokkeen asento	: X
Toisioakseli	[mm]: 20x40
Mallin tyyppi	: Jalkarakenne
Sallittu toisiopoikittaisvoima kun n=1400	[N]: 3000
Voiteluainemäärä 1. vaihde	[Litraa]: 0,4
Moottoriteho	[kW]: 0,12
Päällekytkentäkesto	: S1-100%
Hyötysuhdeluokka	: IE3
Hyötysuhde (50/75/100 % Pn)	[%]: 58,25 / 63,9 / 64,8
CE-merkintä	: Kyllä
Moottorin jännite	[V]: 230/400
Kytkenäkaavio	: R13
Taajuus	[Hz]: 50
Nimellisvirta	[A]: 0,7 / 0,41
Cos Phi	: 0,64
Eristysluokka	: 155(F)
Moottorin koteloitiluokka	: IP55
Rakennemääräys	: Eurooppa (CE)
Massahitausemomentit (viitaten ensipuoleen)	[10 ⁻⁴ kgm ²]: 3,00
Paino	[kg]: 12,00



Lisämallit

Toisioakseli: 20x40 mm
Eristysluokka 155(F)
Koteloitiluokka IP 55

Kuvio 5. Vaihdemoottorin tuotetiedot

Hitsausnopeus on $100-300 \frac{mm}{min}$, joten maksimi kierrosnopeus tulee aiemmin lasketussa tilanteessa, jossa 300mm halkaisijaltaan olevaa kannatinrullaa pyöritetään tukirullilla ja siihen hitsataan 50mm halkaisijaltaan olevaa päätyä jossa huoltopukin vetävän tukirullan kierrosnopeudeksi n_2 saatiin $4,6 \frac{1}{min}$. Vaihde-moottorin toisioakselin kierrosnopeus n_1 on $8,8 \frac{1}{min}$. Tämän perusteella laske-taan käytön ja tukirullan välinen välytyssuhde laskettiin kaavalla

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (11)$$

missä

n_1 on ensioakselin pyörintänopeus

n_2 on toisioakselin pyörintänopeus

Näin ollen välityssuhteeksi saadaan 1,913, jonka perusteella suunnitellaan välitys vaihdemoottorin ja tukirullan välille.

Huoltopukin suunnittelussa on otettava huomioon hitsausprosessista muodostuva lämpökuormitus ja kipinäinti. Välityksen tulee kestää lämpökuormitus, jonka vuoksi siihen valittiin ketjuvälitys.

Mitoitetaan ketjuvälityksen laskennallinen teho P_{lask} joka laskettiin kaavalla

$$P_{lask} = P_{nim} * k_k * k_z \quad (12)$$

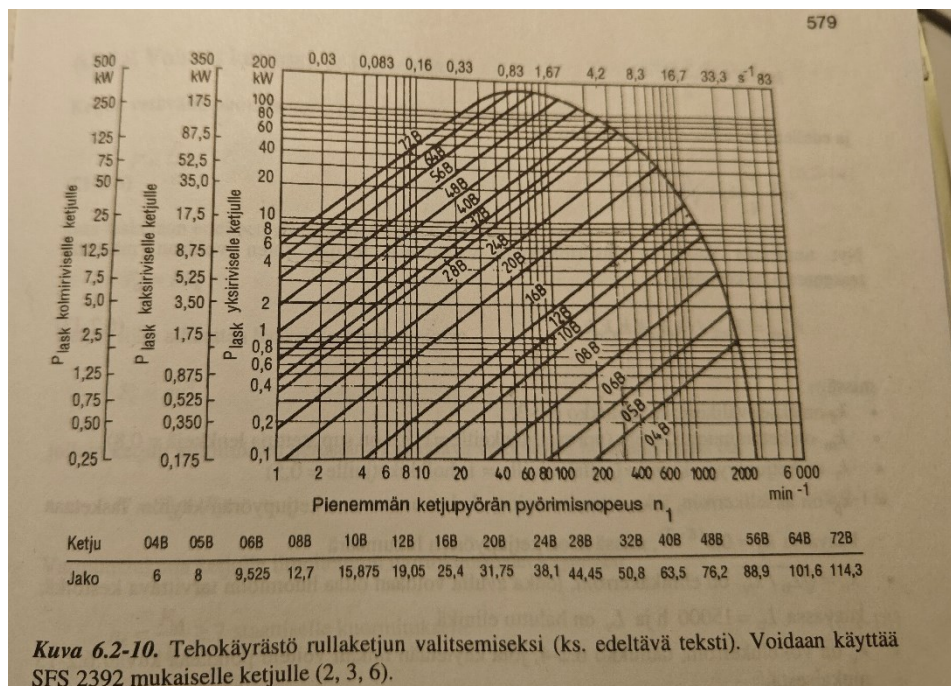
missä

P_{nim} on kannatinrullan pyörytykseen tarvittava keskimääräinen teho

k_k on käyttökerroin tasaiselle kuormitukselle

k_z on hammaslukukerroin ($k_z = \left(\frac{19}{11}\right)^{1,085}$)

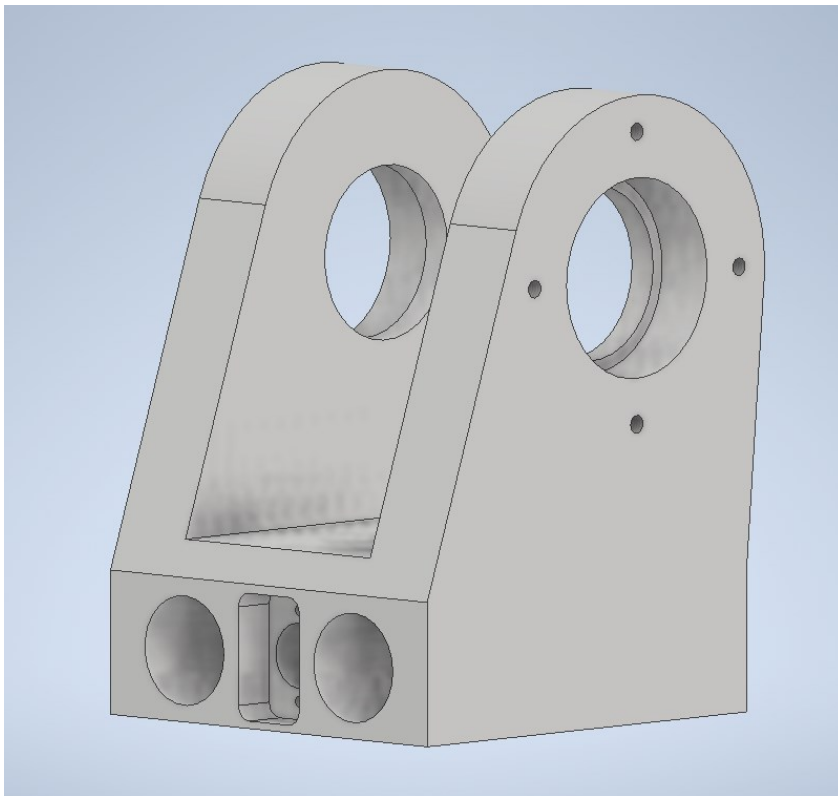
Ketjuvälityksen laskennalliseksi tehoksi saadaan 32,6 W. Tämän ja pienemmän ketjupyörän kierrosnopeuden avulla saadaan koneen osien suunnittelu kirjan sivulla 579 esiintyvän taulukon (kuvio 6) mukaan ketjuksi yksirivinen 10-B. (Airila ym. 1995, 579.)



Kuvio 6. Tehokäyrästä rullaketjun valitsemiseksi

Tämän ketjun elinikä taulukon mukaan on 15 000 tuntia. Huoltopukki ei ole ympärivuorokautisessa käytössä, joten ketjuksi valittiin 08-B, koska sen avulla huoltopukista saadaan mahdollisimman kompakti. Ketjun elinikä lyhenee tämän muutoksen vuoksi, mutta huoltopukin kompakti koko on priorisoitu ketjun eliniän edelle toimeksiannon mukaan. Vaihdemoottorin teho on 120 W, joka riittää huoltopukin käytöksi tehon puolesta.

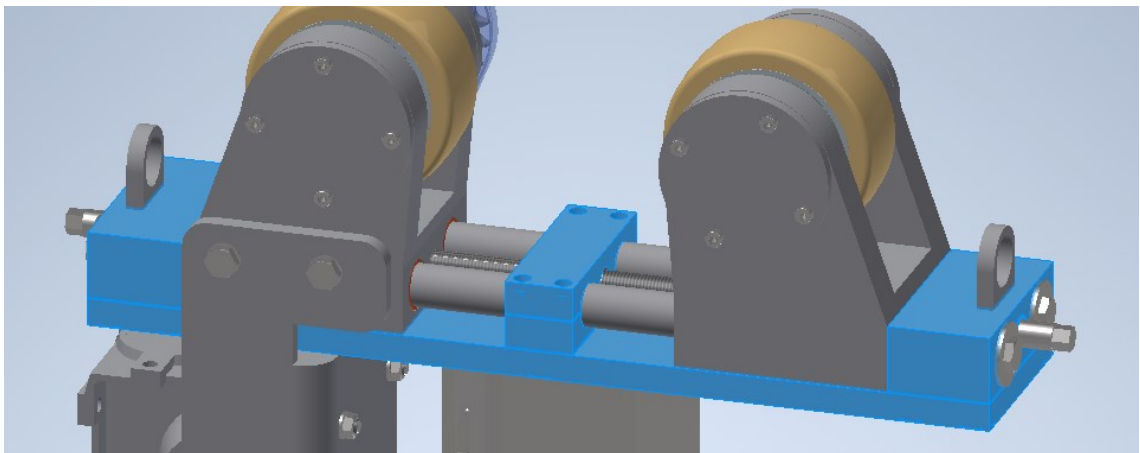
Huoltopukin suunnittelua jatkettiin korvakoiden ja niiden alle tulevan alustan suunnittelulla. Korvakot rullineen asennetaan johteiden ja alustan varaan. Näin saatiin huoltopukin jalan korkeuden määrittelyyn suunnittelu tietoa. Korvakoita ja alustaa suunniteltaessa täytyi ottaa huomioon vaatimuksena oleva huoltopukin kompakti koko. Laitteen osien valmistuksen suhteen Tormets Oy:llä on käytettävissä hyvin laaja konekanta ja osaaminen eri valmistusmenetelmiin. Huoltopukin suunnittelussa pitää ottaa huomioon käytettävät valmistus menetelmät, mutta menetelmien käyttöä ei ole rajoitettu. Huoltopukin rullien korvakot suunniteltiin siten, että ne koneistetaan yhdestä ahiosta (kuvio 7).



Kuvio 7. Huoltopukin rullan korvakko

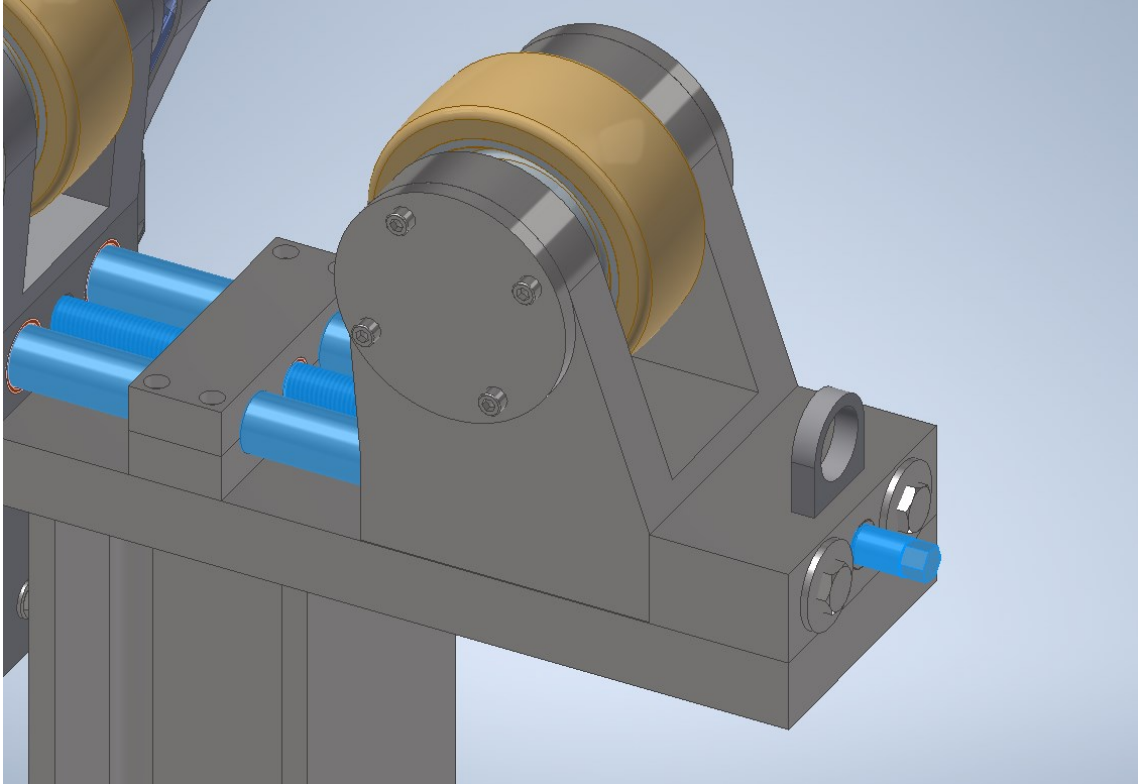
Huoltopukin teräs osien materiaaliksi valittiin S355 rakenneteräs, koska se on kustannustehokas ja yleisin varastoitava materiaali, sekä helposti työstettävä ja hitsattava materiaali. Laakeroinnit liukupinnoille sekä kierretangoille toteutettiin pronssisilla liukulaakereilla kohteen kuormituksesta riippuen joko suorana tai olakkeellisena. Tukirullien laakerointi toteutettiin SKF 6006-2RS1 urakuulalaakereilla, joiden staattinen kuorman kesto on 8,3 kN ja dynaaminen kuorman kesto on 13,8 kN. Urakuulalaakereita tulee kaksi kappaletta molempiin korvakoihin, voidaan todeta niiden kestävän kannatinrullan painoin, koska laakereille kohdistuva maksimi voima on yhteensä 6 kN joka laskettiin aiemmin.

Korvakoiden alusta suunniteltiin valmistettavaksi 16 mm paksusta teräksestä, jossa on keskituki sekä päädyt johteille, joita pitkin korvakot liikkuvat (kuvio 8). Myöhemmin esitetyssä FEM-laskennassa todettiin 16 mm paksun levyn olevan liian heikko, joten materiaalivahvuutta kasvatettiin 30 mm.



Kuvio 8. Kuvassa sinisellä, alusta, päädyt ja keskituki

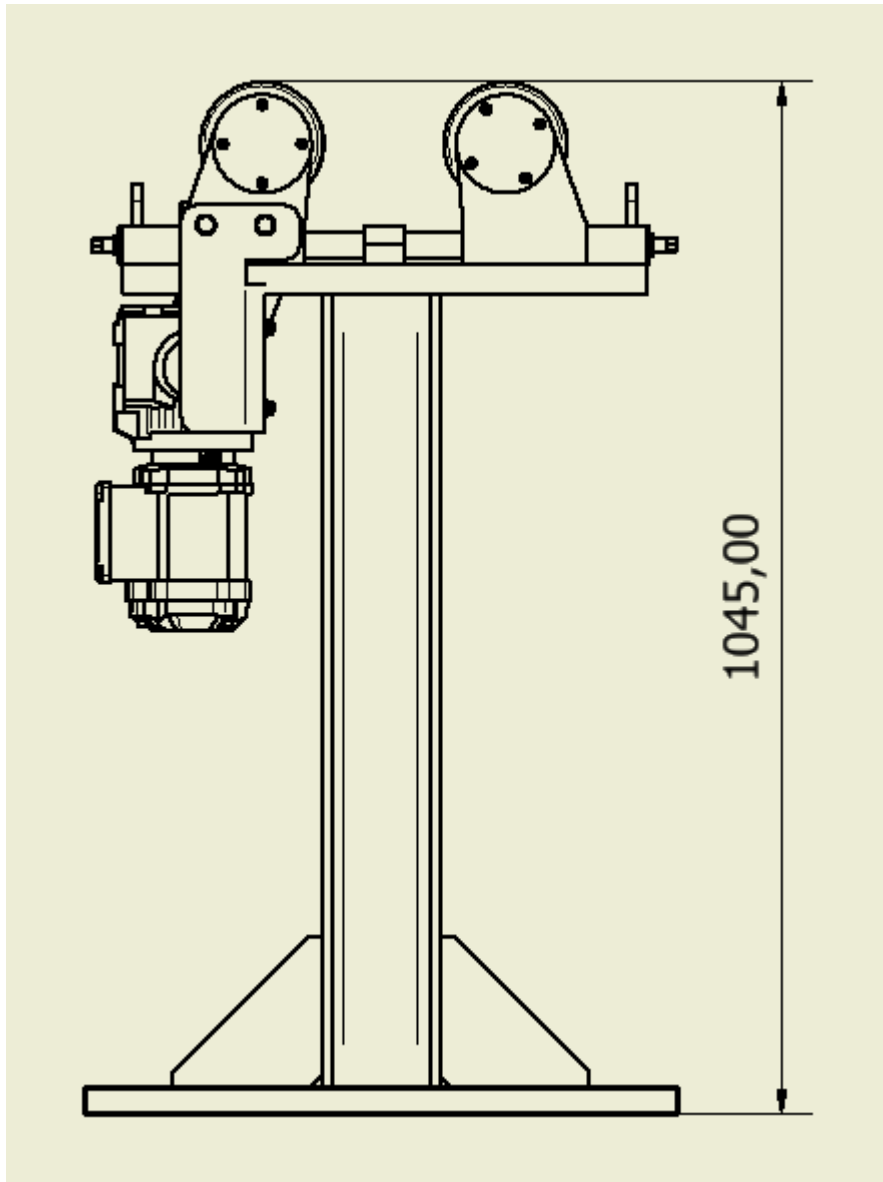
Keskitukeen ja pätyihin kiinnittyy myös kaksi kappaletta kuularuuveja. Niillä säädetään korvakoiden etäisyyttä toisistaan manuaalisesti avaimella kääntämällä kuularuuvien päihin koneistetuista avainkuvioista. Kuularuuvit ovat lukittu toisiinsa niiden keskelle tulevalla kiilalla, jotta tukirullat liikkuvat symmetrisesti pitäen kannatinrullan massan huoltopukin keskilinjassa (kuvio 9).



Kuvio 9. Kuvassa sinisellä kuularuuvit ja johteet

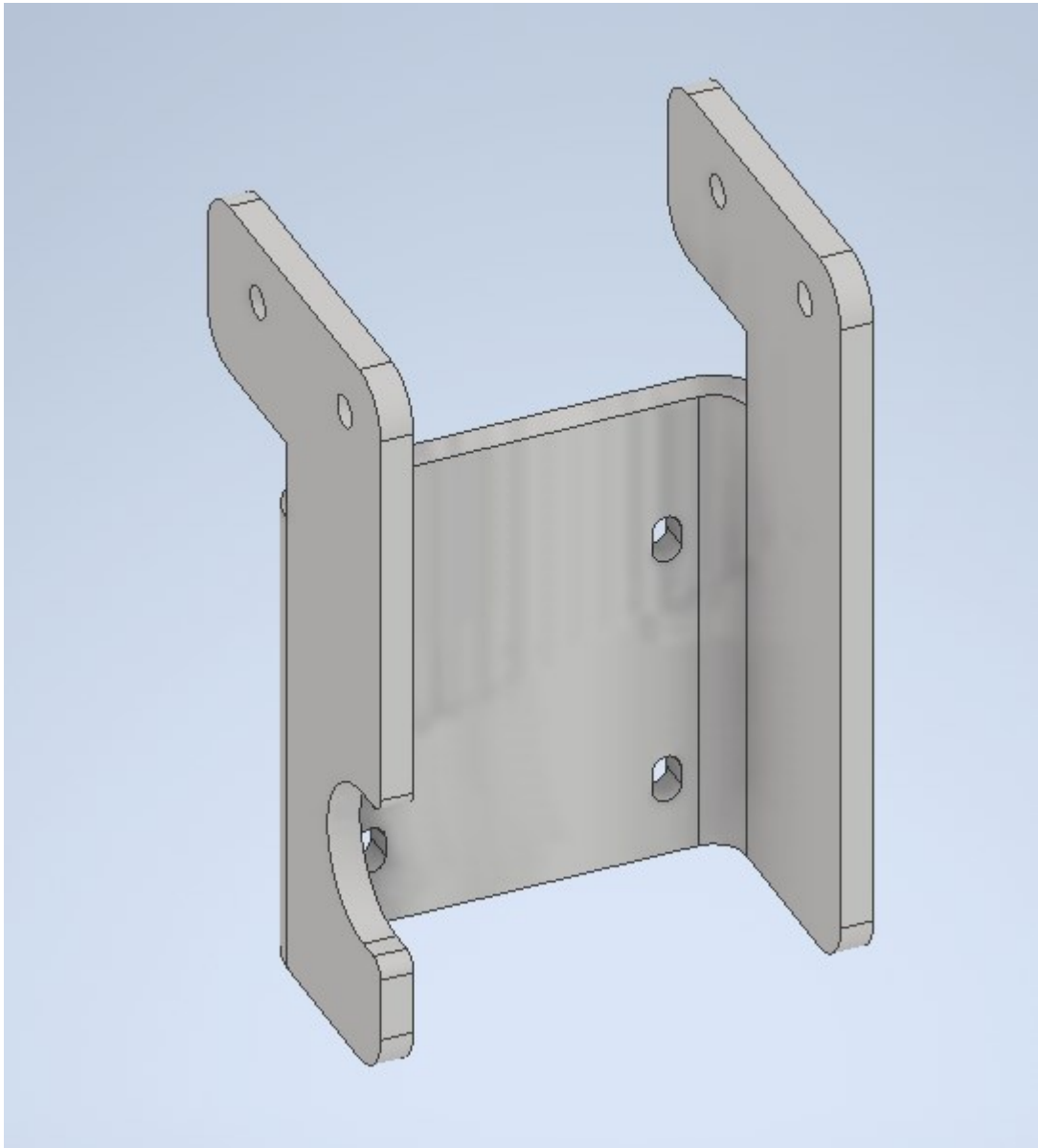
Tason päällä olevien rullien korvakoiden ja rullien yhteiskorkeuden selvittäessä saatiin suunniteltua huoltopukin jalan korkeus. Pohjalevyn, jalan ja rullien yhteiskorkeus asetettiin noin yhteen metriin. Näin ollen työn kohteena olevan kannatinrullan pääty tulee olemaan 1– 1,15 m korkeudella (kuvio 10).

Kannatinrullan päädyn hitsausta suoritettaessa työskentelykorkeus on ergonomisesti saavutettavissa seisaaltaan tai istuttaessa korkeus säädettävällä istuimella.



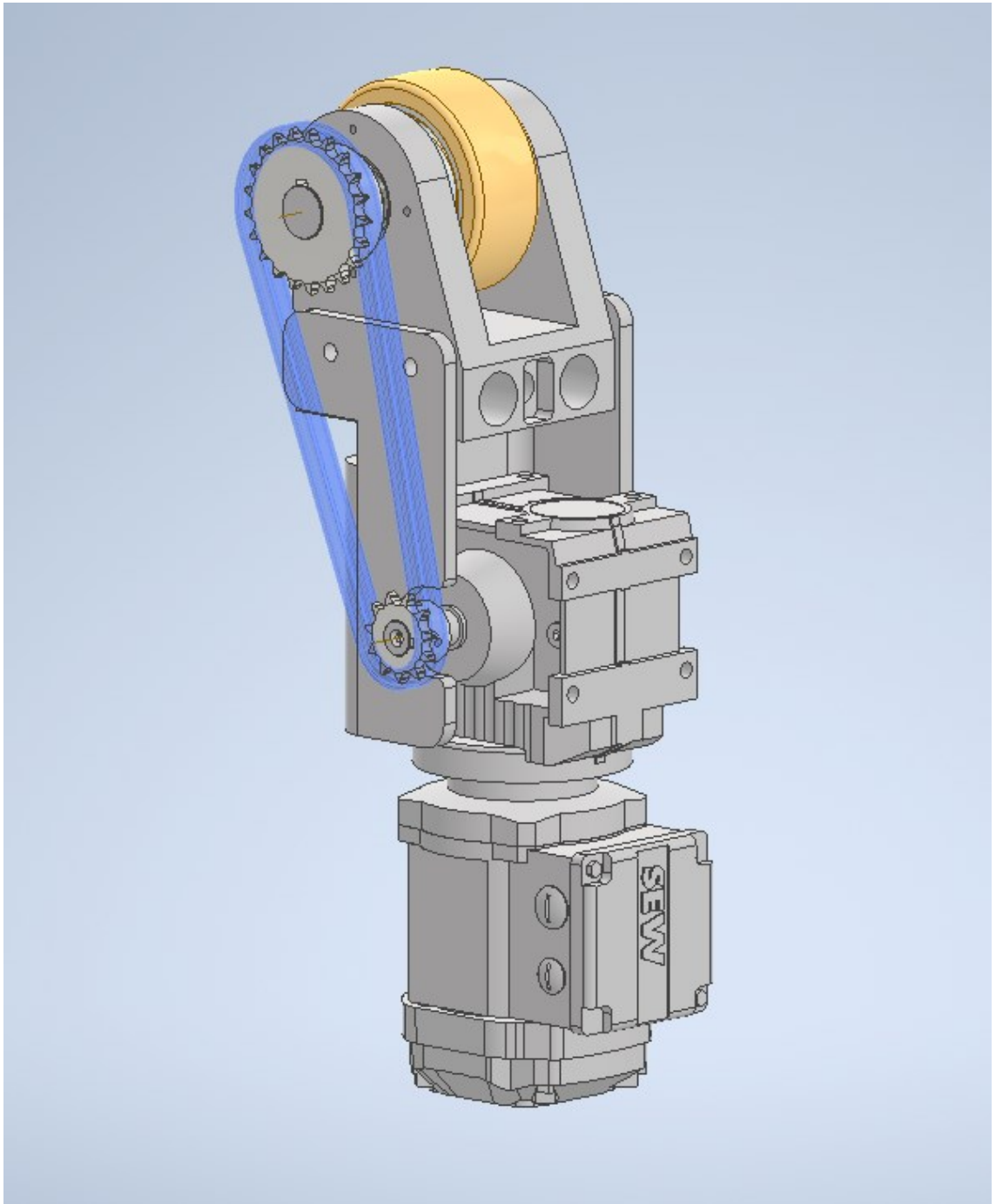
Kuvio 10. Huoltopukin korkeus

Huoltopukin vetävän rullan korvakkoon suunniteltiin kiinnitysrauta, johon vaihde-
moottori saatiin kiinnitettyä (kuvio 11).



Kuvio 11. Vaihde-moottorin kiinnitysrauta

Kiinnitysrauta kiinnittyy pultiliitoksella korvakkoon ja täten vaihdemoottori kulkee korvakon mukana, korvakkoa säädettäessä (kuvio 12).

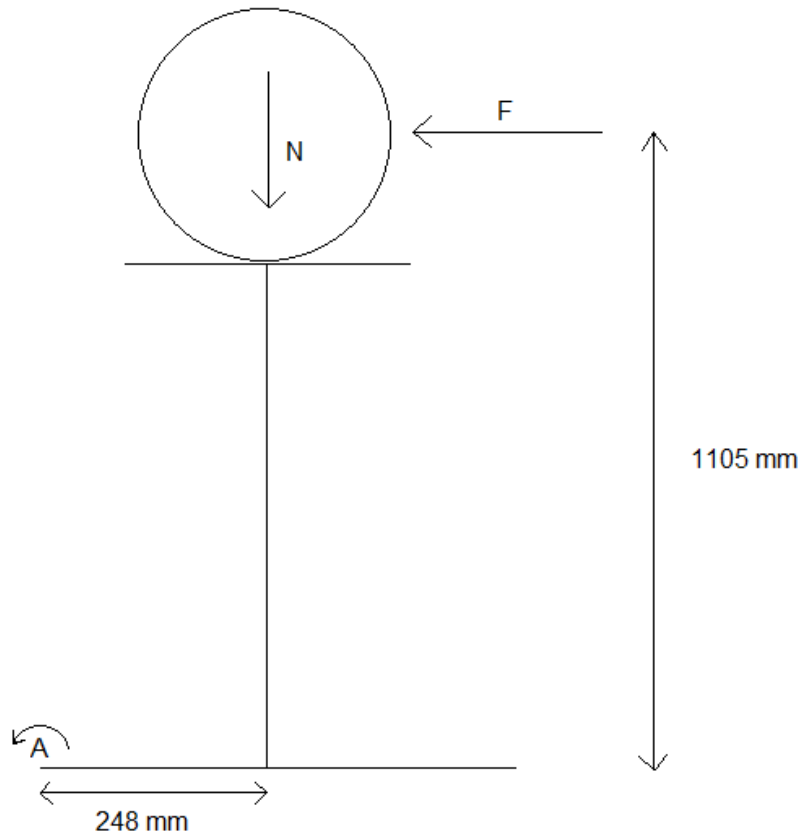


Kuvio 12. Vaihdemoottori kiinnitettyä korvakkoon

Ketjuvälityksen kiristys toteutettiin suunnittelemalla vaihdemoottorin kiinnitysruuvien rei'istä ovaalin muotoiset. Näin välttyttiin ylimääräiseltä kiristinrullalta ja laitteen kompakti koko säilyy.

4.3 Laskelmat (FEM)

Tarkastellaan huoltopukin stabiiliutta. Lasketaan voima, jolla huoltopukki lähtee kaatumaan kuorman ollessa 1000 kg, eli 2000 kg painava kannatinrulla kahden huoltopukin varassa. Tilannetta tarkastellaan tukipisteen A suhteen (kuvio 13).



Kuvio 13. Voima F ja N suunta sekä tukipiste A

Voima F laskettiin momenttitasapainoyhtälöllä tukipiste A:n suhteen kaavalla

$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ F * A + N_t * B &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

missä

- | | | |
|-------|----|---------------------------------------|
| A | on | voiman F etäisyys tukipisteestä |
| B | on | kokonaismassan etäisyys tukipisteestä |
| N_t | on | kokonaismassasta aiheutuva voima |

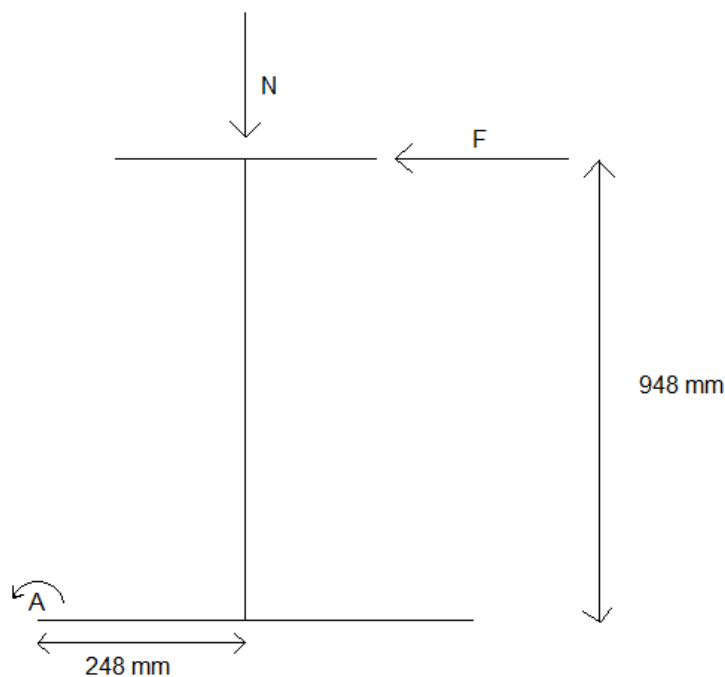
joten kaava voidaan esittää muodossa

$$F * 1,105m - 1150kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,248m = 0$$

$$F = \frac{(1150kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,248m)}{1,105m} = 2532N$$

Voidaan todeta, että täysi kuorma päällä rakenne on stabiili.

Tarkastellaan samaa tilannetta huoltopukin ollessa ilman kuormaa (kuvio 14).



Kuvio 14. Voima F ja N suunta sekä tukipiste A

Voima F laskettiin momenttitasapainoyhtälöllä tukipiste A:n suhteen kaavalla

$$\sum M = 0$$

$$F * A + N_t * B = 0 \tag{14}$$

missä

- | | | |
|-------|----|---------------------------------------|
| A | on | voiman F etäisyys tukipisteestä |
| B | on | kokonaismassan etäisyys tukipisteestä |
| N_t | on | kokonaismassasta aiheutuva voima |

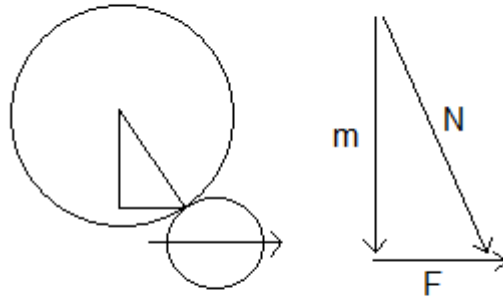
joten kaava voidaan esittää muodossa

$$F * 1,105m - 150kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,248m = 0$$

$$F = \frac{(150kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,248m)}{1,105m} = 333 N$$

Voidaan todeta, että ilman kuormitusta rakenne on stabiili.

Lasketaan kuularuuveihin kohdistuva voima tilanteessa, jossa huoltopukin päällä on maksimi kuorma (kuvio 15).



Kuvio 15. Kaavio ruuveille kohdistuvasta voimasta

Voima laskettiin kaavalla

$$m = \frac{1000kg}{2} \tag{15}$$

$$\tan \alpha = \frac{F}{m}$$

$$F = \tan \alpha * m = \tan 35,79^\circ * \frac{1000kg}{2} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 3536,3N \approx 3,5kN$$

Kierteelle kohdistuva maksimi vetovoima on 3,5 kN.

Selvitetään kierteille kohdistuva normaali vetojännitys σ_n . Kierteen minimi halkaisija d on 13,5 mm. Vetojännitys σ_n laskettiin kaavalla

$$\sigma_n = \frac{F}{A} \quad (16)$$

missä

F on ruuville kohdistuva maksimi vetovoima
 A on kierteen minimihalkaisijan pinta-ala

Kierteelle kohdistuva vetojännitys on 24,45 MPa.

Kierteen loven vaikutuksen aiheuttama jännitys maksimi eli σ_{max} laskettiin kaavalla

$$\sigma_{max} = \alpha * \sigma_n \quad (17)$$

missä

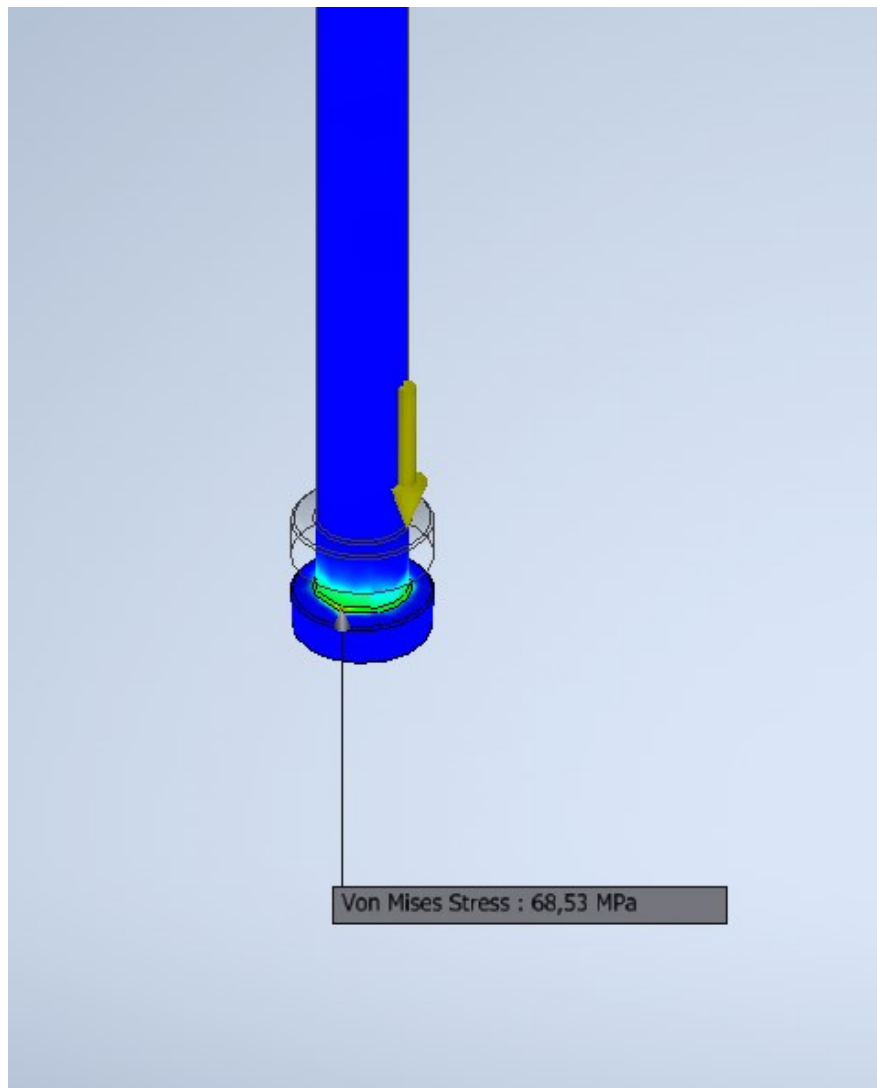
α on kerroin loven vaikutukselle (Valtanen, E. 2019, 283.)
 uran vedossa akselille.
 σ_n on normaali vetojännitys kierteelle

Kierteelle kohdistuva maksimi vetojännitys huippu on 61,1 MPa.

Voidaan todeta, että kuularuuvien kie rteet kestävät. Vetojännitys täydellä kuormalla on 61.1 MPa. Kuularuuvit koneistetaan S355 rakenneteräksestä, jonka myötölujuus on 345 MPa aihion paksuuden ollessa suurempi kuin 16 mm, mutta pienempi kuin 40 mm (Valtanen, E. 2019, 1191.).

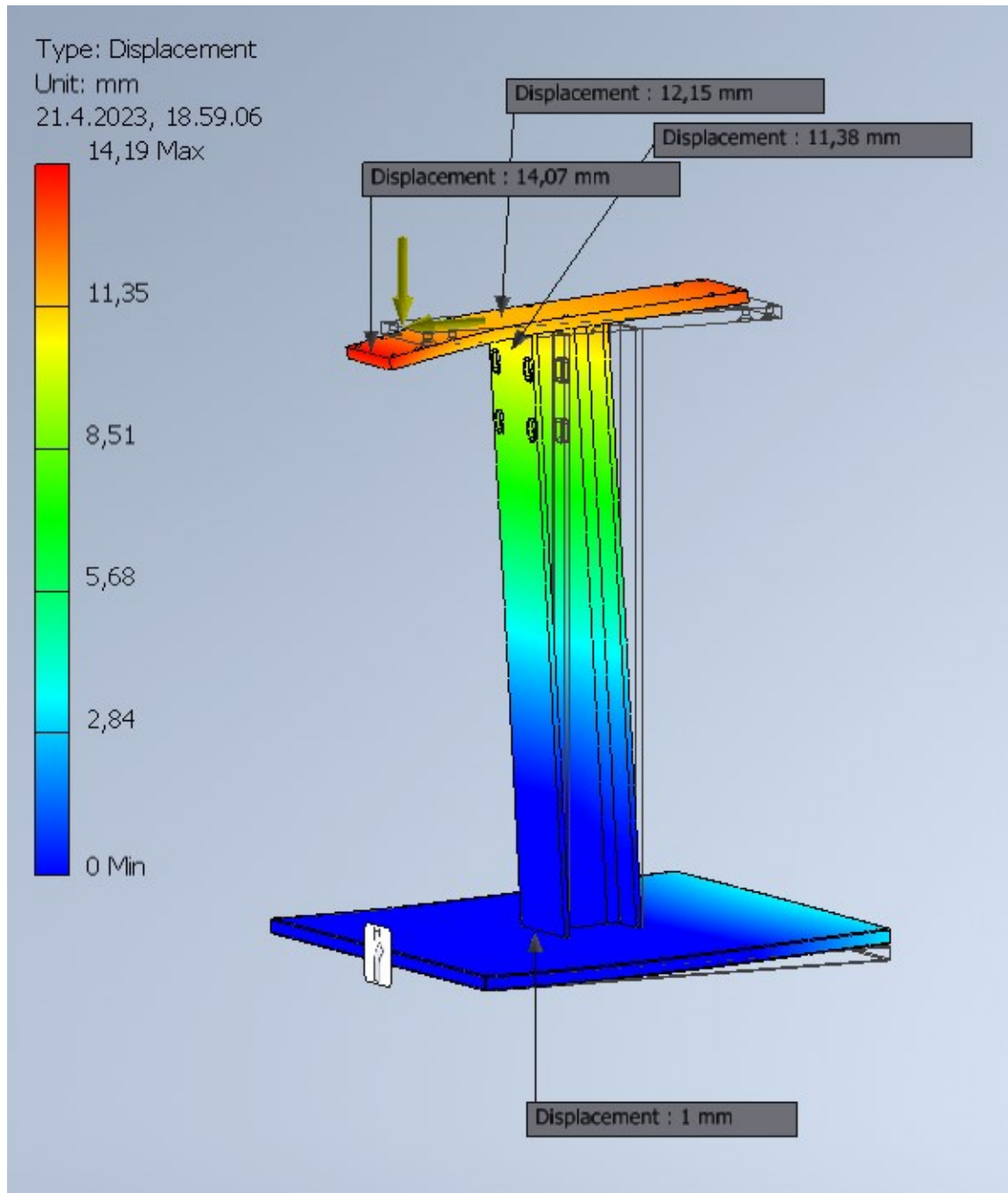
Kuularuuvien päätyjä tarkasteltiin vielä Autodesk Inventor suunnitteluohjelman FEM-analyysillä. Maksimikuorma aiheutti ruuvien päähän 68,53 MPa maksimi jännityksen (Kuva 16). Tulos on suurempi kuin laskettu kierteen vetojännitys, vaikka halkaisija olakkeen juuressa on suurempi kuin kierteen minimi halkaisija. FEM-analyysi ohjelma ottaa huomioon kuormituksessa muodostuvan taipuman olakkeessa, josta aiheutuu suurempi jännityshuippu akselin ja olakkeen väliseen pyöritykseen. Ruuvien heikoin kohta on olakkeen juuressa, jossa maksimi jännitys on 68,53 MPa. Ruuvien materiaali on S355 rakenneteräs, jonka myötöraja on 345 MPa, joten voidaan todeta, että ruuvit kestävät kuormituksen.

Kuvassa 16 on tilanne simuloinnista, jossa akselin pää on lukittu liikkumattomaksi ja voima F 3,5 kN kohdistettu akselin olakkeeseen.



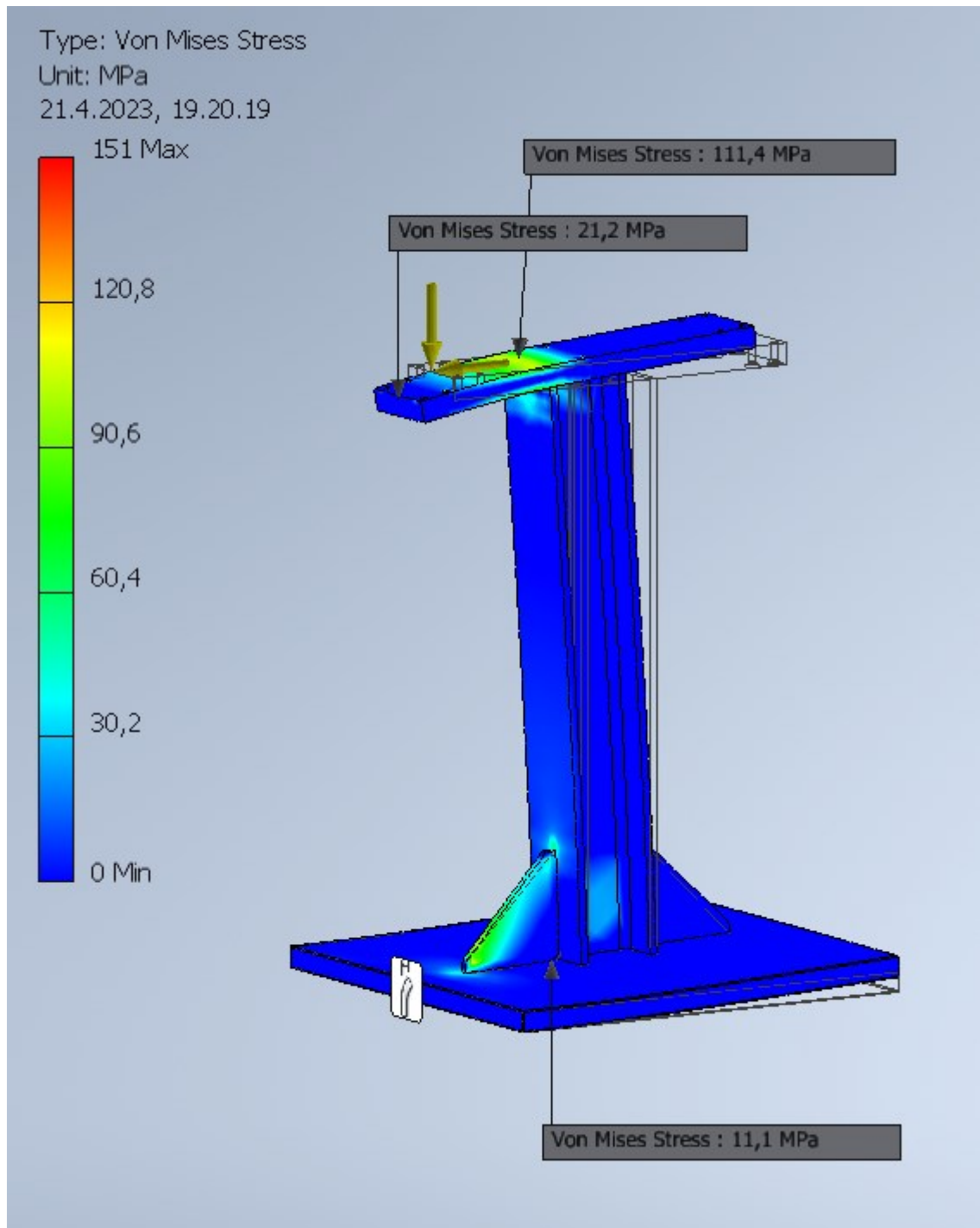
Kuvio 16. Kuularuuvien olakkeen jännityshuippu

Huoltopukin jalustarakenteen ensimmäisen version laskennassa maksimi jännitykset nousivat yli myötörajan. Kyseisen version todettiin olevan liian heikko. Laskennan voimat kohdistettiin jalustan ulkoreunaan (kuvio 17) 11076,5 N voima F pystysuoraan ja 3536 N voima vaakasuoraan, joka on kärjistetty tilanne kuormituksesta, jossa on simuloitu kaatumistilanne. Muodonmuutos on huomattava.



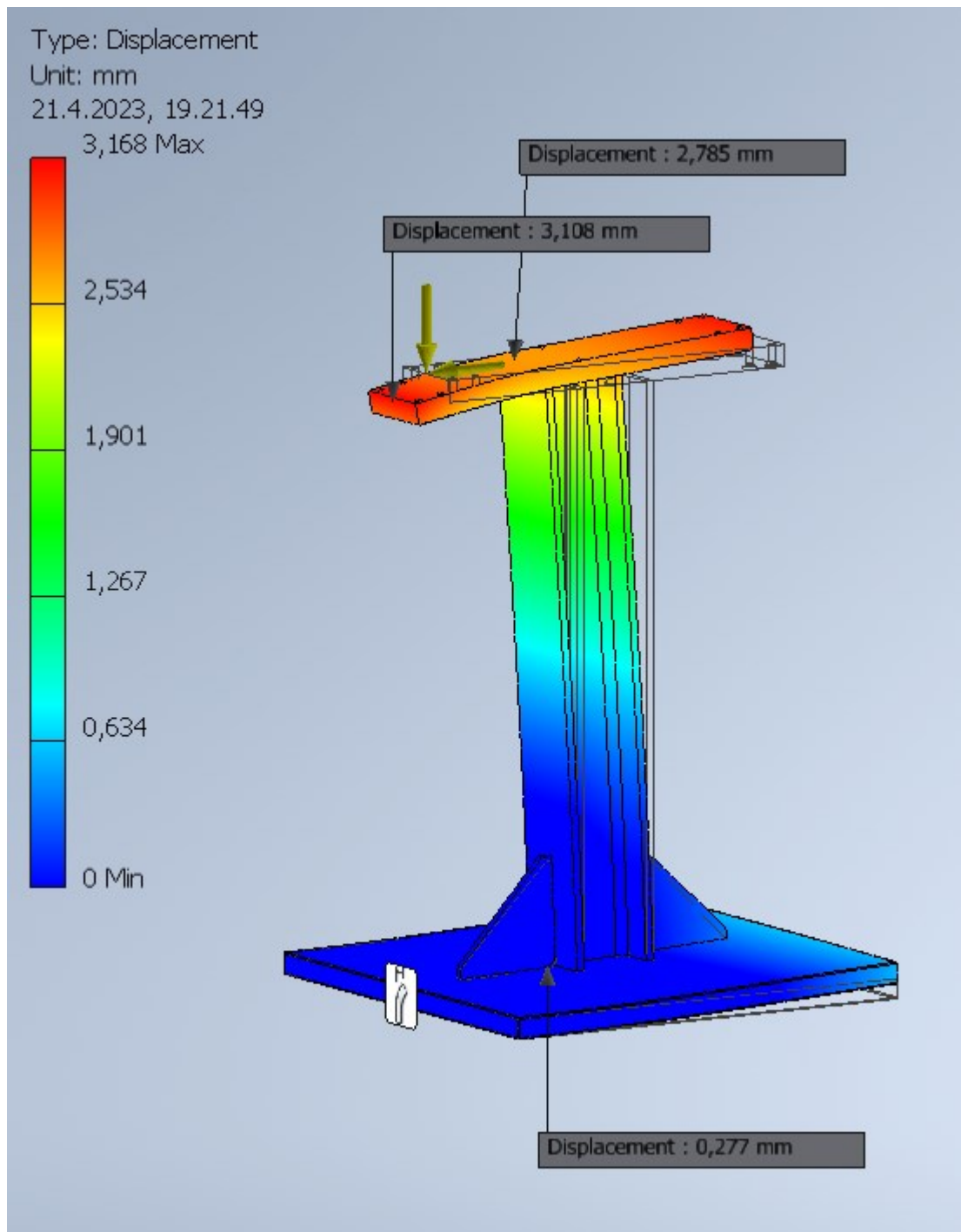
Kuvio 17. Jalustan muodonmuutos

Huoltopukin jalustan optimoitu versio, jossa muutettiin kaikkia rakenteita kestävämmiksi. Maksimi jännitys on 151 MPa, joka on alle myötörajan (kuvio 18).



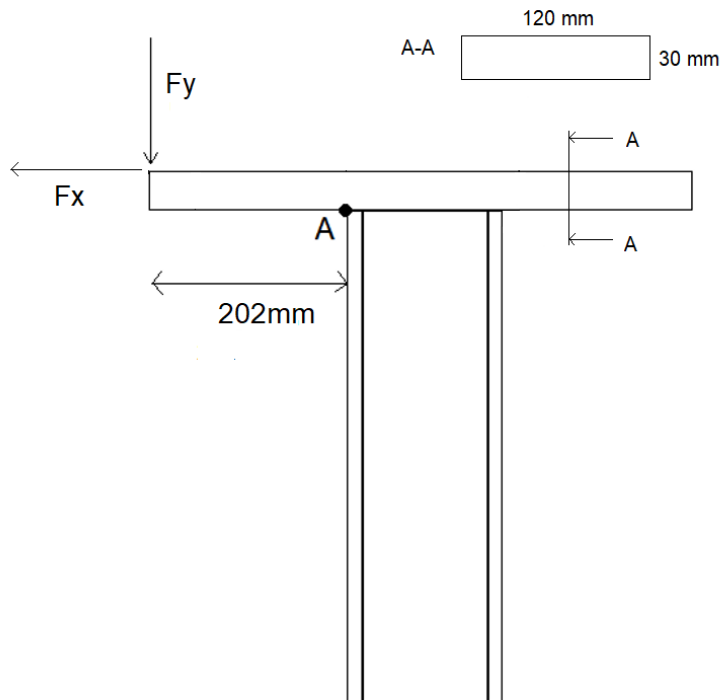
Kuvio 18. Jalustan optimoitu versio

Jalustan maksimi taipuma on 3,168 mm (kuvio 19). Molemmat arvot ovat hyväksyttävissä arvoissa.



Kuvio 19. Jalustan optimoidun version taipuma

Tarkastellaan huoltopukin korvakoiden alustan maksimi jännitystä kärjistetyssä kuormitus tilanteessa (kuvio 20).



Kuvio 20. Voima F_x ja F_y sekä tukipiste A

Lasketaan maksimimomentti M_t alustan ja jalustan liitoskohdassa myötä päivään pisteen A suhteen kaavalla

$$M_t = -F_y * r_a - F_x * r_b \quad (18)$$

missä

F_y on Pystysuuntainen voima

F_x on Vaakasuuntainen voima

r_a on Pystysuuntaisen voiman etäisyys pisteestä A

r_b on Vaakasuuntaisen voiman etäisyys pisteestä A

Maksimimomentiksi saatiin -2343,5 Nm.

Lasketaan alustan neliömomentti I_z kaavalla

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (19)$$

missä

b on alustan leveys

h on alustan korkeus

Taivutusvastukseksi saatiin 270000 mm^4

Lasketaan alustan vedon ja taivutuksen yhteisjännitys kaavalla

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M_t}{I_z} * (\pm y) \quad (20)$$

missä

N on normaalivoima vetoa eli $N = F_x$

A on Alustan leikkaus pinta-ala

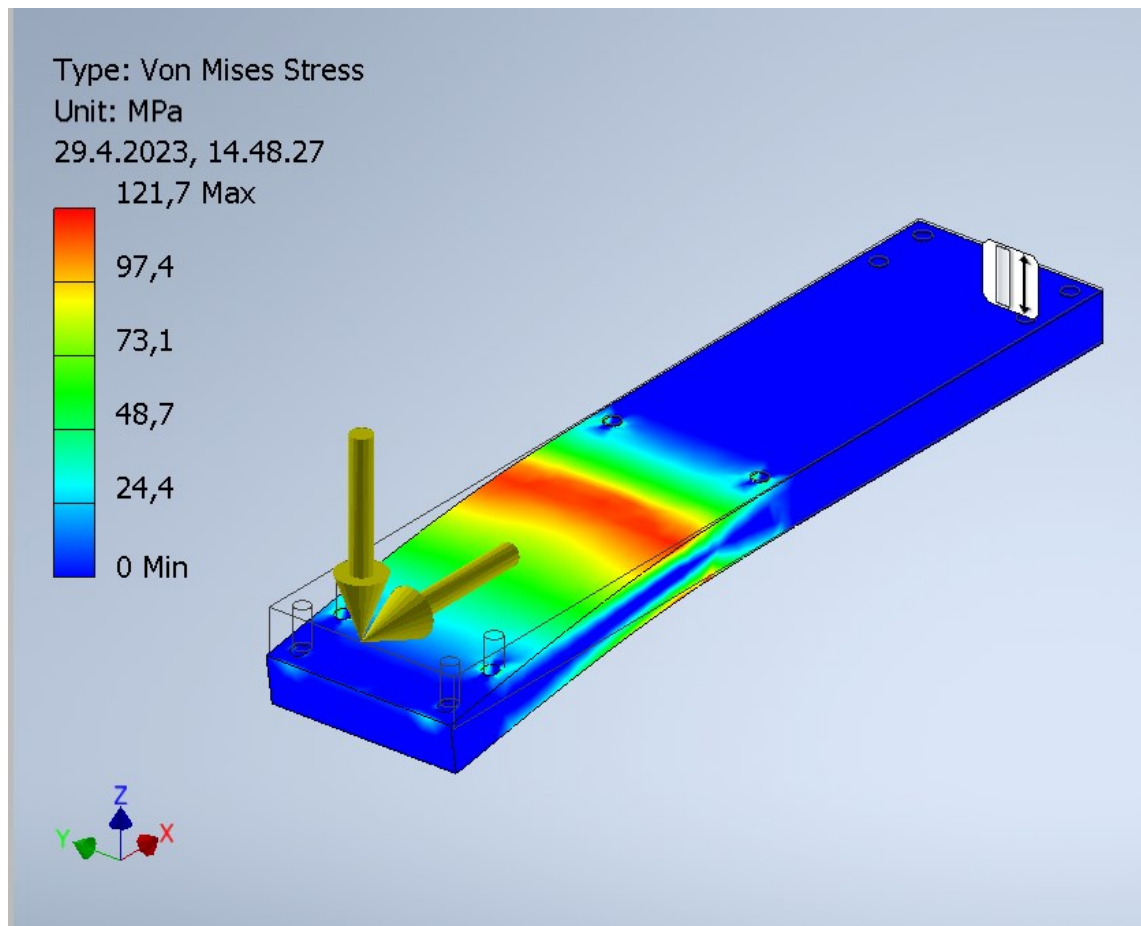
I_z on neliömomentti

M_t on maksimimomentti taipuma kohdassa

Jännitys alustan yläreunassa $\sigma_{x_1} = 131,1 \text{ MPa}$

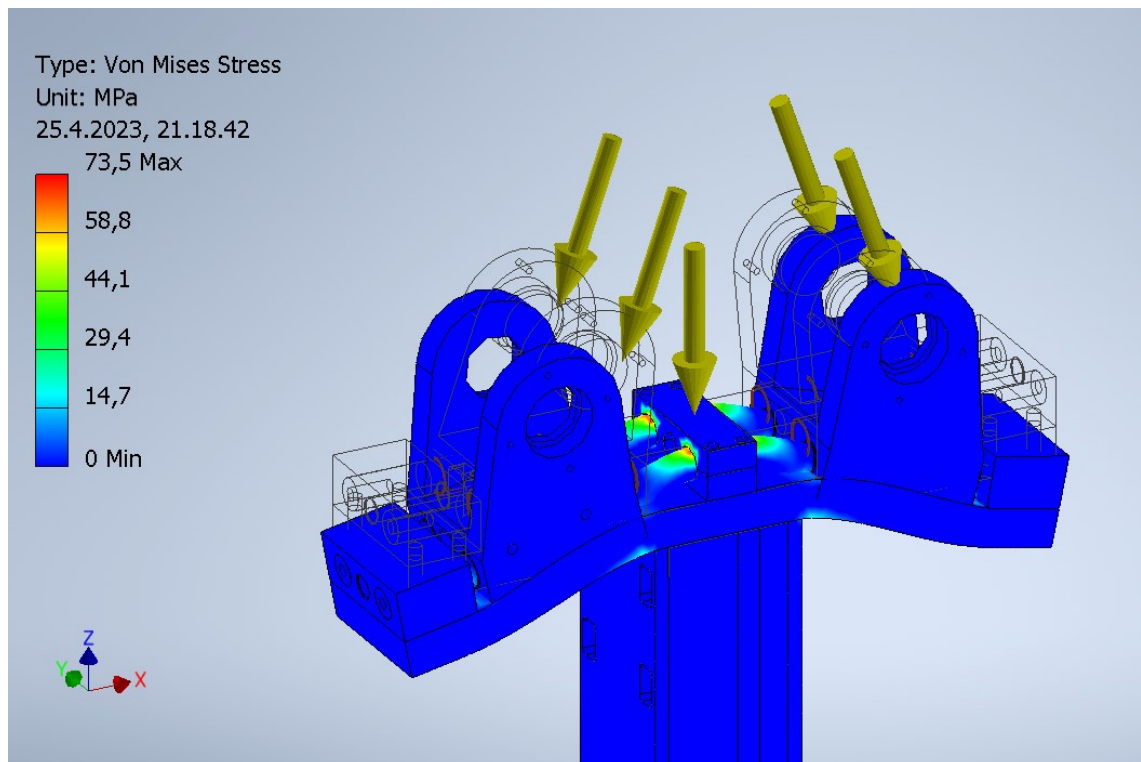
Jännitys alustan alareunassa $\sigma_{x_2} = -129,2 \text{ MPa}$

Kun verrataan tulosta Inventor FEM-analyysissä saatuun tulokseen (kuvio 21) voidaan todeta, että FEM-analyysi ohjelman laskenta tarkkuus on hyväksyttävällä tasolla.



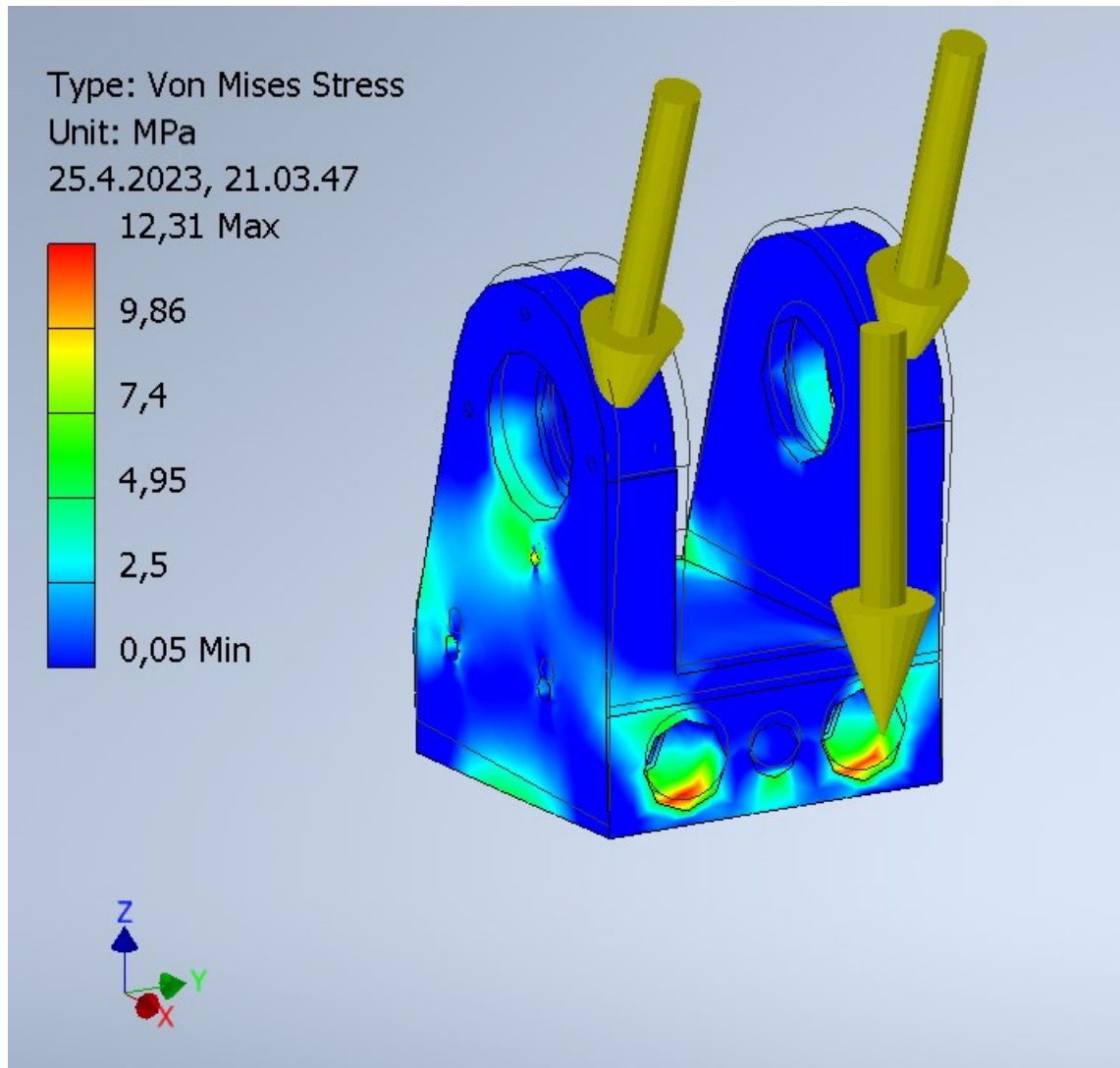
Kuvio 21. Alustan taivutusjännitys

Seuraavaksi analysoitiin kokonaisvaltaista tilannetta huoltopukin normaalissa käyttötilanteessa (kuvio 22). Laskennassa käytettiin yhdistettyä vektori laakerikuormitusta $F_z = -10$ kN ja $F_x = \pm 3,5$ kN. Kuvassa oikean puoleisen korvakan vektori voima $F_x = 3,5$ kN, vasemman puoleisen korvakan $F_x = -3,5$ kN. Maksimi jännitys on 73,5 MPa, joka on hyväksyttävä arvo huoltopukin materiaalin myötölujuuden ollessa 355 MPa. Pukin varmuuskertoimeksi normaalissa käyttötilanteessa saatiin 4,8 joka on enemmän kuin riittävä.



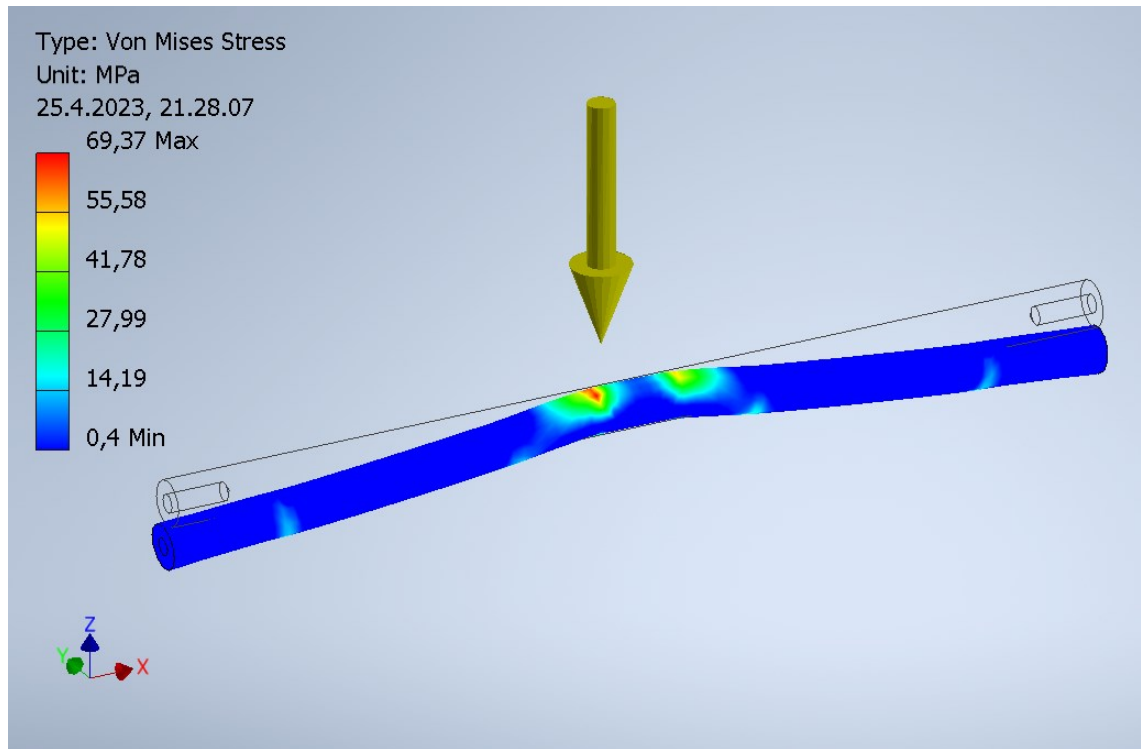
Kuvio 22. Voimat normaalissa käyttötilanteessa

Korvakoja erikseen tarkasteltaessa huomattiin, että suurin jännitys kohdistuu johteiden liukupinnoille (kuvio 23). Todetaan, että liukupintoihin kohdistuva jännitys on merkityksettömän pieni.



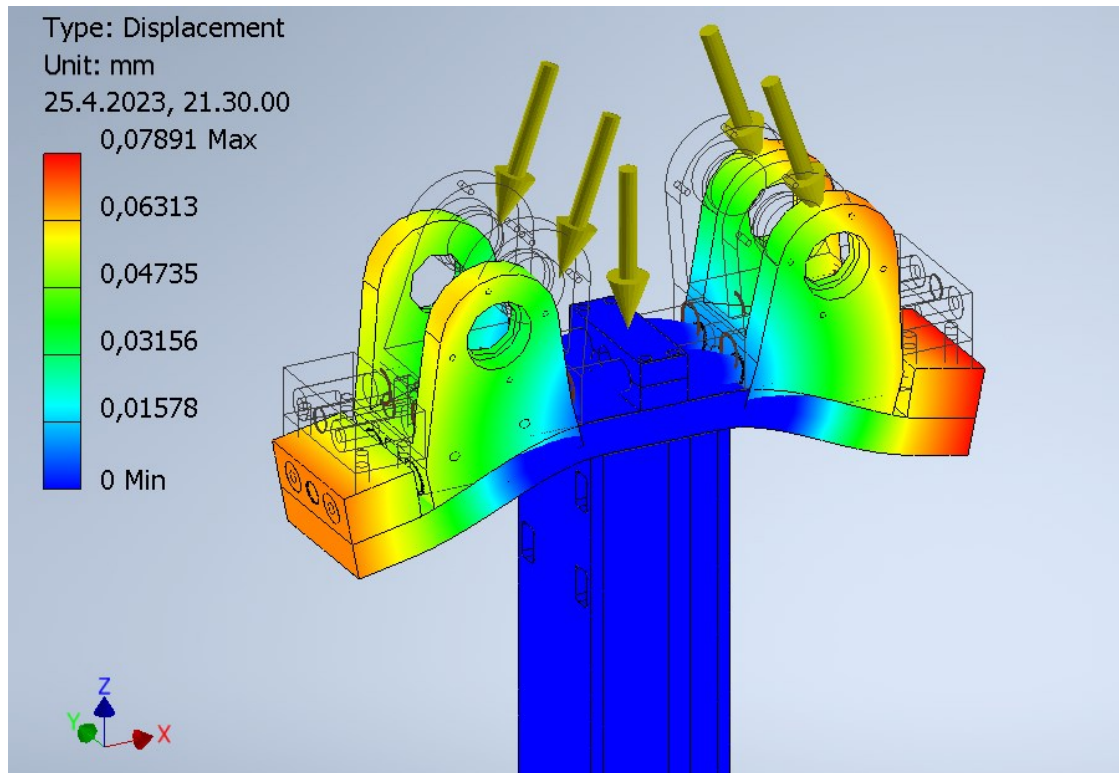
Kuvio 23. Korvakon jännitys

Tarkastellaan kokonaisvaltaisesta tilanteesta eristettyä johdetta (kuvio 24). Maksimi jännitys kohdistuu johteen ja keskikiinnitystuen risteyskohtaan. Johteeseen kohdistuva maksimi jännitys on hyväksyttävällä tasolla.



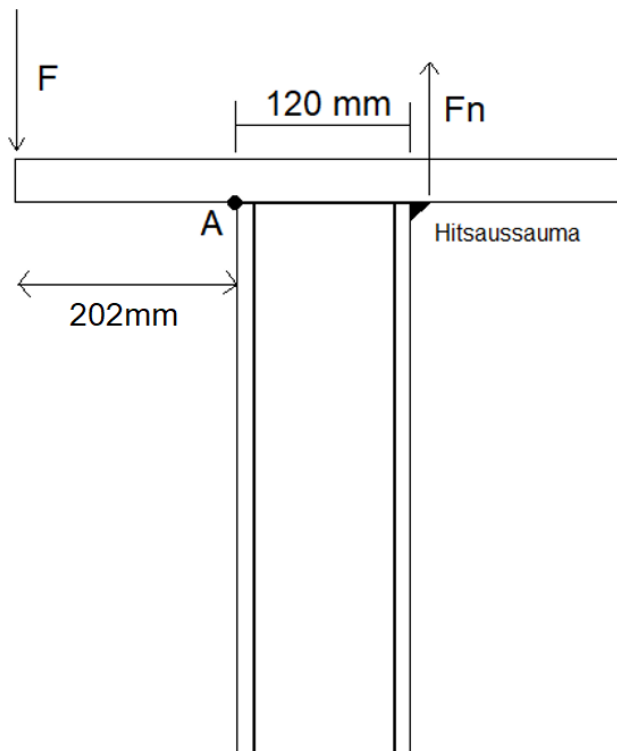
Kuvio 24. Johteen jännitys

Normaalissa käyttötilanteessa huoltopukin maksimi taipuma on 0,08 mm, joten voimme todeta sen olemattoman pieneksi (kuvio 25).



Kuvio 25. Taipuma normaali käyttötilanteessa

Lasketaan alustan hitsausseama, jolla alusta hitsataan jalustan HEB palkkiin (kuvio 26).



Kuvio 26. Voima F_x ja F_y sekä tukipiste A

Lasketaan tilanne, jossa on yksinkertaistettu rakenne ja kaikki kuormitus menee yhden pienahitsin läpi. Tilanne on kärjistetty, jossa voima F on sama kuin kaatumatilanteessa (Kuva 26) eli kannatinrullan massa ja maan vetovoima.

Hitsin pituus $l = 120 \text{ mm}$

$$F = \text{pystysuuntainen voima } 11076,5 \text{ N}$$

Lasketaan voima F_n tukipisteen A suhteen kaavalla

$$\sum M = 0 \tag{21}$$

$$F * 0,202m * F_n * 0,120m = 0$$

$$F_n = -18645,44N$$

Lasketaan minimi a-mitta hitsaussaumalle kaavalla

$$\sigma_w = \frac{F}{al} \leq F_{wd} \quad (22)$$

Kaava voidaan esittää muodossa

$$a = \frac{F}{l * F_{wd}}$$

missä

l	on	hitsisauman pituus
F	on	hitsisaumaan kohdistuva voima
F_{wd}	on	S355 rakenneteräkselle 228 MPa.

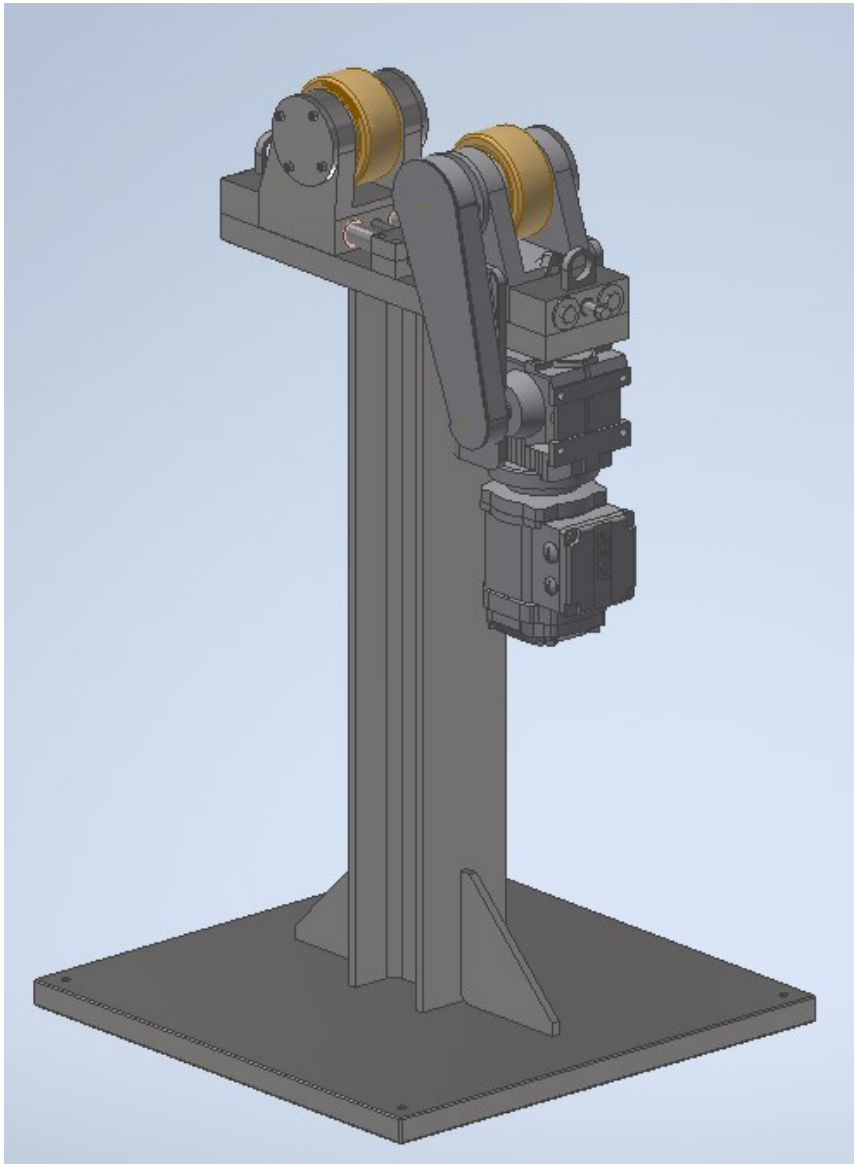
Hitsisauman a-mitaksi saadaan 0,68 mm, joka on hitsausteknisesti mahdotonta. Valitaan a-mitaksi 6 mm, jolloin varmuuskerroin on 8,8. Liitoskohta hitsataan HEB-palkin molempiin laippoihin 6 mm pienahitsillä. A-mittaa sovelletaan huoltopukin kaikissa hitsaussaumoissa.

4.4 Valmistuspiirustukset

Valmistuspiirustukset tehtiin laskelmien ja FEM-analyysien jälkeen Autodesk Inventor-suunnitteluohjelmalla. Kannatinrullan huoltopukki on mahdollista valmistaa valmistuspiirustusten perusteella ja komponenttilistauksista selviää mitä valmiita osia kuten tukirullat, pultit, aluslevyt ym. huoltopukkiin tulee hankkia. Huoltopukin valmistuspiirustukset ovat salassa pidettävää materiaalia, joten niitä ei ole liitetty työhön. Liitteenä kokoonpanokuva huoltopukista.

5 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi valmistuspiirustukset kannatinrullien huoltoon varten suunnitellulle huoltopukille (kuvio 27). Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Laite valmistetaan Tormets Oy:lle kannatinrullien huoltoon yrityksen itsensä toimesta. Entiseen huoltopukkiin verrattuna uusi malli tulee vähentämään hukkaa tuotannossa, parantamaan päätyjen hitsauksen laatua, nopeuttamaan kannatinrullien läpimenoaikaa sekä työergonomiaa. Huoltopukki ei myöskään vaadi suurta tilaa ja täten ollen vapauttaa tilaa muille tuotannon toimille ja on sitäkin kautta kustannussäästö.



Kuvio 27. Kannatinrullan huoltopukki

6 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja siinä pääsi tutkimaan asioita ja aiheita, jotka kiinnostavat minua. Opinnäytetyöhön sisältyi runsaasti pohdintaa millainen huoltopukista tulisi suunnitella, jotta se olisi tarpeeksi kestävä olemalla silti tavoitteiden mukaisesti kompakti. Työn teoria osuudessa perehdyttiin koneensuunnitteluun, siihen liittyviin standardeihin työturvallisuuteen ja työergonomiaan, joka oli yksi suunnittelun lähtökohdista. Näistä aiheista on tarjolla runsaasti tietoa mm. erinäisissä kirjoissa, jotka osoittautuivat todella hyödyllisiksi.

Suunnittelua ja mallintamista Autodesk Inventor-suunnitteluohjelmalla tehdesäni huomasin, että useampia huoltopukin osia joutui työn edetessä muokkamaan ja tekemään erilaisia versioita osista, ennen kuin lopullinen versio löytyi. Suunnittelu ja laskelmat olivat haastavin ja eniten aikaa kuluttava osa opinnäytetyössä. Jännitysanalyyseja tehtiin Inventor-suunnitteluohjelman simuloinnilla sekä laskemalla käsin käyttäen avuksi lujuusoppia.

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan todella mielenkiintoinen ja sen tarjoamat haasteet olivat opettavaisia. Opinnäytetyön aikana opituista asioista on varmasti paljon hyötyä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, Miettinen, J. Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa, V. 1995. Koneenosien suunnittelu. Porvoo: Helsinki: Juva: WSOY.

ISO/TR 22100-3:2020:fi Koneturvallisuus. Suhteet standardiin ISO 12100. Osa 3: Ergonomisten periaatteiden ottaminen huomioon turvallisuusstandardeissa. Viitattu 21.2.2023.

<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID5/2/914456.html.stx>

METSTA 2020. Koneenrakentajan tärkeimmät standardit. Viitattu 20.2.2023.

https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/10/Koneenrakentajan_t%C3%A4rkeimm%C3%A4t_standardit.pdf

SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Viitattu 20.2.2023.

<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/164706.html.stx>

Tormets 2022a. Historiasta nykypäivään 50-vuotiaan metallisorvaamon tarina.

Viitattu 23.4.2023. <https://tormets.fi/historiasta-nykypaivaan-50-vuotiaan-metallisorvaamon-tarina/>

Tormets 2022b. Palvelut. Viitattu 14.2.2023. <https://tormets.fi/palvelut/>

Tormets 2022c. Referenssit. Viitattu 14.2.2023 <https://tormets.fi/referenssit/>

Tormets 2022d. Vauhdikas kasvutarina teräksen vahvasta ammattilaisesta.

Viitattu 23.4.2023. <https://tormets.fi/vauhdikas-kasvutarina-teraksen-vahvasta-ammattilaisesta/>

Tukes 2020. Koneen valmistajan velvollisuudet. Viitattu 28.4.2023.

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet/koneen-valmistaja>

Työsuojeluhallinto 2022. Organisaatio. Viitattu 20.3.2023.

<https://www.tyosuojelu.fi/tietoa-meista/organisaatio>

Työterveyslaitos 2022. Kokonaisvaltainen ergonomia. Viitattu 22.2.2023.

<https://www.ttl.fi/teemat/tyohyvinvointi-ja-tyokyky/kokonaisvaltainen-ergonomia>

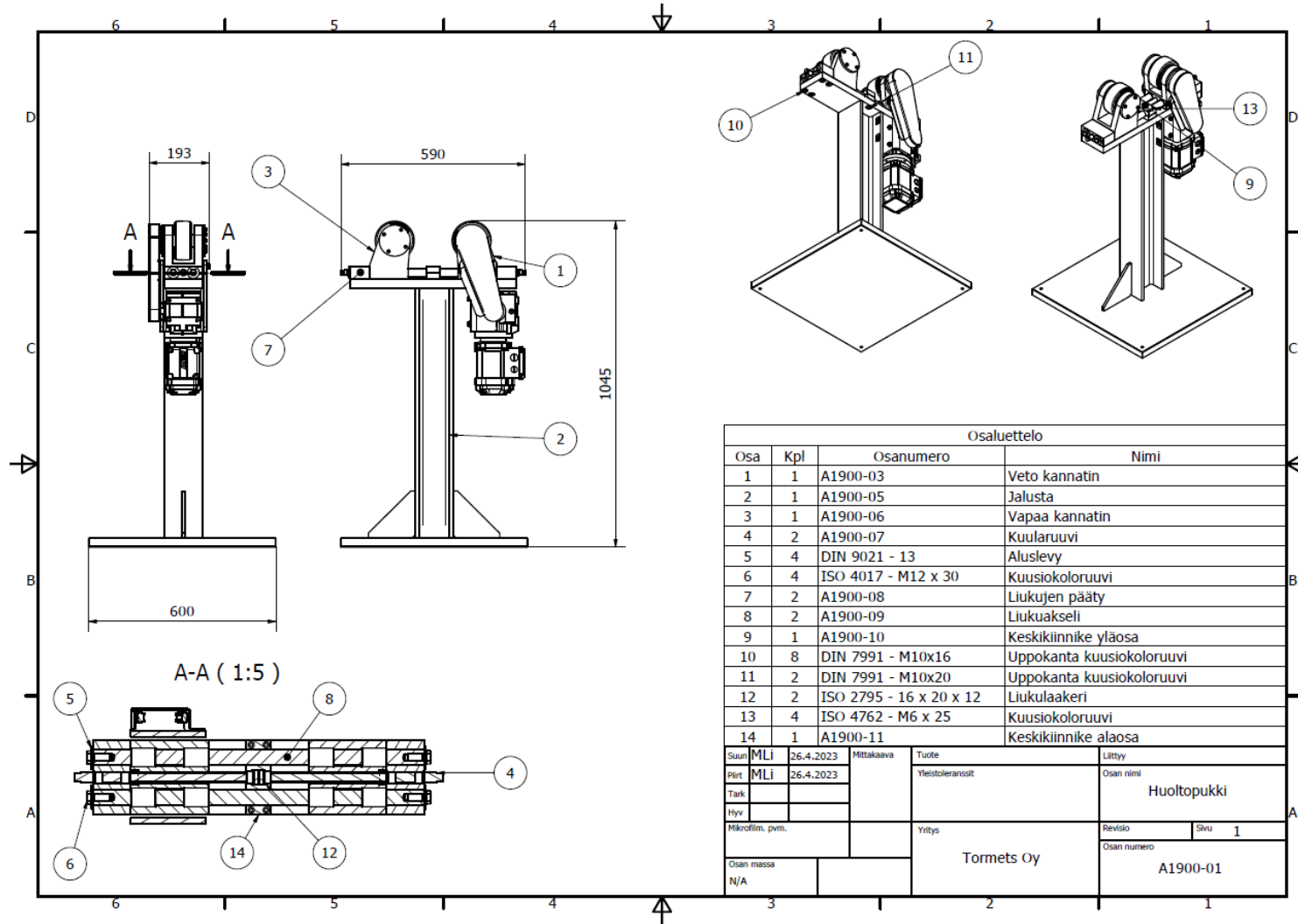
Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. Viitattu 20.3.2022.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>

Valtanen, E. 2019. Tekniikan taulukkirja. 22. painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.

LIITTEET

Liite 1. Kannatinrullan huoltopukin kokoonpanokuva



Kuvio 28. Liite 1 Kannatinrullan huoltopukin kokoonpanokuva