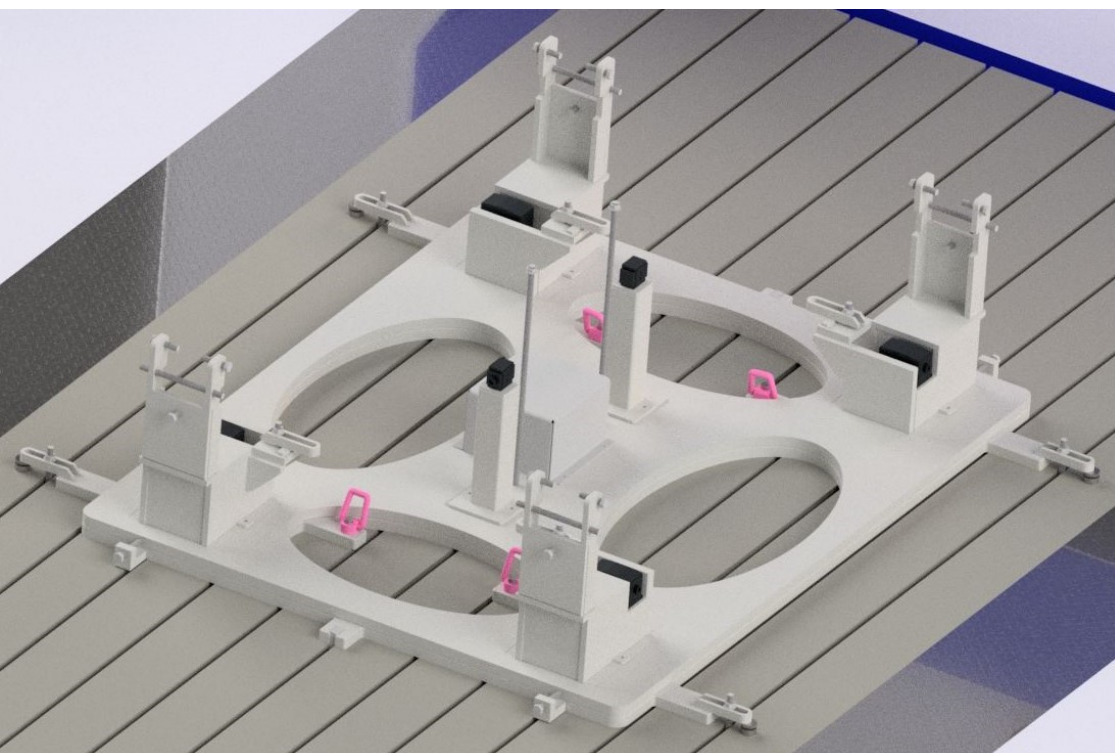


Kemppainen Pasi

Telirungon koneistusmenetelmän kehittäminen ja koneistusjigin suunnitteleminen portaaliijysinkoneelle



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2021



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä(t): Kempainen Pasi

Työn nimi: Telirungon koneistusmenetelmän kehittäminen ja koneistusjigin suunnittelu portaaliijrsinkoneelle

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: Telirunko, Koneistus, Portaaliijrsinkone

Tämän opinnäytetyön aiheena oli telirungon koneistusmenetelmän kehittäminen ja koneistusjigin suunnittelu portaaliijrsinkoneelle. Tilauskannan kasvaessa myös koneistuskapasiteettia tulisi saada parannettua Škoda Transtech Oy:n Otanmäen tehtaalla. Tästä syystä johtuen yritys on ehkä investoimassa uuteen portaaliijrsinkoneeseen lähitulevaisuudessa. Opinnäytetyö liittyy kyseiseen investointiin. Sen tarkoituksena oli selvittää mahdollisuus telirunkojen valmistukselle kyseisellä työstökoneetyypillä, ja se myös kuuluu koneen takaisinmaksusuunnitelmaan.

Koneistusmenetelmän kehittämisessä tuli ottaa huomioon, ettei telirunkoa voida koneistaa yhdellä kiinnityksellä portaaliijrsinkoneella. Lisäksi työkalunvaihdot ja kulmapään käännöt tuli saada mahdollisimman vähien koneistuksen aikana. Myös vaaditut pinnanlaatuvaatimukset sekä telirungon mittatarkkuus tuli ottaa huomioon.

Koneistusjigin suunnittelussa tärkeimpiä asioita oli, että siinä olisi tarvittavat säätömahdollisuudet sekä riittävän tukeva kiinnitys telirungolle. Opinnäytetyöhön kuului myös koneistusjigin 3D-mallintaminen ja FEM-analyysin tekeminen käyttäen Inventor-ohjelmaa. Salassapitovelvollisuudesta johtuen opinnäytetyössä ei ole telirungon kuvia tai kuvakaappauksia 3D-mallista.

Abstract

Author(s): Kemppainen Pasi

Title of the Publication: Developing a machining method for bogie frame and designing a machining jig for gantry type machining center

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Bogie frame, Machining, Gantry type machining center

The theme of this thesis was to develop a machining method for bogie frame and design a machining jig for gantry type machining center. Because of increased order backlog, the machining capacity at Škoda Transtech Oy's factory in Otanmäki must be increased. For this reason, the company is maybe going to invest in a new gantry type machining center in the near future. The thesis is related to this investment. Its purpose was to investigate the possibility to manufacture bogie frames in this kind of machining center and it also included the repayment schedule of this machine.

In developing a machining method, it had to be considered that the bogie frame cannot be machined in gantry type machining center using only one attachment. In addition, tool changes and rotations of the angular milling head should be as low as possible during machining. The required surface quality requirements and dimensional accuracy of the bogie frame should also be taken into consideration.

In designing a machining jig, the most important thing was that it had needed adjustments and sturdy attachment for the bogie frame. The thesis also includes the 3D-modeling of the machining jig and making the FEM-analysis using the Inventor-program. Because of the confidentiality obligation regarding the thesis, there are no pictures or screenshots from 3D-model of the bogie frame.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Portaalijyrsinkone.....	2
3	Telirunko.....	4
3.1	Käytettävät lastuavat työstömenetelmät ja työstöarvojen laskentatavat.....	4
3.2	Koneistuksen lähtötilanne (1. vaihe).....	7
3.3	Koneistettavat kohdat (1. vaihe).....	9
3.4	Koneistuksen lähtötilanne (2. vaihe).....	16
3.5	Koneistettavat kohdat (2. vaihe).....	17
4	Telirungon koneistusjigi.....	18
4.1	Suunnittelu	18
4.2	FEM-analyysi.....	21
4.3	Työturvallisuus	22
5	Yhteenveto	23
	Lähteet	24

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Škoda Transtech Oy:n Otanmäen tehtaalle. Yrityksen tilauskannan johdosta raitiovaunujen tuotannon volyymi tulee kasvamaan lähitulevaisuudessa. Nykyisillä valmistusmenetelmillä ei välttämättä pystytä vastaamaan tähän tarpeeseen, joten tehtävänäni oli selvittää, miten raitiovaunujen telirunkojen koneistus olisi mahdollista portaaliijrsinkoneella. Tuotantokapasiteetin lisäämisellä varmistettaisiin muun muassa se, että yritys pysyisi tuotanto-suunnitelman vaatimassa aikataulussa.

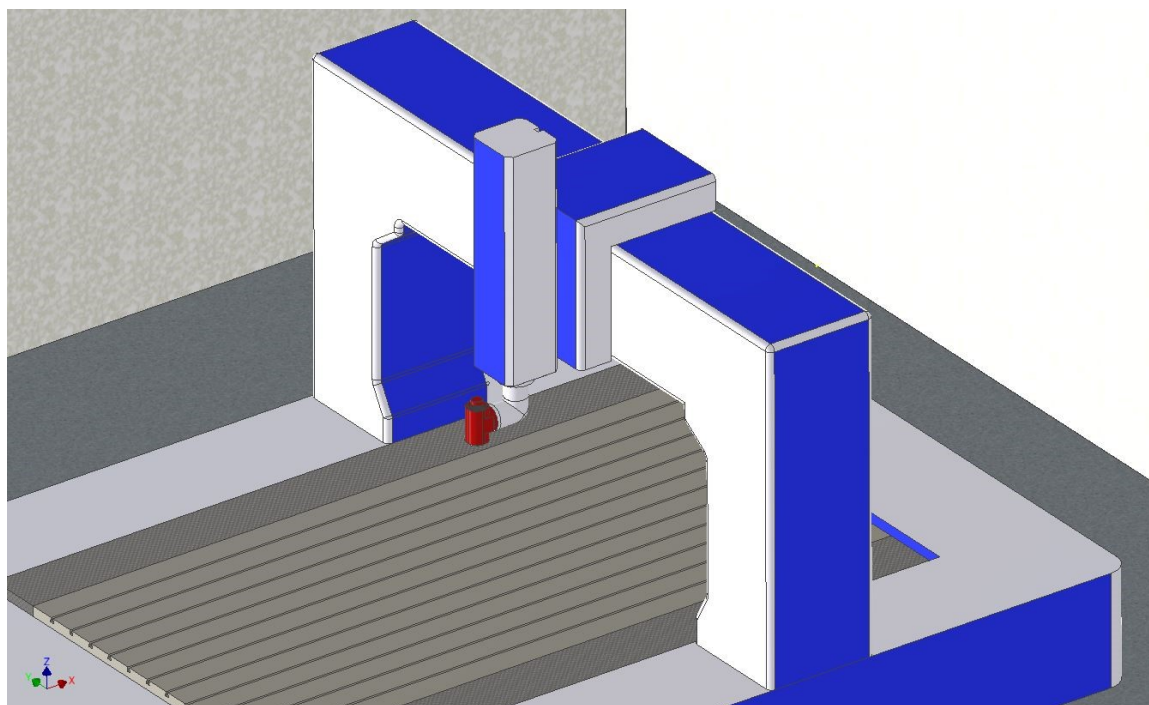
Opinnäytetyöhön kuului myös koneistusjigin suunnittelu portaaliijrsinkoneelle. Suunnittelussa tuli ottaa huomioon, että siinä olisi tarvittavat säätömahdollisuudet sekä mahdollisimman tukeva kiinnitys telirungolle. Osat ja kokoonpanot tuli myös suunnitella siten, että ne kuormittaisivat mahdollisimman vähän tuotantoa.

2 Portaaliijrsinkone

Portaaliijrsinkoneita voi olla joko liikkuvapöytäisiä tai liikkuvaportaalisia malleja. Yleensä isommat portaaliijrsinkoneet ovat liikkuvaportaalisia. Tämä tarkoittaa sitä, että työtaso pysyy paikoillaan ja työstökoneen runko kulkee koneistettavan kappaleen yläpuolella X-akselin suunnassa. Karalaatikko kulkee rungon yläosassa Y-akselin suunnassa. Verrattaessa liikkuvapöytäiseen malliin tällaisella työstökoneella voidaan koneistaa huomattavasti raskaampia kappaleita. Tämä johtuu siitä, että liikkuvapöytäisessä mallissa tarvittaisiin riittävän suuri sähkömoottori työpöydän ja sen päällä olevan kappaleen yhteismassan liikuttamiseen. Tästä syystä työstökoneiden valmistajat yleensä suunnittelevat isommat portaaliijrsinkonemallinsa liikkuvaportaalisiksi ja pienemmät vastaavasti liikkuvapöytäisiksi malleiksi.

Pienemmät portaaliijrsinkoneet voivat olla suoraan lattian päälle säätöjalkojen varaan asennettavia, mutta yleensä portaaliijrsinkoneelle joudutaan tekemään monttu lattiaan ja valamaan siihen työstökoneelle peti koneenvalmistajan ohjeiden mukaisesti. Tämä estää työstökonetta väri-
semästä vaativissa raskaammissa koneistuksissa huomattavasti tehokkaammin, kuin että se olisi pinta-asennuksella säätöjalkojen päällä. Portaaliijrsinkoneille voidaan valita lisälaitteita melko laajasta valikoimasta, muun muassa työkalunvaihtaja ja työkalumakasiinin koko, läpikaranjäähdytys, kulmapää sekä mittalaite. Kulmapäällä saadaan huomattavasti parannettua portaaliijrsinkoneen tuotantotehokkuutta, koska sen avulla voidaan yhdellä kiinnityksellä koneistaa kappaletta viidestä eri suunnasta. Kulmapään tyypistä ja koneen ohjaustekniikasta riippuen sillä voidaan saada koneistettua todella haastaviakin muotoja. Mitä laajemmin lisälaitteita valitaan portaaliijrsinkoneen investoinnin yhteydessä, sitä tehokkaammin sillä voidaan koneistaa valmistettavia tuotteita. Mutta vastaavasti nämä voivat nostaa portaaliijrsinkoneen investoinnin loppusummaa huomattavasti.

Portaaliijrsinkoneen, jolla telirunko tullaan koneistamaan, liikevarat ovat X-akselin suunnassa 6000 mm, Y-akselin suunnassa 3000 mm ja Z-akselin suunnassa 1400 mm. Koneen liikesuunnat näkyvät kuvassa 1, jossa nuolet osoittavat liikeakselien plus-suuntaan päin. Portaaliijrsinkone on myös varustettu kulmapäällä, jossa on kaksi 90° olevaa kääntöniveltä. Portaaliijrsinkoneessa käytetään Heidenhain ohjaustekniikkaa.



Kuva 1. Portaalijyrsinkoneen liikesuunnat

3 Telirunko

Telirungon koneistusmenetelmän kehittämisen lähtökohtina portaaliijysinkoneelle olivat muun muassa tuotannon tehostaminen sekä laadun parantaminen. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että ylimääräiset kulmapään käännöt sekä työnkalunvaihdot tulisi saada mahdollisimman vähiin koneistuksen aikana. Näin koneistusmenetelmästä saataisiin mahdollisimman jouheva eli koneistusaika saataisiin mahdollisimman lyhyeksi ja täten kustannustehokkaammaksi. Myös jokaiselle työvaiheelle tulisi löytää optimaalinen työkalu pinnanlaatuvaatimuksia sekä mahdollisimman tehokasta materiaalinpoistoa silmällä pitäen.

Telirungon koneistaminen ei onnistu yhdellä kiinnityksellä portaaliijysinkoneella, eli telirunko joudutaan koneistamaan kahdessa eri vaiheessa. Tämä seikka toi mukanaan omat haasteensa koneistusmenetelmän kehittämiseen. Tämä johtuu siitä, että telirungon koneistuspiirustuksissa on todella tarkasti määritelty muun muassa koneistettavien pintojen yhdensuuntaisuudet sekä koneistusmitat ovat todella tarkassa toleranssissa toisiinsa nähden.

Ensimmäiset koneistukset tehdään aina kulmapäää käännettynä Y-akselin plus-suuntaan päin. Koska koneistukset ovat pääsääntöisesti symmetriset telirungon molemmilla puolilla, tämä asia vähentää virheen mahdollisuutta ohjelmaa tehtäessä huomattavasti. Jos ensimmäiset koneistukset tehtäisiin Y-akseliin miinus-suuntaan päin, jäisi kulmapää telirungon taakse piiloon eikä koneistajalla näin olisi suoraa näköyhteyttä työstettävään kohteeseen ohjelman ensimmäisen ajon aikana.

3.1 Käytettävät lastuavat työstömenetelmät ja työstöarvojen laskentatavat

Telirungon koneistuksessa lastuavista työstömenetelmistä tarvitaan jysintää sekä porausta. Jyrsiminen on lastuava työstömenetelmä, jossa pyörivää, yleensä useammalla teräpalalla varustettua jysinterää käyttäen poistetaan materiaalia koneistettavasta kappaleesta. Jyrsimällä voidaan valmistaa muun muassa erilaisia tasomaisia sekä muotopintoja, upotuksia, uria, viisteitä, pyörityksiä ja reikiä. Jyrsittäessä valmistettava kappale kiinnitetään esimerkiksi suoraan työstökoneen työpöytään. Syöttöliike (S) ja asetusvyvyys (A) suoritetaan konemallista riippuen joko työpöydän tai työstökoneen syöttöliikkeellä. [1, s. 319.]

Jyrsinnän työstöarvoja ovat:

- Lastuamisnopeus v (m/min)
- Pyörimisnopeus n (1/min)
- Syöttö s (mm/min)
- Hammaskohtainen syöttö s_z (mm/hammas)
- Lastuamissyvyys a
- Kosketusleveys e

Jyrsittäessä lastuamisnopeus määräytyy jyrsinterän halkaisijan ja pyörimisnopeuden mukaan. Lastuamisnopeuden valintaan vaikuttavat muun muassa terän raaka-aine sekä valmistettavan kappaleen materiaali. Lastuamisnopeuden valinnassa tulee myös ottaa huomioon koneistettavan kappaleen kiinnitys ja käytössä olevan työstökoneen kunto. [1, s. 357.]

Lastuamisnopeuden laskentakaava:

$$v = \pi \times d \times n \quad (1)$$

Selite

- v Lastuamisnopeus
 d Teräpään halkaisija
 n Pyörimisnopeus

Pyörimisnopeuden laskentakaava:

$$n = \frac{v}{\pi \times d} \quad (2)$$

Selite

- n Pyörimisnopeus
 v Lastuamisnopeus
 d Teräpään halkaisija

Syötön laskentakaava:

$$s = n \cdot z \cdot s_z \quad (3)$$

Selite

s	Syöttö
n	Pyörimisnopeus
z	Jyrsimen hammasluku
s_z	Hammaskohtainen syöttö

[1, s. 360, 361.]

Pyörimisnopeus jyrittäessä kovametalliterillä voidaan myös laskea ”nyrkkisäännöllä”, jossa luku 30000 jaetaan teräpään halkaisijalla eli:

$$n = \frac{30000}{\varnothing(mm)} \quad (4)$$

[1, s. 358.]

Mielestäni kyseisessä lähteessä esitetty luku on liian pieni, koska sitä käytettynä saadaan esimerkiksi $\varnothing 80$ mm jyrsinterälle pyörimisnopeudeksi 375 (1/min) ja lastuamisnopeudeksi noin 95 m/min. Jos jaettavana lukuna käytetään 48000 tai 64000, saadaan pyörimisnopeudeksi 600 (1/min) tai 800 (1/min) ja näillä pyörimisnopeuksilla laskettuna lastuamisnopeuksiksi 151 m/min ja 201 m/min. Nämä ovat teollisuudessa käytettäviä todellisia työstöarvoja, joilla saadaan koneistuksesta mahdollisimman kustannustehokasta.

Porauksessa pyörimisnopeus ja syöttö määräytyvät poranterän halkaisijan mukaan. Pikateräksisen poranterän pyörimisnopeus saadaan laskettua kaavalla:

$$n = \frac{6000}{\varnothing(mm)} \quad (5)$$

[1, s. 92.]

Kierroskohtainen syöttö saadaan laskettua jakamalla poranterän halkaisija (mm) luvulla 100. Syöttö saadaan kertomalla kierroskohtainen syöttö pyörimisnopeudella.

Taulukossa 1 on listattuna kaikki työkalut, joita telirungon koneistusmenetelmässä käytetään.

Jyrsimet:	Pyörimisnopeus (1/min)	Syöttö (mm/min)	Lastuamisnopeus (m/min)
Ø20mm tappijyrsin (kovametalli)	1000	225	62,8
Ø20mm nurkkajyrsin	2400	480	150,8
Ø25mm nurkkajyrsin/R-nurkkajyrsin	1920	576	150,8
Ø40mm nurkkajyrsin/R-nurkkajyrsin	1200	480	150,8
Ø63mm siilijyrsin	760	300	150,4
Ø50mm pyöreäteräinen taso jyrsin	960	576	150,8
Ø200mm pyöreäteräinen taso jyrsin	240	192	150,8
Ø100mm kiekko jyrsin	480	240	150,8
Ø200mm kiekko jyrsin	240	120	150,8
45° viiste jyrsin	1500	400	(94,2)
R6 kulmanpyöröstys jyrsin	600	200	(37,7)
Poranterät:			
Ø6,8mm poranterä	880	88	18,8
Ø8,5mm poranterä	700	70	18,7
Ø13mm poranterä	460	70	18,8
Ø14mm poranterä	430	65	18,9
Ø17,5mm poranterä	340	70	18,7
Ø18mm poranterä	330	70	18,7
Kierretapit:			
Työntävä M8 kierretappi	250	312,5	6,3
Nostava M10 kierretappi	200	300	6,3
Nostava M16 kierretappi	150	300	7,5
Nostava M20 kierretappi	100	250	6,3

Taulukko 1. Työkalut ja niiden työstöarvot

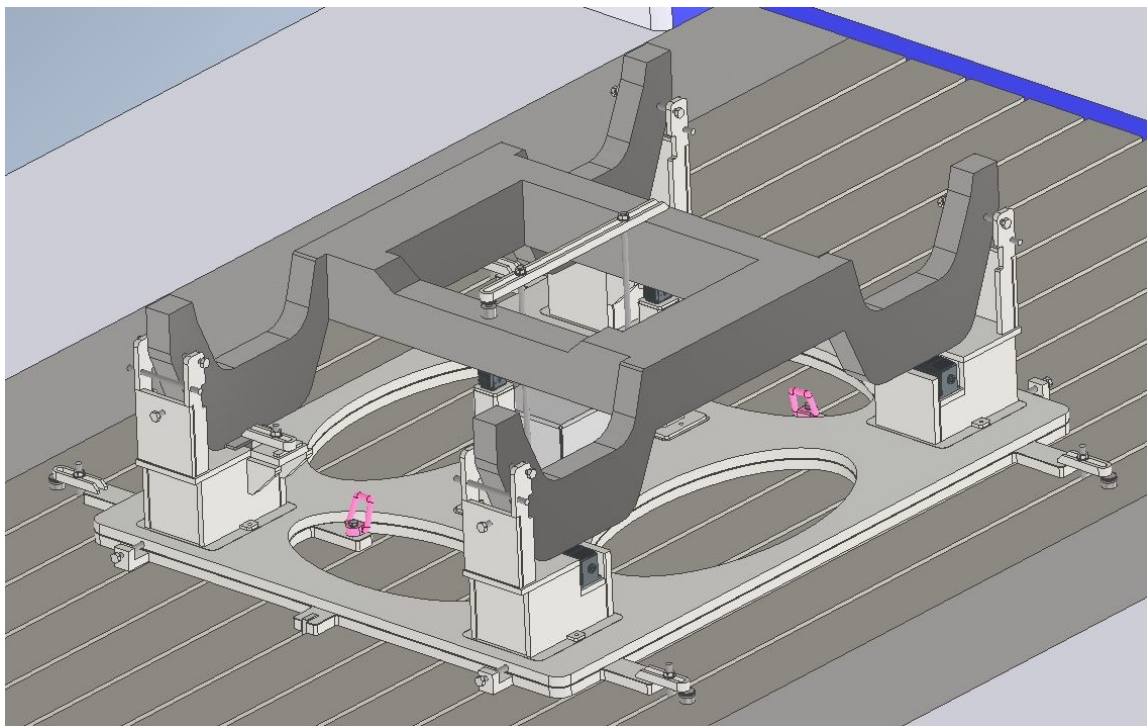
3.2 Koneistuksen lähtötilanne (1. vaihe)

Telirunko voidaan valmiiksi asentaa koneistusjigiin lattialla ja sen jälkeen nostaa portaalijyrsinkoneen työtasolle koneistusjigissä olevista nostolenkeistä. Toinen vaihtoehto on, että koneistusjigi kiinnitetään aluksi työtasoon, jonka jälkeen telirunko nostetaan siihen paikoilleen.

Koneistuksen ensimmäisessä vaiheessa telirunko lasketaan koneistusjigiin siinä olevien neljän korkeudensäätökiilan päälle ulkokannakkeet ylöspäin (kuva 2). Näillä saadaan säädettyä telirungon suoruus Z-akselin suunnassa. Aluksi vesivaaka laitetaan telirungon pohjalevyjen päälle ja sen avulla tehdään ensimmäinen säätö. Tämän jälkeen tarkemmat mittaukset suoritetaan käyttä-

mällä portaaliijyrinkoneen ohjausjärjestelmän kosketusanturia. Telirungon koneistuspiirustuksissa on määritelty mittauspisteet Z-akselin suoruuden tarkastamiselle. Näitä pisteitä on kummasakin pohjalevyssä kolme kappaletta. Seuraavaksi telirungon suoruus Z-akselin suunnassa mitataan näistä kuudesta pisteestä. Jos telirungon suoruus on sallitun toleranssin sisällä, asetetaan Z-akselin nollapiste kuuden mittaamalla saadun tuloksen keskiarvoon.

Tämän jälkeen telirungon suoruus mitataan X- ja Y-akselien suunnassa kosketusanturia käyttäen. Ulommissa uumalevyissä on määriteltynä koneistuspiirustuksessa kaksi mittauspistettä kummallakin puolella Y-akselin suunnassa. X-akselin suunnassa telirungon suoruus tarkastetaan U-sivupalkkien esikoneistetuista mittapinnoista. Jos tässä kohtaa todetaan mittaustuloksista, ettei telirunko ole tarpeeksi suorassa, sitä käännetään jigin kääntömekanismia käyttäen. Tämän jälkeen mittaus suoritetaan uudelleen. Kun telirunko on saatu haluttuun asentoon, asetetaan sen jälkeen X- ja Y-akselien nollapisteet telirungon keskelle. Y-akselin suunnassa nollapiste mitataan ulompien uumalevyjen mittapisteistä ja X-akselin suunnassa U-sivupalkkien mittapinnoista, eli samoista kohdista mistä telirungon suoruus todennettiin aiemmin.



Kuva 2. Esimerkkikuva telirungon kiinnityksestä koneistusjigiin 1. vaiheessa

3.3 Koneistettavat kohdat (1. vaihe)

Telirungossa on paljon koneistettavia kohtia ja käyn ne seuraavaksi läpi suunnittelemassani järjestyksessä. Samalla käyn myös läpi, millä työkaluilla kyseiset kohdat koneistetaan. Käytettävät työstöarvot löytyvät taulukosta 1. Ensimmäisenä koneistetaan pohjalevyissä olevat $\varnothing 50$ mm reiät sekä iskunvaimentimien aukot. $\varnothing 50$ mm reikiä on kummassakin pohjalevyssä kaksi kappaletta ja iskunvaimentimien aukkoja kaksi erilaista kummassakin levyssä. Näiden kaikkien koneistaminen on paras tehdä $\varnothing 25$ mm nurkkajyrsimellä. Iskunvaimentimien toisen aukon muodossa oleva pienin sisäpuolinen säde on 14, eli tämän aukon koneistus on kaikista optimaalisinta suorittaa $\varnothing 25$ mm nurkkajyrsimellä. Koska kaikissa koneistuksissa työstösuunta on sama eli suoraan alaspäin Z-akselin suunnassa, ei jouduta tekemään ylimääräisiä kulmapään kääntöjä koneistusten välillä. On kuitenkin otettava huomioon, että teräpää on asennettuna riittävän pitkään terävarteen, jottei työstökone törmää esimerkiksi pystyasennossa olevaan levyyn iskunvaimentimien aukkoja koneistettaessa. $\varnothing 50$ mm reikien koneistus onnistuu parhaiten ”porausjyrsintä”-työkierrolla. Iskunvaimentimien aukkoja koneistettaessa kumpikin työstörata ohjelmoimaan lineaari- sekä kaariliikkeillä käyttäen ja näistä kummastakin työstöradasta tehdään omat aliohjelmansa. Nurkkajyrsin siirretään vasemmanpuoleisen aukon ensimmäiseen haluttuun lastuamissyvyyteen -4 mm ja kutsutaan kyseisen aukon aliohjelma. Tämän jälkeen aliohjelman kutsu toistetaan -8 mm, -12 mm ja -17 mm lastuamissyvyyksillä. Tämän jälkeen koneistetaan oikeanpuoleinen aukko samoilla lastuamissyvyyksillä kyseisen aukon aliohjelmaa käyttäen. Aliohjelmaa käyttämällä ohjelmasta saadaan selkeämpi sekä lyhyempi ja tarvittaessa muutoksia joudutaan tekemään vain yhteen kohtaan ohjelmassa. Tämä asia vähentää virheen mahdollisuutta ohjelmaa muokatessa huomattavasti.

Samalla työkalulla voidaan myös koneistaa U-sivupalkeissa olevat ensiöjousituksen vastimen kiinnityspinnat sekä sidetangon kiinnittimien muodot. Nämä sijaitsevat telirungon molemmilla puolilla Y-akselin suunnassa, eli kulmapäätä käännetään kaksi kertaa koneistuksen aikana. Koska käytämme edellistä työkalua, ei työkalunvaihtoa tarvitse suorittaa. Aluksi kulmapää käännetään koneen pääkoordinaatiston Y-akselin plus-suuntaan, jolloin saadaan koneistettua neljä kiinnityspintaa sekä kaksi sidetangon kiinnitintä. Kiinnityspintojen koneistus onnistuu tasojyrsinnällä, eli työstörata ohjelmoidaan lineaariliikkeillä. Koska sidetangon kiinnittimen muodossa on 7 mm suoraa koneistettavaa pintaa ennen pyöristyneen alkamista, on tämän kohdan koneistaminen paras tehdä ”uran jyrsintä”-työkiertoa käyttäen. Tämän jälkeen kulmapää käännetään koneen pääkoor-

dinaatiston Y-akselin miinus-suuntaan, jolloin saadaan koneistettua toiselta puolelta neljä kiinnityspintaa sekä kaksi sidetangon kiinnitintä. Edellisen puolen ohjelma kopioidaan, ja siihen tehdään tarvittavat muutokset.

Seuraava työvaihe on U-sivupalkkien muodon rouhinta. U-sivupalkkeja on telirungon kummallakin puolella kaksi kappaletta, ja koneistussuunta on jälleen Y-akselin suuntainen. Kulmapään kääntöjä tehdään kaksi kappaletta ja työkaluna käytetään $\varnothing 63$ mm siilijyrsintä. Koneistuspiirustuksissa on määritelty pysty- ja vaakasuunnissa oleville suorille pinnoille Ra6,3 pinnanlaatuvaatimus. Tähän pinnanlaatuun ei siilijyrsimellä päästä, joten näihin kyseisiin kohtiin tulee jättää työvara myöhemmin tapahtuvaa viimeistelykoneistusta varten. Aluksi kulmapää käännetään Y-akselin plus-suuntaan. Z-akselin nollapiste siirretään ohjelmassa telirungon keskeltä U-sivupalkin levyn reunassa olevaan aiemmin koneistettuun pintaan nollapistesiirrolla. Oikeanpuoleisen U-sivupalkin rouhinnan työstörata ohjelmoidaan käyttäen lineaari- ja kaariliikkeitä. Tämän jälkeen kyseisestä työstöradasta tehdään aliohjelma. Siilijyrsin siirretään ensimmäiseen lastuamissyvyyyteen -35 mm ja kutsutaan aliohjelma. Tämän jälkeen sama aliohjelma toistetaan lastuamissyvyyksillä -70 mm, -105 mm ja -145 mm, jolloin saadaan koneistettua U-sivupalkki vaaditulta alueelta.

Koska oikean- ja vasemmanpuoleinen U-sivupalkki ovat toistensa peilikuvat, voitaisiin jo tehty aliohjelma peilata, mutta en suosittelen tätä tapaa. Tämä siitä syystä, että jos oikeanpuoleinen työstörata on tehty myötäjyrsinnällä ja se peilataan, tulisi vasemman puolen työstörata vastajyrsinnällä. Vasemmalle puolelle täytyy ohjelmoida oma työstöratansa, josta tehdään oma aliohjelmansa. Vasemmanpuoleisen U-sivupalkin rouhinnassa käytetään samoja lastuamissyvyyyksiä kuin oikealla puolella. Tämän jälkeen kulmapää käännetään Y-akselin miinus-suuntaan ja samat koneistukset tehdään telirungon toiselle puolelle.

Seuraavaksi on U-sivupalkkien tasopintojen viimeistelykoneistus. Työkaluna käytetään $\varnothing 200$ mm pyöreäteräistä tasojyrsintä. Työkalun tulee olla riittävän lyhyeen terävarteen kiinnitettynä, jotta pystysuunnassa olevia tasopintoja koneistettaessa kulmapää sopii U-sivupalkin sisään ilman törmäystä telirunkoon. Koneistettavat tasopinnot ovat kolmessa eri suunnassa, Z-akselin miinus-suunnassa sekä X-akselin plus- ja miinus-suunnassa, joten tämän työvaiheen aikana on kolme kulmapään kääntöä. Ensimmäisessä vaiheessa kulmapää käännetään alaspäin eli Z-akselin miinus-suuntaan. Tällä samalla kulmapään asennolla on mahdollista koneistaa kaikista neljästä U-sivupalkista vaakatasossa olevat tasopinnot. Työrata ohjelmoidaan lineaariliikkeillä käyttäen. Kun vasemmalla puolella olevat pinnot on viimeistelty, kulmapää ajetaan Z-akselin suunnassa niin ylös kuin on mahdollista, jotta päästään siirtymään telirungon oikealle puolelle ilman törmäystä. Tämän jälkeen viimeistellään oikeanpuoleisten U-sivupalkkien vaakatasossa olevat tasopinnot.

Toisessa vaiheessa kulmapää käännetään oikealle eli X-akselin plus-suuntaa kohden. Tällä kulmapään asennolla saadaan koneistettua kaikkien neljän U-sivupalkin oikealla puolella olevat pystysuorat tasopinnat. Koska kone on tässä kohtaa ohjelmaa telirungon oikealla puolella, koneistetaan aluksi oikeanpuoleisten U-sivupalkkien tasopinnat. Tämän jälkeen kulmapää ajetaan riittävän ylös, jotta päästään siirtymään telirungon vasemmalle puolelle. Tämän jälkeen koneistetaan vasemmanpuoleisten U-sivupalkkien oikeanpuoleiset tasopinnat.

Kolmannessa vaiheessa kulmapää käännetään vasemmalle eli X-akselin miinus-suuntaan. Näin saadaan koneistettua aluksi vasemmanpuolimmaisista U-sivupalkeista vasemmanpuoleiset tasopinnat. Telirungon yli siirtymisen jälkeen koneistetaan oikeanpuoleisista U-sivupalkeista vasemmanpuoleiset tasopinnat. Telirungon keskiosan oikealla puolella on myös koneistettava tasopinta. Tämä voidaan koneistaa samalla työkalulla kuin U-sivupalkkien tasopinnat. Kulmapää on myös valmiiksi käännettynä oikeaan suuntaan, joten tämän tasopinnan koneistus onnistuu ilman ylimääräisiä kulmapään kääntöjä tai työkalun vaihtoja.

U-sivupalkkien pystysuoriin tasopintoihin täytyy koneistaa urat. Näiden tekeminen onnistuu parhaiten $\varnothing 100$ mm kiekkojyrsimellä. Uran päihin vaaditaan muoto R50 ja koska kiekon halkaisija on 100 mm, tulee se täten automaattisesti. Urat joudutaan koneistamaan telirungon kahdelta puolelta, joten kulmapään kääntöjä tulee tässä kohtaa kaksi kappaletta. Koska kiekkojyrsimen terän leveys on 12 mm ja koneistuspiirustuksessa vaadittu uran leveys on 20 mm, ensimmäisellä työkierrolla ura aukaistaan keskeltä. Tämän jälkeen uraa levitetään molempiin suuntiin 4 mm seuraavilla työkierron kiertä. Tämä sama asia toistetaan jokaisessa kahdeksassa urassa.

Telirungon sivupalkkien ulompiin uumalevyihin on merkattu koneistuspiirustuksessa kaksi aluetta, jotka tulee koneistaa telirungon loppukoneistuksessa. Uumalevyissä on kummallakin puolella on noin 7 mm työvaraa ja työkaluna käytetään $\varnothing 50$ mm pyöreäteräistä tasojyrsintä. Aluksi kulmapää käännetään Y-akselin plus-suuntaan ja nollapiste siirretään Z-akselilla telirungon keskilinjasta uumalevyn valmiiseen koneistettuun pintaan nollapistesiirrolla ohjelmoinnin helpottamiseksi. Työstöradat ohjelmoidaan käyttäen lineaari- ja kaariliikkeitä ja kummastakin työstöradasta tehdään omat aliohjelmansa. Koska tällä kertaa nollapiste on valmiissa koneistetussa pinnassa, lastuamissyvydet on määriteltävä plus-merkkisinä. Työkalu siirretään ensimmäiseen lastuamissyvyyteen +4 mm ja kutsutaan aliohjelma. Tämän jälkeen sama aliohjelma toistetaan lastuamissyvyyksillä +2 mm ja +0,5 mm eli koneistettavalle alueelle jätetään 0,5 mm viimeistelyvara. Kun telirungon toisen puolen uumalevystä on kumpikin koneistettava alue rouhittu 0,5 mm pää-

hän määrämistä, työstökone pysäytetään ja tarkastetaan palojen kunto ennen viimeistelyä. Tämän jälkeen kulmapää käännetään Y-akselin miinus-suuntaan ja samat koneistukset tehdään telirungon toiselle puolelle edellä mainittua menetelmää käyttäen.

Ennen työkalunvaihtoa samalla tasoajyrillä koneistetaan samaan tasoon sidetangon kiinnittimien yläpinnat. Eli materiaalia poistetaan tässä vain sen verran että kaikki pinnat saadaan juuri ja juuri puhtaaksi. Tätä ei ole merkattu koneistuspiirustuksiin ja siitä johtuen tälle asialle on pyydetty erikseen lupa telirungon suunnittelijoilta. Pinnat koneistetaan sen takia, että telirungon koneistuksen toisessa vaiheessa se saadaan suoraan näitä koneistettuja pintoja hyödyntäen. Ilman näiden pintojen oikaisukoneistusta, olisi jouduttu valmistamaan myös toinen koneistusjigi telirungolle. Tämä olisi tuonut mukanaan lisää kustannuksia johtuen siihen käytettävistä materiaaleista sekä telirungon valmistukseen kuluviista miestyötunneista (osien valmistus, kokoonpanohitsaus, koneistukset, säilytystila). Eli yllättävänkin pieniltä tuntuvilla asioilla voidaan saada melko merkittäviäkin säästöjä aikaiseksi.

Sivupalkkien ulompiin uumalevyihin täytyy myös koneistaa kaksi Ø25 H7 pohjareikää sekä kaksi kappaletta soikean muotoisia pohjareikiä kummallekin puolelle telirunkoa. Soikean muotoiset pohjareivät on toleroitu leveydeltään mittaan 25 H7 ja pituudeltaan mittaan 26 H11. Kaikki pohjareivät ovat syvyydeltään 10mm. Kaikki nämä on paras koneistaa lyhyellä Ø20 mm nurkkajyrillä. Aluksi kaikki pohjareivät rouhitaan mittaan Ø24 mm käyttämällä ”porausjyrä”-työkiertoa. Koska porausjyrä tehdään umpinaiseen materiaaliin, täytyy työstöarvojen kanssa olla tässä kohtaa maltillinen. Asetussyvyys tulee olla 0,25 mm kierrosta kohden ja syöttöarvo 200 mm/min. Tämän jälkeen tehdään vielä toinen rouhinta mittaan Ø24,7 mm. Rouhintojen jälkeen samalla työkalulla viimeistellään reiät. Ennen viimeistelyn aloittamista tulee kuitenkin tarkastaa nurkkajyrin teräpalojen kunto mahdollisimman hyvän pinnanlaadun varmistamiseksi. Ø25 H7 pohjareivät viimeistellään käyttämällä ”porausjyrä”-työkiertoa ja soikeat pohjareivät ”uran jyrä”-työkiertoa käyttäen. Kun telirungon toiselta puolelta on saatu kyseiset kohdat koneistettua, tehdään kulmapään kääntö ja koneistetaan pohjareivät toiselle puolelle telirunkoa.

Telirungon kulmissa oleviin ulkokannakkeisiin koneistetaan urat pysty- ja vaakasuunnassa. Nämä urat aluksi rouhitaan Ø200 mm kiekkojyrillä. Pystysuunnassa olevien urien leveys on 34 mm ja vaakasuunnassa olevien urien 24 mm. Kaikki urat rouhitaan kolmella työkierrolla. Aluksi ura rouhitaan keskeltä auki, jonka jälkeen uria levennetään kummallekin puolelle jättäen uran laiduille sekä pohjaan viimeistelyvara. Urien sisänurkkiin tulee myös jättää työvara R4-pyöritykselle, eli uria levennettäessä tulee kiekkojyrin olla kauempana uran pohjasta kuin mitä urien aukaisussa. Tämä työvaihe saadaan tehtyä kahdella kulmapään käännöllä. Kun kaikki urat on

saatu rouhittua, työkaluksi vaihdetaan $\varnothing 20$ mm R-tappijyrsin. Tällä työkalulla kaikki urat saadaan viimeistelyä kolmella kulmapään käännöllä. Lopuksi vaakatasossa olevien urien ulkolaitoihin koneistetaan R6-pyöritykset käyttämällä kulmanpyöritysjyrsintä.

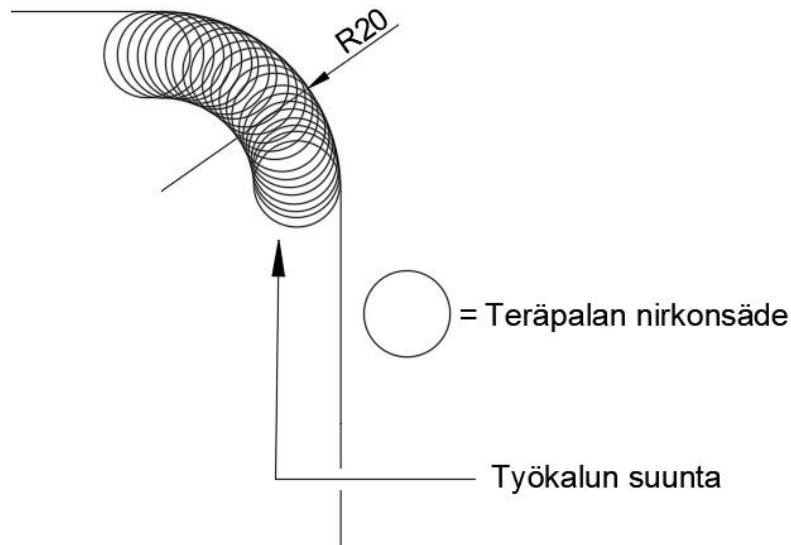
Jos käytettävissä olisi $\varnothing 200$ mm kiekkojyrsin, jolla olisi mahdollista koneistaa samalla uran sisänurkkaan R4-pyöritys, saataisiin kaikkien urien koneistus tehtyä yhdellä ainoalla työkalulla. Tämä lyhentäisi telirungon koneistuksen läpimenoaikaa noin 30 minuuttia. Koska telirunkojen tuotantotahti tulee olemaan tulevaisuudessa todella kiivas, saataisiin työkaluun investoidut rahat suhteellisen nopeasti takaisin.

Telirungon keskiosan sisäpuolella on kuusi tasopintaa, jotka täytyy koneistaa. Näitä tasopintoja ei pystytä koneistamaan kohtisuoraan, mikä olisi optimaalisinta, koska kulmapää ei sovi telirungon keskiosan sisään. Tästä johtuen koneistukset joudutaan tekemään ylhäältäpäin porrastetusti pitkässä varressa olevalla $\varnothing 40$ mm nurkkajyrsimellä. Jokaisen tasopinnan koneistukselle tehdään omat aliohjelmasa. Kaikissa näissä pitää olla erityisen tarkkana terän lähestymis- sekä poistumislausekkeissa, jottei törmäystä telirunkoon pääse tapahtumaan. Kun kaikki koneistukset tehdään aliohjelmilla, täytyy nämä koordinaatit syöttää ohjelmaan vain kerran. Tämä helpottaa ohjelman muokkausta myöhemmin niin tarvittaessa.

Samalla työkalulla ja kulmapään asennolla koneistetaan myös nostorajoittimien sivupinnat. Nämä sijaitsevat telirungon keskiosan sisäpuolella kummallakin puolella lähellä tasopintoja, jotka juuri koneistettiin. Jokaisen sivupinnan työstöradasta luodaan omat aliohjelmasa ja koneistus tapahtuu tässäkin kohtaa porrastetusti alaspäin. Nostorajoittimien yläpinnan muoto myös koneistettava. Työkaluna käytetään pitkässä varressa olevaa $\varnothing 25$ mm R-nurkkajyrsintä, jonka teräpalkan nirkonsäde on 4,8. Aluksi kulmapää on käännettynä Z-akselin miinus-suuntaan eli suoraan alaspäin. Tässä asennossa koneistetaan pysty- sekä vaakatasossa olevat pinnat. Kun kaikista neljästä nostorajoittimesta on nämä pinnat koneistettu, käännetään kulmapää siten että aluksi Y-akselin plus-suunnassa olevien nostorajoittimien 50° kulmassa olevat vinopinnat saadaan koneistettua. Tämän jälkeen kulmapää käännetään vastaavasti Y-akselin miinus-suuntaan ja koneistetaan vielä kahdesta nostorajoittimesta vinopinnat.

Telirungon vasemmalla puolella on kaksi kallistuksenvakaajan kiinnikkeen paikkaa. Näiden kohtien muodon koneistaminen olisi optimaalisinta tehdä yläpuolelta suoraan alaspäin, mutta koska edessä on telin keskiosan poikittaislevy, ei koneistus onnistu tästä työsuunnasta. Aukkojen koneistusta varten kulmapää on käännettävä X-akselin plus-suuntaan ja koneistus tehdään $\varnothing 40$ mm

R-nurkkajyrsimellä. Koneistettavan muodon nurkissa on R20 pyöristykset ja nämä joudutaan koneistamaan pykältämällä vähän kerrallaan ylhäältä alaspäin (kuva 3). Koska kallistuksenvakaajien aukkojen viereen tehdään pohjakierreireiät, jotka on mitoitettu tarkasti aukon päädyistä, ei aukkoja voida sen takia tehdä koneistuksen toisessa vaiheessa. Jos kierreireiät olisivat läpi asti meneviä, voitaisiin aukot siinä tapauksessa koneistaa myöhemmin ja tämä asia helpottaisi niiden tekemistä merkittävästi.



Kuva 3. Esimerkkikuva kallistuksenvakaajan aukon koneistuksesta

Toisen iskunvaimentimen aukon vieressä pystyasennossa olevaan levyyn täytyy koneistaa tasopinta. Työkaluna käytetään $\varnothing 63$ mm siilijyrsintä ja kulmapää on käännettynä Z-akselin miinus-suuntaan. Samalla työkalulla sekä kulmapään asennolla saadaan oikaisukoneistettua ulkokannakkeiden sekä sidetangon kiinnittimien sivupinnat.

Telirunkoon koneistetaan yhteensä kaksitoista kappaletta M16 kierreireikiä. Ne sijaitsevat pohja-levyissä, kallistuksenvakaajan aukkojen luona sekä jokaisen ulkokannakkeen pystysuunnassa olevan uran pohjalla. Aluksi kaikki reiät porataan $\varnothing 14$ mm poranterällä. Kaikissa rei'issä on sama työstösuunta eli kulmapää on käännettynä Z-akselin miinus-suuntaan. Kun kaikki reiät on saatu porattua, niihin tehdään kartioupotukset sekä puhdistetaan paineilmaa käyttäen. Kallistuksenvakaajien aukkojen luona olevat kierreireiät ovat pohjareikiä. Vaikka kaikki muut ovatkin läpireikiä, käytetään silti kaikkien kierteiden valmistuksessa nostavaa M16 kierretappia eli samaa työkalua. Jos kierteiden valmistuksessa käytettäisiin työntävää kierretappia, syntyvät metallilastut menisivät sivupalkkien kotelorakenteen sisään. Kierretappi ei voi olla myöskään standardipituinen vaan

sen tulee olla tätä pidempi. Koska ulkokannakkeen kierrereiät sijaitsevat 55 mm syvän uran pohjalla, ei näitä pystyittäisi valmistamaan standardimittaisella kierretapilla.

Kumpaankin pohjalevyyn tulee neljä kappaletta $\varnothing 14$ mm reikiä, kaksi kappaletta $\varnothing 13$ mm reikiä sekä yksi M8 kierrereiä. Työkaluina käytetään $\varnothing 14$ mm, $\varnothing 13$ mm ja $\varnothing 6,8$ mm poranteriä sekä työntävää M8 kierretappia. Työstösuunta on kaikissa rei'issä sama eli ylimääräisiä kulmapään kääntöjä ei tule porausten välillä. Kun kaikki reiät on saatu porattua, niihin tehdään kartioupotukset ja puhdistetaan paineilmaa käyttäen. Tämän jälkeen valmistetaan M8 kierteet.

Aiemmin koneistettuihin ensiöjousituksen vastimen kiinnityspintoihin tehdään jokaiseen M10 pohjakierrereiä. Työkaluina käytetään $\varnothing 8.5$ mm poranterää sekä nostavaa M10 kierretappia. Kulmapään kääntöjä on tässä työkierrrossa kaksi kappaletta. Aluksi kulmapää on käännettynä Y-akselin plus-suuntaan ja tässä työstösuunnassa porataan neljä reikää. Tämän jälkeen kulma pää käännetään Y-akselin miinus-suuntaan ja siirrytään samalla telirungon toiselle puolelle. Tässä työstösuunnassa porataan loput neljä reikää. Tämän jälkeen reikiin tehdään kartioupotukset ja puhdistetaan, jonka jälkeen valmistetaan M10 kierteet. Jos kyseessä on tällainen tapaus, jossa valmistetaan useita samankokoisia kierrereiä, käytetään aliohjelmointia. Eli kaikki lineaariliikkeet, mitä porauksen aikana tehdään, laitetaan omaan aliohjelmaansa. Kun porauksen jälkeen tehdään kierteitys, tarvitsee ohjelmassa määritellä vain uusi työkalu ja kierteitys-työkierto, jonka jälkeen kutsutaan aliohjelma. Tämä helpottaa huomattavasti ohjelman muokkausta varsinkin isommissa osissa, joissa on satoja kierrereiä, koska muutokset täytyy tehdä vain yhteen kohtaan ohjelmassa. Telirungon sivupalkkeihin porataan kummallekin puolelle 13 kappaletta $\varnothing 18$ mm reikiä. Työkaluna käytetään $\varnothing 18$ mm poranterää. Työstösuunnat ja kulmapään käännöt ovat samat kuin aiemmin valmistettaessa M10 kierrereiä.

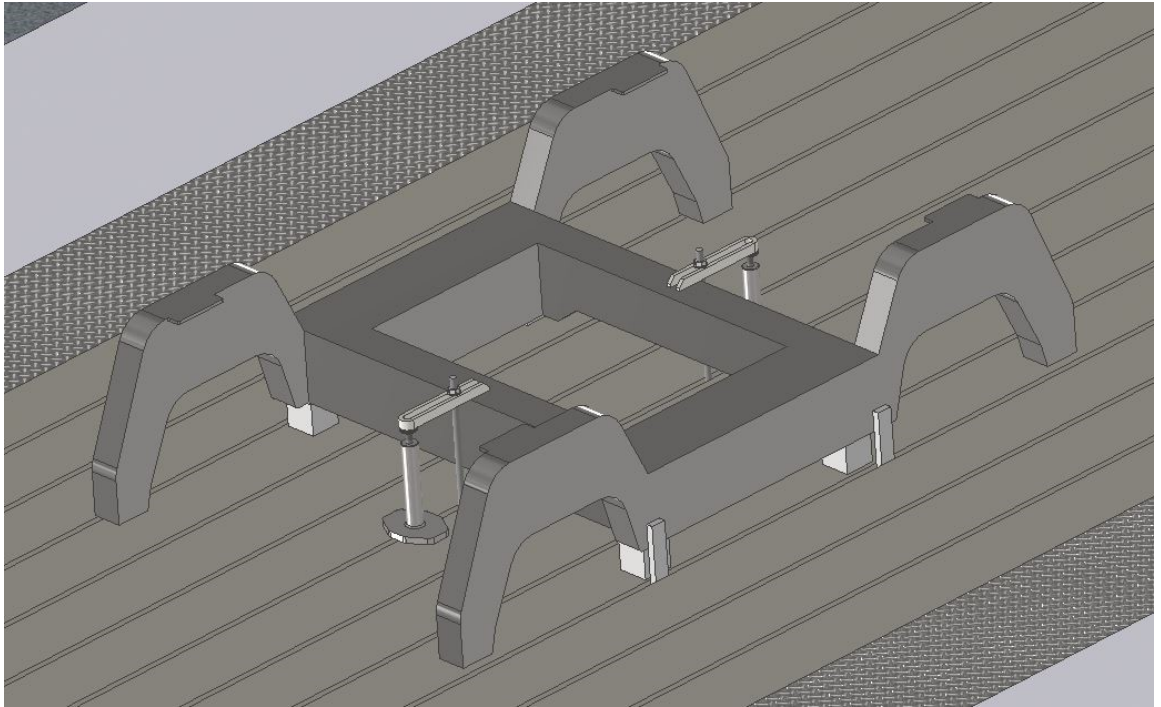
Telirungon keskiosan oikealle puolelle koneistettuun pintaan valmistetaan neljä kappaletta M20 kierrereiä. Työkaluina käytetään $\varnothing 17,5$ mm poranterää ja nostavaa M20 kierretappia. Vaikka reiät ovat läpireikiä, käytetään nostavaa kierretappia, jotteivat metallilastut menisi telirungon keskiosan kotelarakenteen sisään. Työstösuunta on vasemmalle eli kulmapää käännetään X-akselin miinus-suuntaan. Kun reiät on saatu porattua, niihin tehdään kartioupotukset ja puhdistetaan. Koska kyseessä on jo melko iso kierrereiäkoko, kierteityksessä käytetään leikkuunesteen sijasta metallintyöstötahnaa. Tällä tavoin saadaan valmiista kierteestä paremman laatuinen, kuin mitä leikkuunestettä käytettäessä.

Jos telirunkoja valmistetaan sarjassa, 1. vaiheen jälkeen koneistettu telirunko irrotetaan ja nostetaan pois koneistusjigistä. Tämän jälkeen koneistamaton telirunko nostetaan tilalle. Jos vastavasti koneistetaan vain yksi telirunko, voidaan koneistusjigi nostaa pois portaaliijysinkoneelta telirungon ollessa siinä kiinni. Näin päästään aloittamaan seuraavaa työtä nopeammin eli saadaan tehostettua tuotantoa.

3.4 Koneistuksen lähtötilanne (2. vaihe)

Aluksi telirunko käännetään ympäri ja sen jälkeen se nostetaan portaaliijysinkoneen luokse. Työtason ja telirungossa olevien sidetangon kiinnittimien yläpintojen väliin laitetaan aluspalat. Nämä pinnat oikaistiin koneistuksen 1. vaiheessa. Työtason uraan laitetaan pystyyn kiilat, joita vasten kahden sidetangon kiinnittimen koneistetut sivupinnat työnnetetään (kuva 4). Tämän jälkeen telirunko kiinnitetään työtasoon.

Z-akselin nollapiste otetaan U-sivupalkkien vaakasuoraan koneistetuista tasopinnoista. Tähän tasopintaan laitetaan arvoksi se mitta, johon se 1. vaiheessa koneistettiin. Näitä pintoja on neljässä kohtaa, joten telirungon suoruus Z-akselin suunnassa voidaan myös tarkastaa näistä pinnoista. Y-akselin nollapiste otetaan telirungon keskelle ulompien uumalevyjen koneistetuista tasopinnoista. Näistä tasopinnoista voidaan myös tarkastaa telirungon suoruus X-akselin suunnassa. X-akselin nollapiste otetaan telirungon keskelle U-sivupalkkien pystysuoraan koneistetuista tasopinnoista. Niistä voidaan myös tarkastaa telirungon suoruus Y-akselin suunnassa.



Kuva 4. Esimerkkikuva telirungon kiinnityksestä 2. vaiheessa

3.5 Koneistettavat kohdat (2. vaihe)

Telirungon kummallakin puolella on reaktiotangon kiinnityspesät, kiinnitysreiät sekä kaksi koneistettavaa tasopintaa. Kaikissa työvaiheissa työstösuunta on sama eli kulmapää on käännettynä Z-akselin miinus-suuntaan. Aluksi tasopinnot sekä reaktiotangon pinta koneistetaan samaan tasoon. Työkaluna käytetään $\varnothing 200$ mm pyöreäteräistä tasoajyrsintä. Reaktiotangon kiinnityspesään täytyy koneistaa kiilaura mittaan 36 H7. Työkaluna käytetään $\varnothing 25$ mm nurkkajyrsintä. Aluksi urat rouhitaan mittaan 35,7 mm käyttämällä ”uran jyrsintä”-työkiertoa. Samalla työkierrolla tehdään myös uran viimeistely. Ennen viimeistelyn aloittamista tarkastetaan teräpalojen kunto. Ensimmäisen silityksen jälkeen ura mitataan ja tarvittaessa koneistetaan uudelleen. Lopuksi uran nurkkiin koneistetaan $1 \times 45^\circ$ viisteet käyttäen viistejyrsintä. M20 kiinnitysreiät porataan aluksi $\varnothing 17,5$ mm poranterällä. Tämän jälkeen reikiin tehdään kartioupotukset ja puhdistetaan paineilmalla, jonka jälkeen reikiin laitetaan metallintyöstötahnaa. Kierteiden valmistuksessa työkaluna käytetään nostavaa M20 kierretappia.

4 Telirungon koneistusjigi

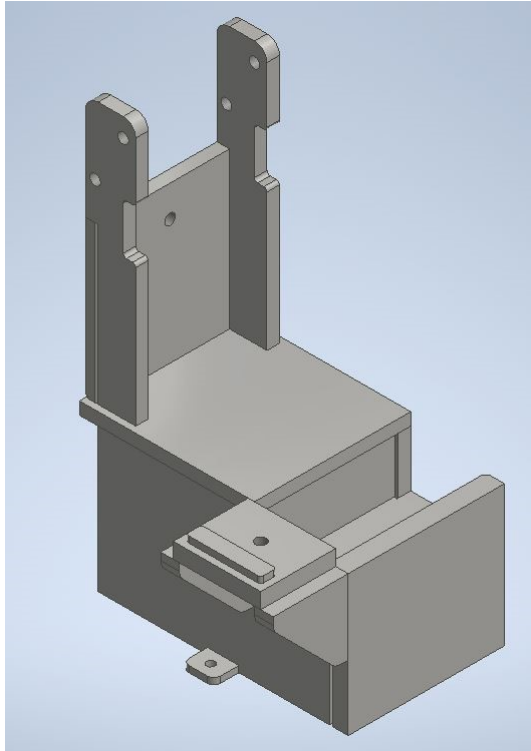
Telirungon koneistusjigin suunnittelun aloituksessa tuli ottaa monta eri asiaa huomioon. Ensinnäkin telirunko tulisi saada riittävän tukevasti kiinnitettyä, jotta koneistetuista pinnoista tulisi mahdollisimman hyvälaatuisia. Koneistusjigi tuli suunnitella myös siten, että jokaiseen koneistettavaan kohteeseen olisi vaivaton pääsy työkalulla. Siinä täytyi myös ottaa huomioon telirungon säädettävyys. Koska portaalijyrsinkoneessa, jolla telirunko tullaan valmistamaan, ei ole pyöröpöytää, tulisi koneistusjigissä olla hienosäätö telirungon säätämiseksi. Telirunkoa tulisi myös pystyä säätämään Z-akselin suunnassa.

4.1 Suunnittelu

Aluksi suunnitteluprosessi lähti tutustumisesta telirungon rakenteeseen sekä siinä oleviin koneistettaviin kohteisiin. Tässä kohtaa suunnittelu oli perinteistä lyijykynällä paperille luonnostelua. Kun jonkinlainen ajatus koneistusjigin lähtötilanteesta oli hahmoteltu, aloin 3D-mallintamaan koneistusjigin raakaversiota käyttäen Inventor-ohjelmaa. Tässä kohtaa sain hahmoteltua jo alatuukien sekä tukipalkkien sijainnin pohjalevyllä. Alatuet sijaitsevat telirungon kulmissa olevien U-sivupalkkien alapuolella ja tukipalkit keskirungon etu- sekä takapalkkien alapuolella. Tukipalkkien vierellä on pohjalevyssä kierrereiät, joihin asennetaan pitkät kierretangot. Näiden avulla telirunko kiinnitetään keskeltä kiinnityslestiä käyttäen. Kun telirunkoa kiinnitetään, tulee tukipalkkien ja telirungon väliin laittaa pienet korkeudensäätökiilat, jottei kiinnityskohtaan tulisi ylimääräisiä jännityksiä. Tämä voi aiheuttaa telirungon värinää koneistuksen aikana.

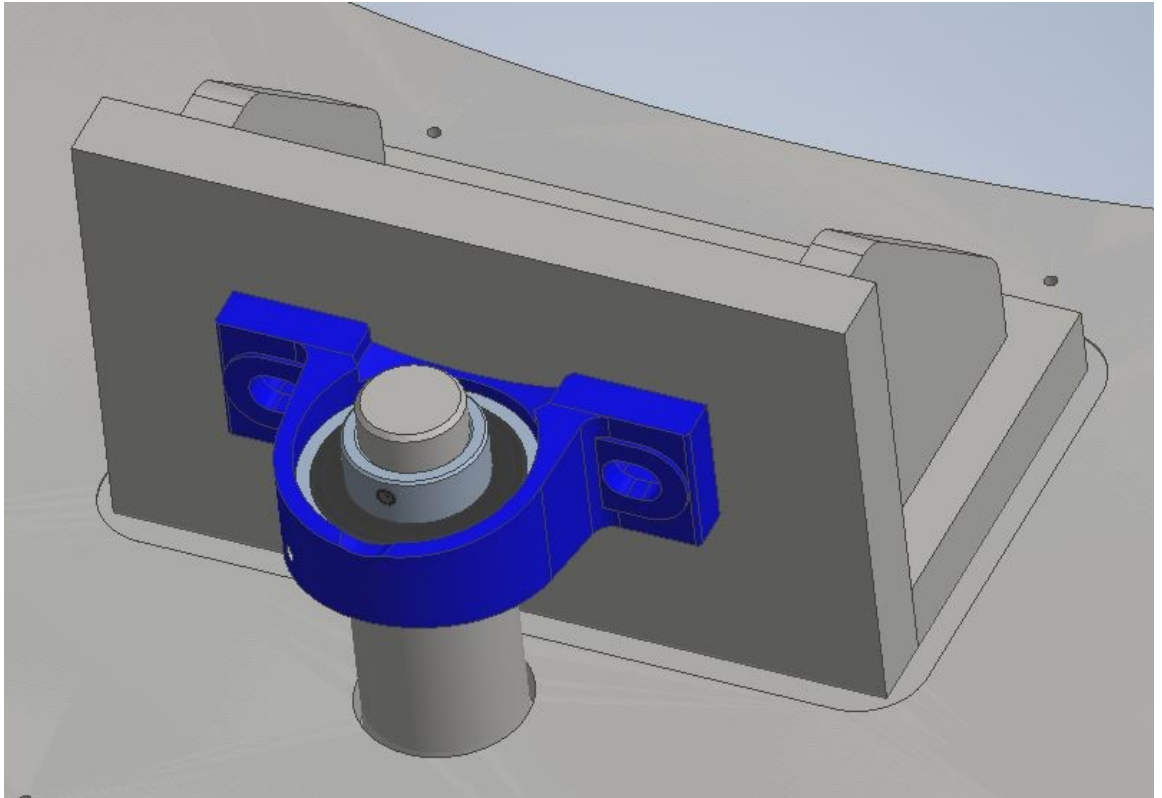
Aluksi suunnittelin kaikki alatuet sekä tukipalkit kiinnitettäväksi pohjalevyyn hitsaamalla, mutta muutin ne suunnittelun edetessä pulttikiinnitteisiksi. Jos tulevaisuudessa tarvitsisi tehdä muutoksia tai kokonaan uudet kyseiset kokoonpanot, olisivat ne näin helpompi ottaa irti pohjalevystä. Lisäsin myös oikaisukoneistukset sekä kierrereiät pohjalevyssä oleviin kohtiin, joihin alatuet sekä tukipalkit tulevat. Myös kumpaankin kokoonpanoon lisäsin työvarat oikaisukoneistukselle sekä reiät kiinnityspultteja varten. Alatukiin lisäsin tämän jälkeen aukot, joihin asennetaan korkeudensäätökiilat valmiissa koneistusjigissä. Näillä saadaan säädettyä telirungon suoruutta Z-akselin suunnassa. Tämän jälkeen lisäsin alatukien kokoonpanoihin pystytuet. Kyseisiin osiin lisäsin kierrereiät, joista pulteilla saadaan kiinnitettyä telirunko U-sivupalkeista ulkokannattimien puolelta.

Toiseen kierrereikään asennetaan läpimenevä kierretanko, joka ohjaa telirunkoa sivuttaissuunnassa sitä koneistusjigiin laskettaessa. Osissa on myös aukot, jotka mahdollistavat U-sivupalkeissa olevien kiinnityspintojen koneistuksen. Pystytukien väliin lisäksi tukilevyn, joka vakauttaisi alatuukien rakennetta. Lisäksi myös kierrereiät tukilevyihin, joista pulteilla saadaan tuettua telirunkoa X-akselin suunnassa. Alatuukien kokoonpanoissa on takapuolella paikka pultille sekä kiinteä alus-pala, jolla kiinnityslehtiä käyttäen saadaan kiinnitettyä telirunko U-sivupalkein keskikohdalla olevasta ulokkeesta (kuva 5).



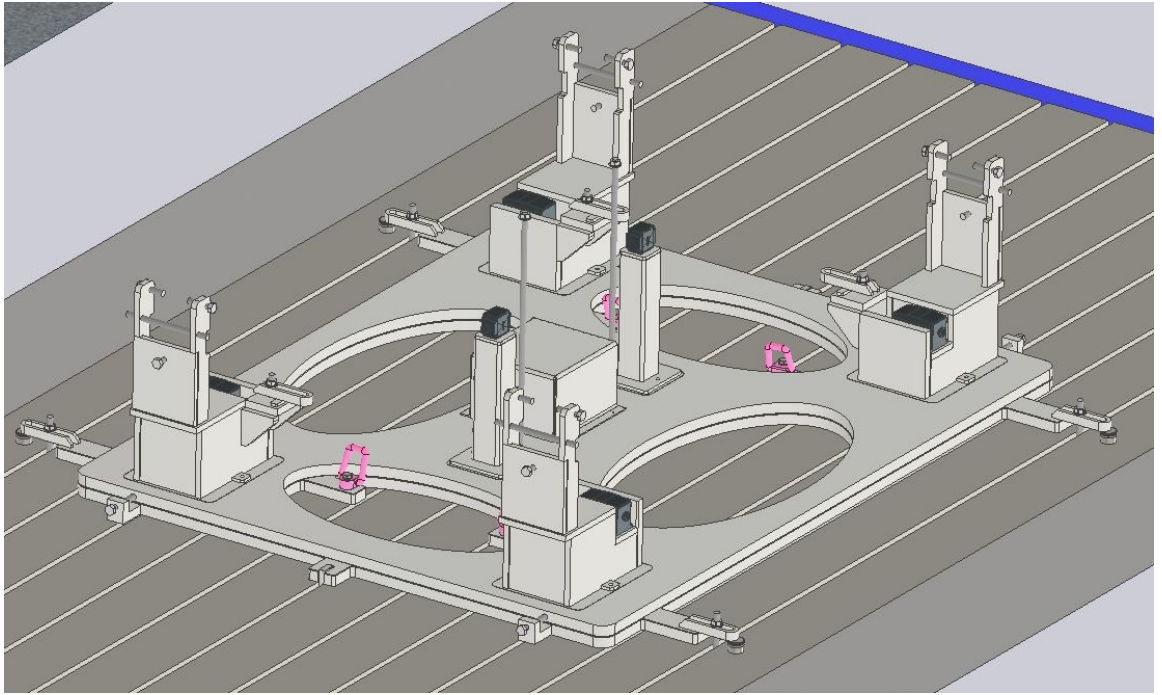
Kuva 5. Alatuki-kokoonpano

Koska portaaliijyrinkoneessa ei ole pyöröpöytää, tuli koneistusjigiin suunnitella vastaava mekaniismi telirungon kääntämistä varten. Tällä tehdään hienosäätö koneistuksen aloitusvaiheessa, jotta telirungon valmistus onnistuisi kaikkien koneistettavien pintojen osalta. Lisäksi pohjalevyn alle runkolevyn ja sen keskelle upotuksen sekä kierrereiät, joihin kiinnitetään akseli siinä olevasta päätylaipasta pulteilla. Pohjalevyn keskelle lisäksi upotuksen ja reiän, josta akseli pääsee pohjalevyn läpi. Seuraavaksi suunnittelin pienen kulmahylly-kokoonpanon, johon kiinnitetään pystylaa-keriyksikkö, joka vastaavasti kiinnitetään akseliin koneistusjigin kasausvaiheessa (kuva 6). Laakerin suojaamiseksi lisäksi kokoonpanoon suojakopan, joka valmistetaan särmäämällä 4 mm pak-susta teräslevystä. Pohjalevyn yläpinnassa on tasauskoneistus sekä kierrereiät kulmahyllyä vas-ten. Runkolevyn ala- ja yläpinta sekä pohjalevyn alapinta oikaistaan koneistamalla. Täten saadaan aikaiseksi sileä liukupinta pohja- ja runkolevyn välille.



Kuva 6. Koneistusjigin yläosan keskittävä pystylaakeri-kokoonpano

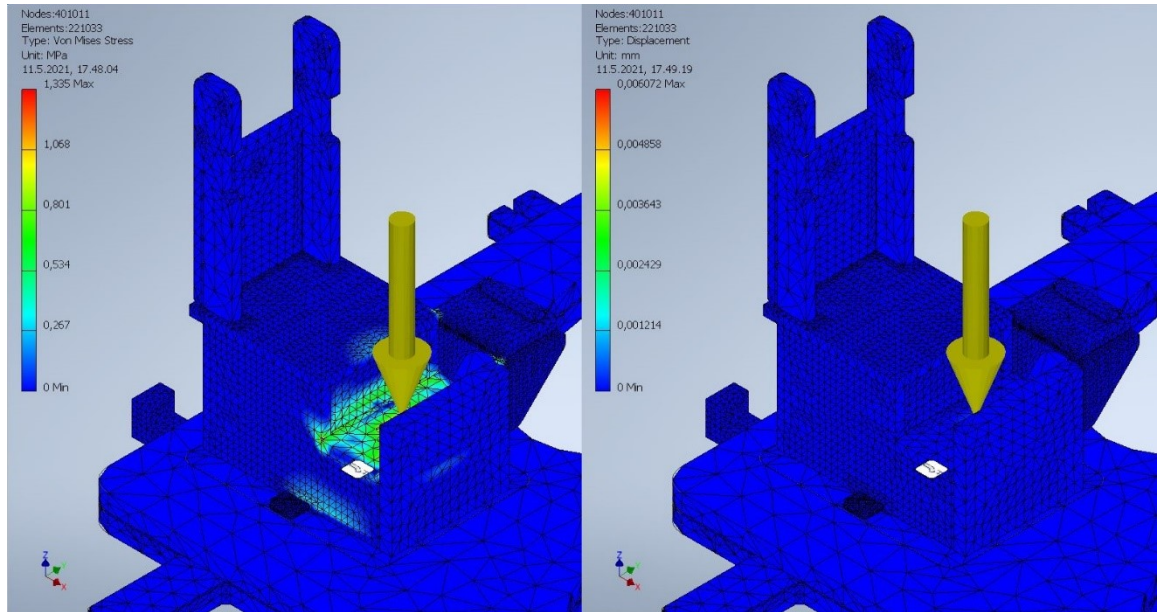
Jotta koneistusjigin yläosan kääntäminen olisi mahdollista, lisäsin runkolevyyn lähelle nurkkia neljä pientä osaa, joissa on kierrereiät pultteja varten. Osat kiinnitetään runkolevyyn hitsaamalla. Pulteilla saadaan käännettyä koneistusjigin yläosaa ja kun telirunko on halutussa asennossa, myös lukittua se paikoilleen. Runkolevyn sivuilla on neljä olaketta, joista koneistusjigi saadaan kiinnitettyä työtasoon (kuva 7). Runkolevyn päädyissä on olakkeet, joihin koneistetaan urat 22 mm leveille kiiloille. Näillä kiiloilla koneistusjigi saadaan asennettua työtasolle sen urien suuntaisesti. Aluksi pohja- sekä runkolevy olivat umpinaiset, mutta lisäsin niihin ovaalinmuotoiset reiät. Näillä rei'illä saatiin koneistusjigin kokonaismassaa vähennettyä noin 1200 kg sekä nostoreiät siirrettyä paremmalle paikalle kokoonpanossa. Nostoreiät olivat alun perin samoissa ulokkeissa, joista koneistusjigi kiinnitetään työtasoon.



Kuva 7. Koneistusjigi kiinnitettyä työtasoon

4.2 FEM-analyysi

FEM-analyysillä saadaan selville koneistusjigin kestävyys telirungon kuorman alla. Ensimmäisessä FEM-analyysissä kuorma oli kaksinkertainen. Kuorma oli asetettu kohtiin, joissa telirungon alla olevat korkeudensäätökiilat sijaitsivat. Tällöin maksimijännitys oli 1,335 MPa ja maksimisiirtymä 0,006 mm (kuva 8). Toistin vielä analyysin viisinkertaisella kuormalla, jolloin maksimijännitys oli 3,308 MPa ja maksimisiirtymä sama kuin aiemmin eli 0,006 mm. Tästä voidaan päätellä, että koneistusjigi tulee kestävään koko telirunkojen tuotantosarjan ajan.



Kuva 8. FEM-analyysi kaksinkertaisella kuormalla

4.3 Työturvallisuus

Koneistusjigin suunnittelussa tärkein asia työturvallisuuden kannalta oli nostotilanteiden saaminen mahdollisimman turvallisiksi. Jos koneistusjigiä nostettaisiin esimerkiksi alatukien tukilevyistä levytarraimia käyttäen, sen putoamiselle olisi huomattavasti suurempi mahdollisuus kuin käytettäessä kiinteitä nostopisteitä. Runkolevyssä on kierreiät nostosilmukoita varten, joista koneistusjigin nosto on turvallista suorittaa. Koneistusjigi on myös suunniteltu siten, että jos noston aikana siihen on asennettuna kiinnittämätön telirunko, sen putoaminen on miltei mahdotonta. Pohja- ja runkolevyihin suunnittelun edetessä lisätyt aukot lisäävät hiukan kompastumisen riskiä telirunkoa koneistusjigiin asennettaessa.

5 Yhteenveto

Telirungon koneistus olisi optimaalisinta tehdä yhdellä kiinnityksellä. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista portaaliijyrsinkoneella, koska kyseisellä työstökoneella ei päästä koneistamaan alapuolella olevia kohtia. Telirungon koneistus onnistuu kuitenkin portaaliijyrsinkoneella kahdella kiinnityksellä, koska se saadaan asennettua suoraan toisessa vaiheessa aiemmin koneistettujen pintojen mukaan. Jos telirunkoja valmistetaan portaaliijyrsinkoneella, on niitä kustannustehokkainta valmistaa useamman kappaleen sarjassa.

Oikeilla työkaluvalinnoilla sekä koneistusjärjestyksellä voidaan nopeuttaa läpimenoaikaa huomattavasti. Näin ylimääräiset työkalunvaihdot ja kulmapään käännöt saadaan pidettyä minimissään. Työkalut tulee myös valita siten, että niillä päästään vaadittuun pinnanlaatuun ja mittatarkkuuteen. Joillakin muutoksilla telirungossa sekä työkaluhankinnoilla saataisiin sen valmistettavuutta portaaliijyrsinkoneella parannettua ja nämä asiat olisi hyvä käydä suunnittelun sekä koneistuksen valmistuksensuunnittelijan kanssa läpi.

Tehdyistä FEM-analyyseistä voidaan päätellä, että esimerkiksi alatukien osat olisivat voineet olla suunniteltu valmistettavaksi ohuemmasta levyateriaalista. Tällä muutoksella olisi saatu kokoonpanon kokonaismassaa pienemmäksi

Opinnäytetyön aihe oli itselleni mieluinen, mutta kohtasin joitain ongelmia liittyen työn aikataulutukseen. Toivon, että kyseisestä opinnäytetyöstä on hyötyä yritykselle telirunkojen valmistuksen parantamiseksi.

Lähteet

(1) Ansaharju T, Maaranen K. Koneistus. 1. painos WSOY; 1997. ISBN 951-0-21580-5