



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Saku Niemi

Työstökoneen modernisointi

Opinnäytetyö
Syksy 2024
Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Saku Niemi

Työn nimi alaotsikoineen: Työstökoneen modernisointi

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 45

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyön aiheena oli työstökoneen modernisointi. Työn teoriaosuudessa pohdittiin modernisointia taloudellisuuden sekä ympäristön kannalta, käytiin läpi erilaisia syitä modernisoinnille, erilaisia toteutustapoja ja modernisoinnin kannattavuutta erilaisten laitteiden suhteen. Lisäksi käsiteltiin NC-koneiden toimintaperiaatteita ja LinuxCNC-ohjelmiston teoriaa ja käyttöä.

Työn pohjalla oli tarve päivittää vanha NC-sorvi sille asetettujen vaatimusten mukaiseksi. Sorvi oli rakenteeltaan ja kunnoltaan soveltuva suunniteltuun käyttötarkoitukseen, mutta vaati uuden työkalunvaihtajan, karan sekä ohjauselektronikan. Työn käytännön osuus keskittyy työkalunvaihtajan suunnitteluun ja toteutukseen. Työssä pyrittiin suunnittelemaan ja toteuttamaan työkalunvaihtaja, joka täyttäisi sille asetetut kriteerit. Työkalunvaihtajan rakenteen suunnittelussa vertailtiin erilaisten kaupallisten sorvien erilaisia teknisiä ratkaisuja, joita sovellettiin ja valittiin niistä sopivimmat vaihtoehdot avuksi suunnitteluprosessiin. Suunnittelussa hyödynnettiin 3D-mallinnusta sekä tehtiin tarvittavat laskelmat toiminnallisuuden varmistamiseksi. Lopputuloksena saatiin suunniteltua halutunlainen ja alkuperäistä parempi, valmistettavissa oleva työkalunvaihtaja sekä valmistettua suurin osa sen komponenteista.

¹ Asiasanat: CNC, Linux, koneenrakennus, kiertotalous

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Saku Niemi

Title of thesis: Modernization of a machine tool

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2024

Number of pages: 45

Number of appendices: 0

The topic of the thesis was the modernization of a machine tool. The theoretical part of the work explored the economic and environmental aspects of modernization, examined various reasons for modernization, different implementation methods, and the feasibility of modernization for different types of machines. Additionally, the principles and theory of NC machines were discussed, as well as the LinuxCNC software.

The basis of the project was the need to upgrade an old NC lathe to meet the required specifications. While the lathe was structurally and mechanically suitable for its intended purpose, it required a new tool changer, a spindle, and control electronics. The focus of the thesis was the design and implementation of the tool changer. Various technical solutions used in commercial lathes were analyzed and the most suitable options were applied in the design process. The design was carried out using 3D modeling, and necessary calculations were made to confirm its functionality. As a result, a functional and improved tool changer was designed and most of its components were manufactured.

¹ Keywords: CNC, Linux, Machine construction, Circular economy

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	9
2 TEORIAA TYÖSTÖKONEISTA.....	11
2.1 Työstökoneiden kehitys.....	11
2.2 NC-kone	11
2.3 Johteet	12
2.3.1 Liukujohteet.....	12
2.3.2 Lineaarijohteet	14
2.4 Akselit ja niiden nimeäminen.....	16
3 MODERNISOINNIN TALOUDELLISUUS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUS ...	18
3.1 Taloudellisuus	18
3.2 Ympäristöteko	18
4 MODERNISOINTI	19
4.1 Tarve.....	19
4.2 Toteutus	19
4.3 Kustannukset.....	20
5 OHJELMOINTI JA OHJAUS.....	21
5.1 Työstöohjelma	21
5.2 Ohjelmointimenetelmät.....	21
5.3 Ohjelmistot	22
5.4 Ohjaaminen.....	22

5.5	HAL- ja INI-tiedostot	23
6	Työkalunvaihtajan suunnittelu ja toteutus	26
6.1	Työkalunvaihtajan tyyppi	26
6.2	Työkalut.....	27
6.3	Vaatimukset suunnittelun ja toteutuksen kannalta.....	28
6.4	Rakenne	29
6.5	Lukitus.....	30
6.5.1	Räikkä.....	30
6.5.2	Curvic coupling, turret coupling.....	31
6.6	Vaaditun jousivoiman laskenta	34
6.7	Työkalunvaihtajan asennon tunnistus	37
6.8	Työkalunvaihtajan kääntö.....	39
6.9	Laakerointi.....	41
6.10	Työkalun jäähtytys.....	41
7	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	43
7.1	Yhteenveto	43
7.2	Pohdinta	43
	LÄHTEET	44

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Johdepinnan käsin kaavinta (PayCNC).	13
Kuva 2. Dovetail eli lohenpyrstöjohde (Niemi, 2024, CC0).	14
Kuva 3 Hiwin lineaarijohde ja kelkka (Niemi, 2024, CC0).	16
Kuva 4. Pystykaraisen jyrsinkoneen akselit ja oikean käden kolmen sormen sääntö (Autodesk, 2021).	17
Kuva 5. Askelmoottorit ja niiden ohjaimet, sekä MESA 7I97 analog interface (Niemi, 2024, CC0).	23
Kuva 6. HAL circuit concept (LinuxCNC wiki, 2024)	24
Kuva 7. Emcoturn 120 -sorvin X-liikkeen kelkka, johon työkalunvaihtaja pitää kiinnittää. (Niemi, 2024, CC0).	26
Kuva 8. Emcoturn 120 -sorvin 8-paikkainen työkalunvaihtaja. (CNC-BOTE Maschinen, i.a.).....	27
Kuva 9. Sorvissa käytettäviä sorvaustyökaluja (Niemi, 2024, CC0).....	28
Kuva 10. Suunnitellun työkalunvaihtajan pääkomponentit (Niemi, 2024, CC0).	29
Kuva 11. Yksinkertainen omavalmiste räikkämallinen työkalunvaihtajan lukitus (Home Model Engine Machinist, 2012).....	30
Kuva 12. Emcoturn 120 työkalunvaihtajan räikkä (Machsupport, 2011).	31
Kuva 13. Haas SL-10 työkalunvaihtajan läpileikkauskuva, jossa näkyy lukitusmekanismi (Courtesy Haas Automation, i.a.).....	32
Kuva 14. Turret coupling 1 (Niemi, 2024, CC0).	33
Kuva 15. turret coupling 2 (Niemi, 2024, CC0).	33
Kuva 16. Haas Heavy-Duty Integral coupler. (Courtesy Haas Automation, i.a.)	34

Kuva 17. Kennametal Cutting force calculator	36
Kuva 18. Mazak QT20 8-paikkainen työkalunvaihtaja ja anturoinnit (dcrytsman, 2023) ...	37
Kuva 19. Työkalunvaihtajan asentoa lukevat anturit (Niemi, 2024, CC0).	38
Kuva 20. Työkalunvaihtajan mekaniikka, jossa näkyy työkalunvaihtajaa kääntävä askelmoottori ja sen rattaat. (Niemi, 2024, CC0).	39
Kuva 21. Nema 23 dynaaminen vääntö verrattuna kierrosnopeuteen (Applied Motion Products, 2023)	40
Kuva 22. työkalun jäähdytyksen kanava (Niemi, 2024, CC0).	42
Taulukko 1. Modenisoinnin kustannukset	20

Käytetyt termit ja lyhenteet

CNC	Computer Numerical Control. Työstökoneissa käytettävä numeerinen ohjaus.
HAL	Hardware Abstraction Layer. Tarjoaa rajapinnan eri laiteohjaimille.
INI	Initialization. Konfiguraatitiedosto, joka sisältää asetuksia sekä parametrejä ohjelmille.
Liikkeenohjauskortti	Liikkeenohjauskortti (engl. motioncontrol card). Muuntaa tietokoneelta lähtevät signaalit moottorien ohjaimille soveltuviksi sekä muuntaa tulevat signaalit antureilta sekä katkaisimilta tietokoneen ymmärrettäväksi.
LinuxCNC	Työstökoneiden ohjaukseen luotu avoimen lähdekoodin ohjelmisto.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn aiheena oli työstökoneen modernisointi. Tavoitteena oli vanhan CNC-sorvin päivitys, jotta sorvi saataisiin sopivammaksi ja modernimmaksi nykypäivän käyttöä ajatellen. Vanhassa työstökoneessa mekaaninen puoli on yleensä hyvä ja käyttökelpoinen pienellä huoltamisella, mutta elektroniikkapuoli alkaa olemaan vanha, rikkiäinen, kallis korjata tai hankala käyttää verrattuna uusiin käyttöliittymiin. Kyseinen sorvi on rungoltaan sopiva käyttötarkoitukseen, mutta tarvitsee uuden työkalumakasiinin ja suuremmalla karaporauksella olevan karan sekä tangonsyöttölaitteen toimiakseen täydellisesti halutussa käyttötarkoituksessa. Sorvin pääasiallisena tarkoituksena on valmistaa erilaisia, mittatarkkoja, pyörähdyssymmetrisiä polttomoottorin venttiilikoneiston osia. On havaittu, että monen erikoisemman moottorin osille ei löydy valmistajia, jotka voisivat toimittaa osia, jotka olisivat myös vaaditussa toleranssissa. Tarkoitus on tuottaa asiakkaan vaatimusten pohjalta osien suunnittelu ja toteutus, sekä laaduntarkkailu.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on sorvin työkalunvaihtajan suunnittelu ja toteutus. Työssä pohditaan työkalunvaihtajan tyyppiä, vaadittuun käyttötarkoitukseen sopivaa rakennetta sekä sen toteuttamista käytössä olevilla resursseilla. Työkalunvaihtajan valmistuksessa on myös tarkoituksena käyttää mahdollisimman paljon yleisiä standardien mukaisia ja edullisia osia kuitenkin suorituskyvystä tinkimättä. Suunnittelussa on pohdittu erilaisten kaupallisten työstökoneiden työkalunvaihtajien eroja sekä valittu niistä erilaisia rakenteita ja ideoita suunnittelutyön pohjalle, ja niistä on kehitetty halutunlainen konsepti.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön ensimmäinen luku on johdanto, joka sisältää työn taustan, tavoitteen ja rakenteen. Toisessa luvussa läpikäydään työstökoneiden kehitystä, NC-koneiden määrittelyä, työstökoneiden johderakenteita sekä työstökoneiden eri akseleita ja niiden nimeämistä. Kolmannessa luvussa käydään läpi modernisoinnin taloudellisuutta ja sen

vaikutusta ympäristöä ajatellen. Luvussa 4 mietitään modernisoinnin tarvetta, sen toteutus-
tapoja ja mietitään kustannuksia. Luvussa 5 käydään läpi NC-koneiden työstöohjelmia, oh-
jelmointimenetelmiä, ohjelmistoja ja niiden eroja sekä LinuxCNC-ohjelmistoa ja siihen liitty-
viä oleellisia tiedostomuotoja. Luvussa 6 suunnitellaan ja valmistetaan työkalunvaihtaja, ja
sitä ennen pohditaan sen rakennetta sekä sille asetettuja vaatimuksia. Viimeinen luku si-
sältää yhteenvedon ja pohdinnan.

2 TEORIAA TYÖSTÖKONEISTA

2.1 Työstökoneiden kehitys

Työstökoneet ovat alkujaan olleet kaikki manuaalisesti ohjattuja. Aluksi niissä on ollut yleensä vain yksi pyöritysakseli, jossa on ollut kiinni joko työstettävä kappale (sorvi) tai terä, jolla työstö suoritetaan (jyrsin). Käsien liikutettavia akseleita on ollut sorveissa kaksi, ja niillä on pystytty tekemään kappaleeseen eri halkaisijoita eri pituuksille. Jyrsimissä on ollut kolme liikutettavaa akselia, joilla on pystynyt teoriassa tekemään 3D-jyrsintää, mutta käytännössä on ajettu erilaisia pintoja suoriksi, tehty uria tai reikiä. Akseleita on aluksi liikutettu käsiveiveillä, mutta hyvin pian on huomattu, että koneelliset syötöt ovat tarpeen tasaisen pinnanlaadun, sekä helpomman ja kevyemmän käytön vuoksi. Konesyöttöjen vuoksi on sorvilla pystytty tekemään myös jo kierteitä.

Kun valmistettavien kappaleiden sarjakoot ja muodot ovat monimutkaistuneet, on alettu kehittämään puoliautomaattisia ja automaattisia tapoja ohjata työstökoneita. Aluksi on kehitetty erilaisia rajakytkimiä, joilla on saatu eri akselit toistamaan haluttua liikettä ja lopettamaan sen tekeminen tietyssä kohtaa. Sorveissa on ollut kopiointiin tehtyjä jigejä ja koneistoja, jos sorvattavat muodot ovat olleet esimerkiksi epämääräisen kaarevia.

Kun työstettävät osat ovat monimutkaistuneet ja sarjakoot lisääntyneet, on työstökoneista täytynyt saada tehokkaampia. Koneisiin on alettu lisäämään useampia työstö- ja pyöritysakseleita, joita on alettu lopulta ajamaan täysin elektronisesti ja automaattisesti, jolloin ensimmäiset NC-koneet ovat syntyneet. Sama kappale on pystytty valmistamaan vähemmillä kiinnityksillä ja yhdellä koneella nopeammin ilman ihmisen tekemiä virheitä. Laadusta on tullut tasaisempaa ja koneen käyttämiseen vaadittu lihasvoima on vähentynyt.

2.2 NC-kone

Työstökone on numeerisesti ohjattu silloin, kun se suorittaa kappaleen koneistamiseksi vaaditut liikkeet automaattisesti (Pikkarainen, 1999, s. 7). Tällöin työstöohjelmaa luetaan työstökoneen ohjauksjärjestelmästä, tai vanhempien NC-koneiden tapauksessa nauhanlukijasta. Nykyaikaisen työstökoneen ohjaus on tavallisesti tietokone, jota on muokattu

soveltumaan paremmin työstökonekäyttöön. Työstökoneen tietokone ohjaa akseleiden moottorien ohjaimia. NC-koneista puhutaan yleisesti myös termillä CNC (Computer Numerical Control).

2.3 Johteet

Johteet sallivat luistien edestakaisen liikkeen. Johteet ovat jokaisella akselilla, joita halutaan liikuttaa pituussuunnassa. Johteiden jyrkyydellä on suuri merkitys, sillä niihin on kiinnitetty työstettävä kappale tai työkalu. Jos johteet eivät ole riittävän jyrkät, seuraa niistä ongelmia pinnanlaadun ja mittatarkkuuden heikentyessä.

2.3.1 Liukujohteet

Johdetyyppejä on erilaisia, ja niillä on toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. Sorveissa yleinen tyyppi on käyttää rinnakkain tasojohdetta ja V-johdetta, jolloin V-johde ohjaa luistin liikumista suoraan ja tasojohte ottaa vastaan suurimman osan kuormasta (Pikkarainen, 1999, s. 38).

Ongelmana liukujohteilla on liikkeissä nykivä liike eli stick-slip (Pikkarainen, 1999, s. 38). Stick-slip aiheuttaa ongelmia ohjauksen kannalta, sillä luistia ohjaavan moottorin täytyy käyttää enemmän voimaa luistin liikkeelle saamiseksi. Tästä taas voi seurata moottorin seurantavirheitä, jotka johtavat usein koneen pysähtymiseen, mikäli seurantavirhe kasvaa suuremmaksi kuin sallittua. Liukujohteiden hyvä puoli on erinomainen vaimennuskyky, eivätkä ne ole niin herkkiä likaantumiselle.

Liukujohteet ovat yleisesti valurautaa ja suoraan osa koneen rungon valua. Valun jälkeen ne koneistetaan ja hiotaan. Jos halutaan suurta tarkkuutta, johteet kaavitaan yleensä vielä käsin (kuva 1). Ennen kaavintaa, kaavinnan kohteena olevaan tasoon levitetään merkintäväri, jonka jälkeen kappaleen pintaan hierotaan jotain tiettävästi suoran ja tasaisen pinnan omaavaa kappaletta. Tämä tuo esiin korkeat kohdat valuraudan värisenä, sekä mataliin kohtiin jää merkintäväri. Korkeat kohdat kaavitaan pois, yleensä noin 1–3 mikrometriä kerrallaan. Prosessia toistetaan niin kauan, että haluttu lopputulos saavutetaan. Kaavinnalla toteutetaan myös yleisesti vaaditut taskut voitelua varten. Nyrkkisääntönä kaavinnalle on

kymmenestä viiteentoista matalaa kohtaa eli taskua neliötuuman alueella sekä 50–60 prosenttia toista kappaletta koskettavaa pinta-alaa.



Kuva 1. Johdepinnan käsin kaavinta (PayCNC).

Liukujohteet on myös usein karkaistu, sekä ne voivat olla erillinen osa kappaleen muusta rungosta. Liukujohteiden voitelua varten johteessa liikkuvassa kelkassa on usein öljykanava, johon johdetaan johdeöljyä voiteluyksiköllä tasaisin väliajoin, jolloin kappaleiden välissä on aina pieni öljykalvo, eivätkä osat ole varsinaisesti suoraan kosketuksessa toisiinsa.

Liukujohdetyyppejä on pääasiassa kolmea erilaista mallia. Taso, V ja lohenpyrstö (kuva 2). Tasojohteella saadaan otettua vastaan suuri määrä kuormaa, mutta sillä ei ole ohjaavaa ominaisuutta, jonka vuoksi se on yleisesti V-johteen parina, jolloin V-johde toimii ohjaavana osapuolena. Lohenpyrstöjohteella saadaan molemmat edellä mainitut ominaisuudet hyödynnettyä ja se on yleinen tapa toteuttaa sorvien X-luistin liike, koska se ei tarvitse paljoa tilaa ja pystyy pitämään luistin johteessa kiinni jokaiseen suuntaan.



Kuva 2. Dovetail eli lohenpyrstöjohde (Niemi, 2024, CC0).

2.3.2 Linearijohteet

Linearijohteet eli vierintäjohteet (kuva 3) ovat NC-koneissa yleisin käytetty johdetyyppi. Ne koostuvat erillisistä pulteilla runkoon kiinnitettävistä karkaistusta johteista, joita pitkin

kulkee niihin soveltuva kelkka. Johdetyypistä riippuen kelkoissa käytetään yleensä pallo- tai rullalaakereita, jotka kulkevat johteen ja kelkan pintojen välissä pyörien. Kelkoissa on kanava, jonka kautta laakerikuulat pyörivät kelkan liikuessa uudelle kierrokselle.

Lineaarijohteiden käyttö on helppoa, sillä kaikki komponentit voidaan kiinnittää tarkasti koneistettuihin osiin, sekä niiden erikseen ja uudelleen linjaaminen on helpompaa kuin tasojojhteiden. Ne ovat myös helpommin ja nopeammin vaihdettavissa verrattuna liukujohteeseen. Lineaarijohteiden kelkat varustettu rasvanipalla, jolloin niihin painetaan uutta rasvaa huoltojen yhteydessä. Jotkut applikaatiot on kuitenkin liukujohteiden tapaan varustettu voiteluautomaatiikalla.

Vierintäjohteilla ei esiinny myöskään edellä mainittua stick-slip ongelmaa, vaan kitkakeroin pysyy koko ajan vakiona sekä on suhteellisen pieni (Pikkarainen, 1999, s. 38). Vierintäjohteet ovat myös pitkäikäisiä. Vierintäjohteiden ongelmana on herkkyys värinöille, ja ne vikaantuvat herkemmin kovista iskuista. Paikallinen ylikuorma voi myös vioittaa johteita.



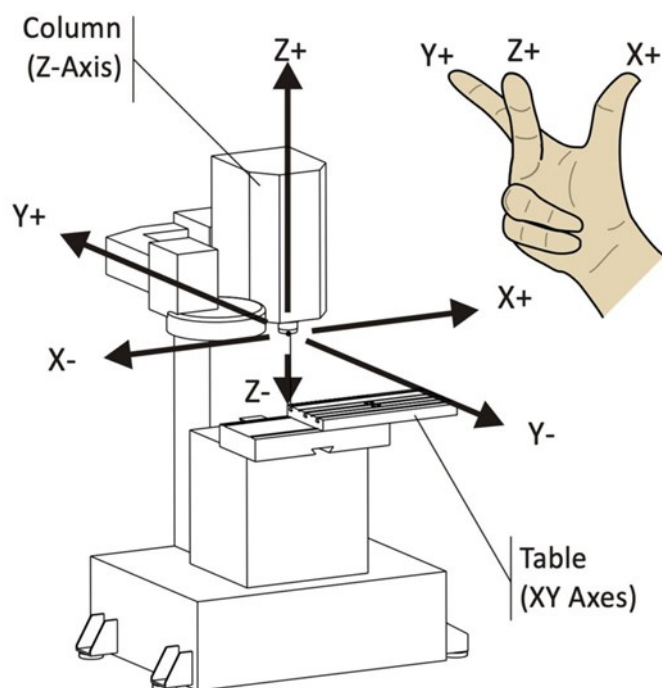
Kuva 3. Hiwin lineaarijohde ja kelkka (Niemi, 2024, CC0).

2.4 Akselit ja niiden nimeäminen

Työstökoneiden akseleista Z-akseli on aina karan suuntainen. Oikean käden kolmen sormen sääntöä (kuva 4) käyttäen pystytään nimeämään työstökoneiden akselit.

Jyrsinkoneissa yleensä X-akselin suuntainen liike on pidempi kuin Y-akselilla. Sorveissa perusliikkeet ovat kappaleen pituussuunnassa Z-liike, sekä halkaisijasuunnassa X-liike.

Sorvauskeskuksissa on useasti myös Y-akseli, jonka avulla voidaan suorittaa poraus ja jyrsintöitä myös erikoisemmista suunnista.



Kuva 4. Pystykaraisen jyrsinkoneen akselit ja oikean käden kolmen sormen sääntö (Autodesk, 2021).

3 MODERNISOINNIN TALOUDELLISUUS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUS

3.1 Taloudellisuus

Vanhan työstökeskuksen modernisointi tulee yleensä huomattavasti halvemmaksi kuin uuden työstökoneen osto. Työstökeskuksen modernisointia harkittaessa on hyvä pohtia, riittääkö vanha työstökeskus modernisoituna siltä vaadittuun tehtävään vai onko järkevämpää ostaa toinen kone uutena tai käytettynä. Yleensä suurin ongelma vanhoissa työstökeskuksissa on vanhentunut ohjaus, joka on kallis ja aikaa vievä korjata, kun ongelmia ilmenee. Työstökoneen modernisoinnista seuraa myös todennäköisesti lisää kotimaista työllisyyttä, kun modernisoinnin toteuttajana on kotimainen yritys. Suomessa työstökoneiden valmistus on vähäistä ja suurin osa työstökoneista tulee Etelä-Euroopasta tai Kauko-idästä.

3.2 Ympäristöteko

Työstökeskuksen valmistamiseen käytetään huomattava määrä luonnonvaroja. Ne painavat yleensä tuhansia kiloja ja koostuvat pääosin eri metalleista, joista suurin osa on valurautaa tai terästä. Vaikka teräs on maailman eniten kierrätetty materiaali, silti vain 40 % teräksestä syntyy kierrätetystä materiaalista (Lacy ym., 2020, s.130).

Uuden työstökoneen ostamisesta koostuu useita ympäristörasitteita, suurimpina materiaalien louhinta maaperästä ja logistiikasta koostuvat päästöt. Jos pystytään modernisoimaan ja käyttämään uudelleen jo olemassa oleva vanha työstökone, ei päästöjä synny pääosin kuin uuden elektroniikan valmistamisen ja asentamisen osalta. Jos vanhassa työstökoneessa on mekaanisia vikoja, kuten johteiden tai karojen laakerointien viallisuus, on niihin yleensä saatavissa varaosia hieman soveltamalla, jos maahantuojia tai valmistajia ei pysty niitä toimittamaan. Varsinkin lineaarijohteet sekä kuularuuvit ovat usein standardiosiin perustuvia.

4 MODERNISOINTI

4.1 Tarve

Työstökoneen modernisoinnille tulee yleensä tarve siinä kohtaa, kun alkuperäisen elektronikan jokin komponentti vikaantuu. Toimivat varaosat alkavat olemaan kalliita, toimitusaika voi olla pitkä, korjausajat voivat olla pitkiä tai laitteita ei pystytä korjaamaan. Tarve modernisoinnille voi myös syntyä, jos koneeseen tarvitaan toimintoja, joita siinä ei aiemmin ole ollut, eikä niitä pystytä helposti lisäämään vanhaan ohjaukseen. Myös koneen erikoisuus, saatavuus ja koko vaikuttaa modernisoinnin tarpeeseen. Suuri ja painava erikoiskone voi olla huomattavasti järkevämpi modernisointikohde kuin pieni ja yleisesti saatavilla olevaan työstökone.

4.2 Toteutus

Yleensä modernisoinnista puhutaan, kun työstökoneen ohjaus päivitetään uuteen. Tämä voi käsittää pelkän ohjausyksikön ja muiden välttämättömien komponenttien (kuten I/O moduulien ja turvalaitteiden) vaihdon tai lisäyksen, mutta monesti myös akseleita ohjaavat moottorit vaihdetaan. Moottorien vaihtotarve yleensä määräytyy vanhan moottorin tyypin, ja sitä ohjaavien ohjainten mukaan. Jos moottorina on alun perin hiiliharjaton servomoottori, on se käytännössä ikuinen, sillä ainoat kuluvat osat ovat laakerointi ja akselitiivisteet. Jos kyseisen moottorin alkuperäinen servo-ohjain on helposti ohjattavissa ja ehjä, on syytä myös miettiä kannattaako sitä käyttää. Varsinkin vanhat 1980–1990-luvun servo-ohjaimet ovat useasti analogisesti ohjattuja, jolloin niitä pystyy ohjaamaan helposti lähestulkoon millä vain modernilla ohjauksella. Jos kuitenkin vanha servo-ohjain joudutaan vaihtamaan toisenlaiseen, tarkoittaa se yleensä myös sitä, että servomoottorin enkooderi pitää vaihtaa yhteensopivaksi servo-ohjaimen/uuden ohjauksen kanssa. Tämän jälkeen servojen ohjausparametrit pitää myös säätää, joka voi olla todella aikaa vievä prosessi.

Vaadittava modernisointitapa siis riippuu hyvin pitkälti siitä, mitä koneelta vaaditaan, mikä on budjetti ja käyttötarve, sekä kuka modernisoinnin toteuttaa. Jos modernisoinnin toteuttaa ulkopuolinen taho, työtunneista koostuu nopeasti huomattavasti suurempi kulu, kuin modernisointiin käytettävistä osista.

Halvin ja yleisin tapa on vaihtaa vanhojen moottorien tilalle täysin uudet askelmoottorit ohjaimineen, mutta näillä on negatiivisena puolena käytönaikainen ääni, sekä vääntö on pienempi kuin vastaavan kokoisella servomoottorilla. Korkean käyttöasteen tuotantokäyttöön tarkkaan NC-koneeseen servomoottorit ovat kuitenkin varmin ja paras tapa, niiden korkean väännöntuoton, paikoituksen sekä hiljaisuuden vuoksi.

4.3 Kustannukset

Taulukossa 1 esimerkkinä 1985-vuonna valmistetun Takisawa MAC-V2E työstökeskuksen modernisoinnin osakustannukset. Työssä pystyttiin käyttämään alkuperäisiä luistien akselien servomoottoreita, karamoottoria ja sen alkuperäistä ohjausta. Myös relelevyt ja johdot kyettiin hyödyntämään pitkälti alkuperäisiä käyttäen. Kyseinen modernisointi ei käsitä työkalunvaihtajan toimintaan saamiseksi sisältyviä kustannuksia. Kyseinen modernisointi tehtiin käyttäen LinuxCNC-ohjausta sekä MESA Electronicsin servo-ohjaimia, liikkeenohjauskorttia ja lisälevyjä.

Taulukko 1. Modenisoinnin kustannukset
Tuote

	hinta	määrä	kokonais- hinta
8120 2200W 3 Phase Amplifier	264,00 €	3	792,00 €
CAT 5e-2 kaapeli	4,74 €	5	23,70 €
7197 Ethernet interfaced Analog servo plus I/O	264,53 €	1	264,56
käytetty pöytätietokone ohjaukseen	120 €	1	120
käytetty näyttö	25,00 €	1	25
näppäimistö	20,00 €	1	20
tietokonehiiri	10 €	1	10
7i85 4 channel encoder 5 channel serial RS-422 interface	88,32 €	1	88,32
		Kokonais- summa	1 343,58 €

5 OHJELMOINTI JA OHJAUS

5.1 Työstöohjelma

Työstökoneet lukevat lähes aina poikkeuksetta G-koodia. G-koodi luodaan yleensä tehokkuuden vuoksi CAM-ohjelmalla, mutta on olemassa kysyviä ohjauksia (muun muassa Mazatrol) sekä käsin ohjelmointi. Työstökeskus siis tarvitsee ohjauksen, joka osaa lukea tätä koodia, ja sen perusteella ohjata työstökoneen eri luistien akseleiden moottoreita, joilla saavutetaan halutut liikeradat ja aikaan saadaan halutunlainen kappale.

5.2 Ohjelmointimenetelmät

Työstökoneet ovat olleet aluksi manuaalisia, ja sellaisi on vielä tänäkin päivänä. Syötöt ja nopeudet on säädetty käsin, samalla kun on tarkkailtu akseleissa olevia mittaluisteja ja välillä tehden tarkastusmittauksia (Pikkarainen, 1999, s. 7). Työstökoneita on alettu tekniikan kehittyessä kuitenkin kehittämään niin, että niillä voisi tehdä vähemmällä lihastyöllä enemmän työtä sekä tarkemmin että luotettavammin.

Nykyään suurin osa työstökoneista lukee G-koodia (WayKen, 2021). G-koodi tulee sanasta "geometry" eli geometria, joka sisältää tietoa siitä, mistä pisteestä mihin kone liikkuu, työstönopeudet, radan muoto, käytettävä koordinaatisto ja niin edelleen. M-koodi tulee sanasta "machine" eli kone ja sillä tarkoitetaan konekohtaisia koodeja. Nämä vaihtelevat yleensä paljonkin koneiden kesken, ja ne ovat käskyjä, joilla voidaan ohjata karojen pyörimistä, leikkuunestettä, työkalunvaihtoa ja niin edelleen.

G-koodia voi kirjoittaa käsin, mutta yleensä valmis G-koodi saadaan ulos CAM-ohjelmassa luodusta työstöohjelmasta. Kysyvä ohjaus (esimerkiksi Mazatrol) puolestaan kysyy joukon kysymyksiä geometriaan sekä työstöarvoihin liittyen, joiden avulla ohjaus luo itselleen G-koodin millä kappale ajetaan.

5.3 Ohjelmistot

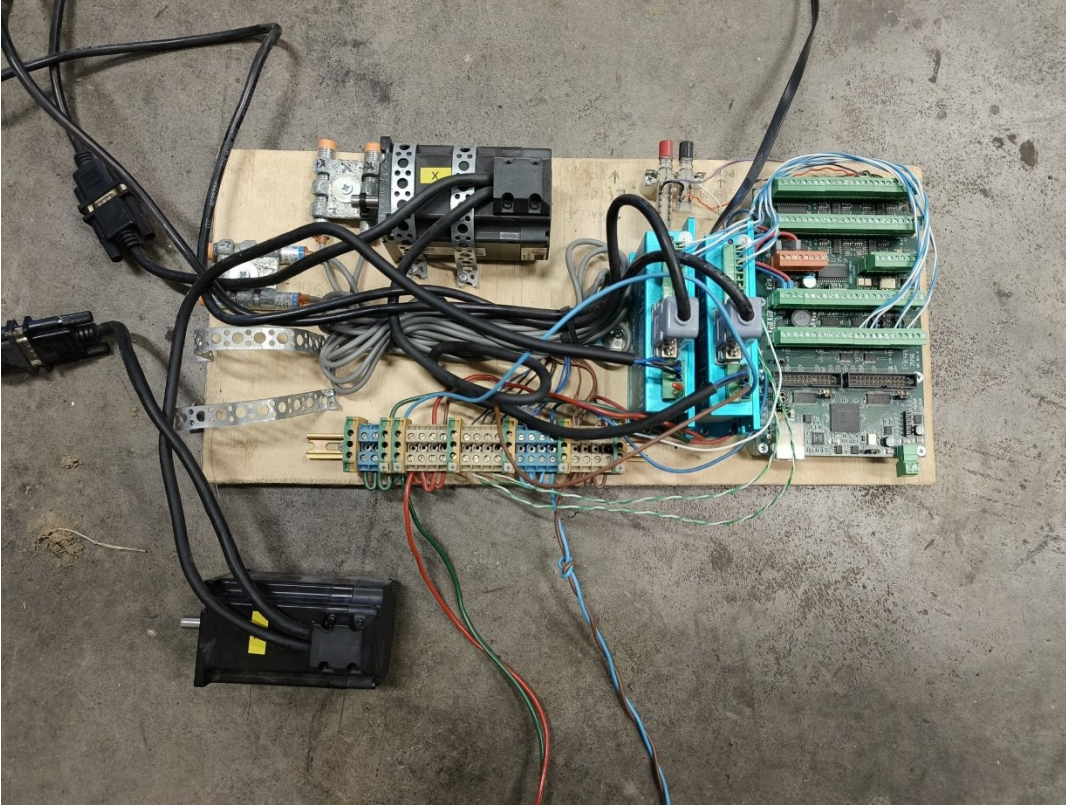
Koneen ohjauksia on useita, yleisimpinä merkkeinä muun muassa Fanuc, Siemens Sinumerik ja Mazatrol. Nämä ovat ohjauksia, jotka ovat yleensä uusissa koneissa valmiiksi, mutta myös modernisointiin käytetään usein Fanucia ja Siemensiä.

LinuxCNC on ohjelmisto, joka käyttää Linuxia käyttöjärjestelmänä. Sitä voidaan käyttää useimmilla tavallisilla tietokoneilla, jotka pystyvät tulkitsemaan G-koodia. Sen toiminta perustuu Linuxin Real Time Kerneliin, eli reaaliajassa toimivaan käyttöjärjestelmän ytimeen, joka pystyy ohjaamaan työstökoneita riittävällä nopeudella ja tarkkuudella. LinuxCNC on alun perin luotu ohjaamaan pelkästään jyrsinkoneita ja on tarkoitettu helpoksi sekä edulliseksi ratkaisuksi harrastajien käyttöön, mutta nykyään se pystyy ohjaamaan myös kaikkia muita usealla työstöakselilla varustettuja yleisiä työstökoneityyppejä.

LinuxCNC käyttöjärjestelmän pohjana on hieman muunneltu normaali Linux, josta uusin versio on tämän opinnäytetyön julkaisuhetkellä (julkaistu 12.7.2024) LinuxCNC 2.9.3 Debian 12 Bookworm (LinuxCNC, 2024a). Suurimmat erot normaaliin linuxiin löytyvät käytettävästä kernelistä sillä LinuxCNC:n vaatima Realtime Kernel pystyy tekemään pyydytetyt tehtävät luotettavammin ja tarkemmin, kun taas normaalin Linuxin Generic kernel pystyy tekemään enemmän tehtäviä, mutta ei niin tarkasti (LinuxCNC, i.a.-a).

5.4 Ohjaaminen

LinuxCNC kanssa voi käyttää useita eri tapoja ohjata työstökoneita. Sen kanssa voidaan käyttää lähestulkoon mitä vain liikkeenohjauskorttia tai I/O-levyä. Tietokoneen ja sen perään kytkettävän elektroniikan kanssa kommunikointiin on useampi eri tapa, joista yleisimmät ovat Ethernet, rinnakkaisportti, PCIe ja SPI (LinuxCNC, i.a.-a). Esimerkiksi rinnakkaisportilla varustetulla tietokoneella pystytään suoraan ohjaamaan askelmoottorien ohjaimia yksinkertaisemmissa sovelluksissa, eikä erillistä liikkeenohjauskorttia vaadita. Kuvassa 5 näkyy MESA Electornicsin valmistama 7197 Liikkeenohjauskortti, joka pystyy ohjaamaan kuutta analogista servoa tai askelmoottoria, ja siinä on useita I/O-lähtöjä. Kyseinen ohjainkortti yhdistetään ohjauksena toimivaan tietokoneeseen Ethernet-kaapelilla.



Kuva 5. Askelmoottorit ja niiden ohjaimet, sekä MESA 7197 analog interface (Niemi, 2024, CC0).

LinuxCNC:tä varten on luotu PnCconf eli MESA configuration wizard -ohjelma, joka pystyy luomaan tietyissä määrin valmiin HAL- ja INI-tiedoston MESA:n motion control korteille. Sen vuoksi se on yksi helpoimmista tavoista luoda CNC-koneen ohjausjärjestelmä käyttäen LinuxCNC:tä, jos käytetään yleisesti käytettyjä askelmoottoreita tai servonohjaimia jotka ovat step/dir (eli askel/suunta) ja 0-10 voltin jännitteellä ohjattuja. Jos käytetään jotain muuta tapaa ohjata moottoreita, vaatii se yleensä HAL-tiedoston kirjoittamisen niiltä osin itse. Liikkeenohjaukset ohjaavat askelmoottorien tai servojen ohjaimia antamalla niille suunnan sekä vaaditut pulssit, joilla saavutetaan moottorin halutunlainen liike.

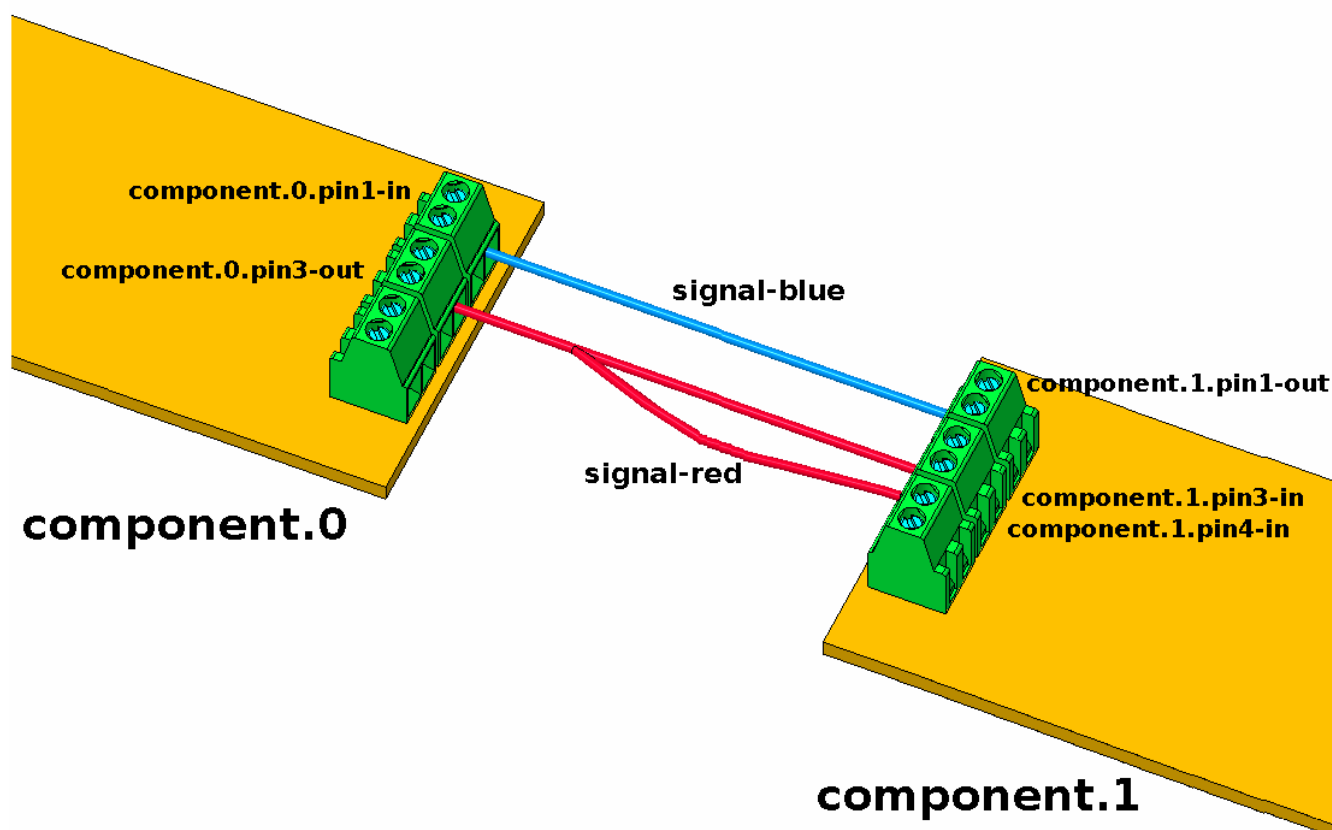
5.5 HAL- ja INI-tiedostot

HAL-tiedosto toimii rajapintana tietokoneessa eri laiteohjelmille, eli sen avulla LinuxCNC-ohjelmisto ja eri laitteet sen kanssa saadaan kommunikoidaan keskenään. Kuvassa 6 on demonstroitu, kuinka seuraavanlainen fyysinen kytkentä kirjoitettaisiin HAL-koodiin:

```

net signal-blue component.0.pin1-in component.1.pin1-out
net signal-red component.0.pin3-out component.1.pin3-in compo-
nent.1.pin4-in

```



Kuva 6. HAL circuit concept (LinuxCNC wiki, 2024)

Esimerkki kokonaisesta HAL-tiedostosta 3-akseliselle jysinkoneelle, joka käyttää MESA Electronicsin 7197 liikkeenohjaukorkorttia ja 8I20 servonohjaimia: (ks. https://forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/31784/takisawa_2023-03-11.hal (Niemi, 2023, CC0)).

INI-tiedostoa käytetään määrittämään erilaisia asetuksia ja konfiguraatioita ohjelman toiminnalle. Näitä asetuksia voidaan muokata tarpeen mukaan ja ne sisältävät esimerkiksi tietoja koneen akselien liikkeiden pituuksista, moottorien asetuksista, nopeuksista ja muista parametreistä. Esimerkki INI-tiedostosta yllä mainitulle jyrsinkoneelle: (ks. <https://forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/31784/takisawa.ini> (Niemi, 2023, CC0)).

6 Työkalunvaihtajan suunnittelu ja toteutus

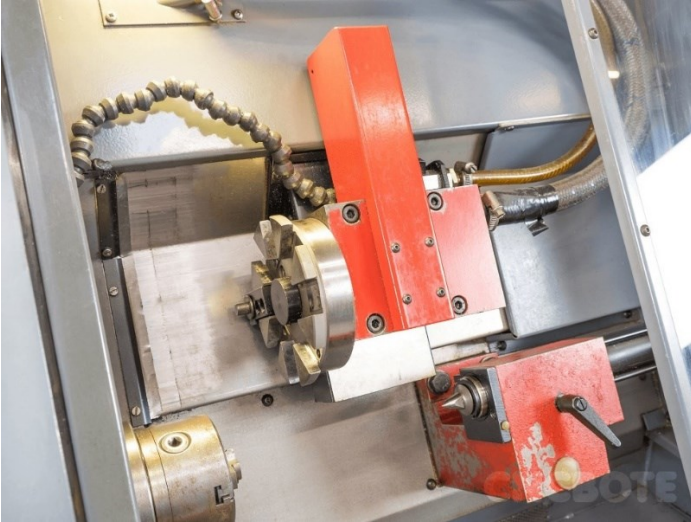
6.1 Työkalunvaihtajan tyyppi

Sorveissa on käytössä erilaisia työkalunvaihtajatyyppejä, joista yleisin 2- ja 3-akselisissa sorveissa on pyörivä ”revolveri”, johon voidaan asettaa erilaisia sorvaus- ja poraustyökaluja. Monesti työkalunvaihtajat on rakennettu niin, että niihin voidaan asettaa jyrsintyökaluja, jolloin jyrsintyökalu saa pyörivään liikkeeseen voimansa yleensä revolverin läpi rakennetulla akselilla työkalunvaihtajan kautta.

Työkalunvaihtajan toteuttamisen kannalta helpoin olisi ollut swiss lathe tyylinen työkalunvaihtaja, jossa työkalut kiinnitetään suoraan X-johteen kelkkaan riviin (kuva 7). Kyseisen sorvin kanssa kuitenkin on ongelmana X-akselin pieni liike, joka on vain 55 millimetriä ja vaadittu maksimi ahiokoko sarjatyössä 42 millimetriä, jolloin työkalujen väliin ei jäisi riittävästi tilaa. Kyseisessä sorvissa on ollut alun perin 8-paikkainen työkalunvaihtaja (kuva 8), mutta sitä ei enää ollut. Alkuperäisen työkalunvaihtajan etulevy ei myöskään olisi miellyttänyt vajavaisten kiinnitysmahdollisuuksien vuoksi, sekä se olisi vaatinut Emcon omat työkalupitimet toimi-akseen. Tähän projektiin haluttiin myös toteuttaa 8-paikkainen revolveri niin, että työkalulle olisi aina oma jäähdytys, sekä poranterille ja sisäSORVAUSVARILLE tehtäisiin aina omat kiinnittimet.



Kuva 7. Emcoturn 120 -sorvin X-liikkeen kelkka, johon työkalunvaihtaja pitää kiinnittää. (Niemi, 2024, CC0).



Kuva 8. Emcoturn 120 -sorvin 8-paikkainen työkalunvaihtaja. (CNC-BOTE Maschinen, i.a.).

6.2 Työkalut

Koska kyseessä on suhteellisen pieni sorvi (alkuperäinen kärkiväli 300 mm, maksimi pyörähdyshalkaisija 180 mm), työkalunvaihtajan suunnittelu alkoi työkalujen valinnalla. 16x16 terävarsi (kuva 9) valikoitui tähän projektiin oletustyökaluksi, sillä kyseinen koko on sopiva revolverin muotoiluun ja kokoon nähden, sekä työkaluvarret ja teräpalat ovat edullisia. Työkalun varren koko määrää työkalun kiinnitykseen vaikuttavat mitat suunnitteluun liittyen. Poraus ja sisäsorvaustyökaluille tulee omat lisäkiinnittimet revolverin ulkokehälle.



Kuva 9. Sorvissa käytettäviä sorvaustyökaluja (Niemi, 2024, CC0).

6.3 Vaatimukset suunnittelun ja toteutuksen kannalta

Työkalunvaihtajan suunnittelu alkoi vaatimuksien sekä kriteerien listauksella:

-16x16 terävarsi oletuksena

-Työkalunvaihtaja pitää olla toteutettavissa mahdollisimman edullisesti ja helposti saatavilla olevilla komponenteilla, mielusti jo olemassa olevilla.

-Toistotarkkuus

-Nopea työkalunvaihto

-Tarkasti koneistetut osat kriittisiltä osin

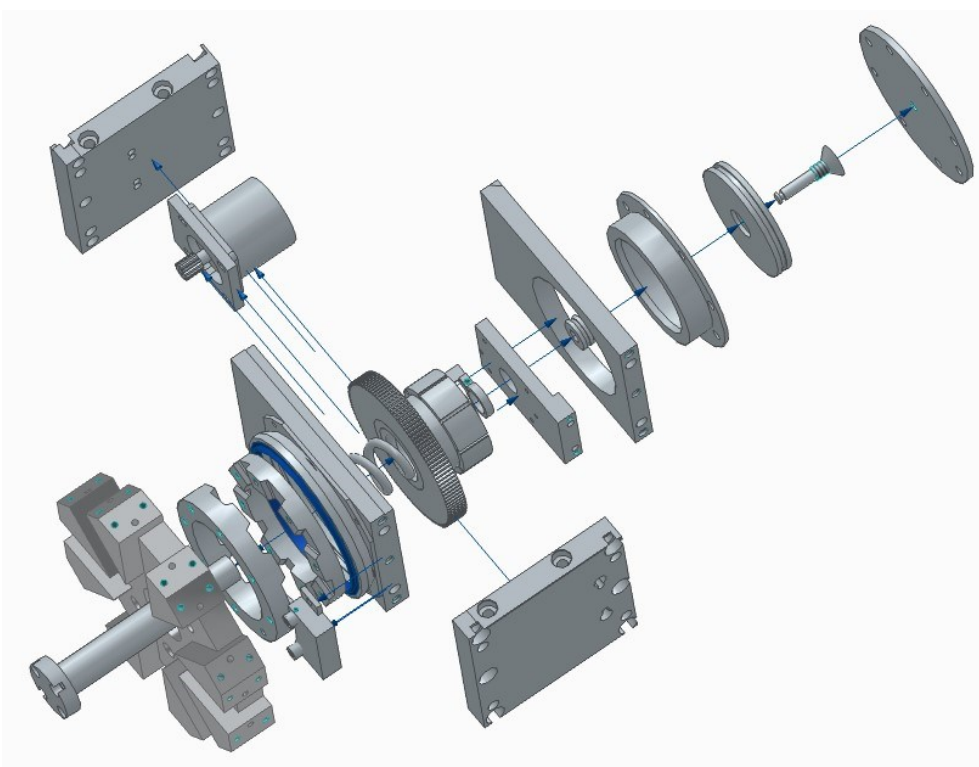
-Kokoonpanon sekä purkamisen ja huoltamisen pitää olla helppoa

-Sähkö ja paineilmatoiminen

- Yksinkertaisuus
- Varmatoimisuus
- Vankka rakenne
- Valmistuksen oltava mahdollista käytettävissä olevilla työstökoneilla (manuaalisorvi & jyrsin, 3-akselin jyrsinkeskus)
- Työkalukohtainen revolverin jäähtytys
- Tiivis rakenne pölyltä ja leikkuunesteeltä

6.4 Rakenne

Kuvassa 10 on esitetty 3D-mallinnettu työkalunvaihtaja kaikkine pääkomponentteineen.

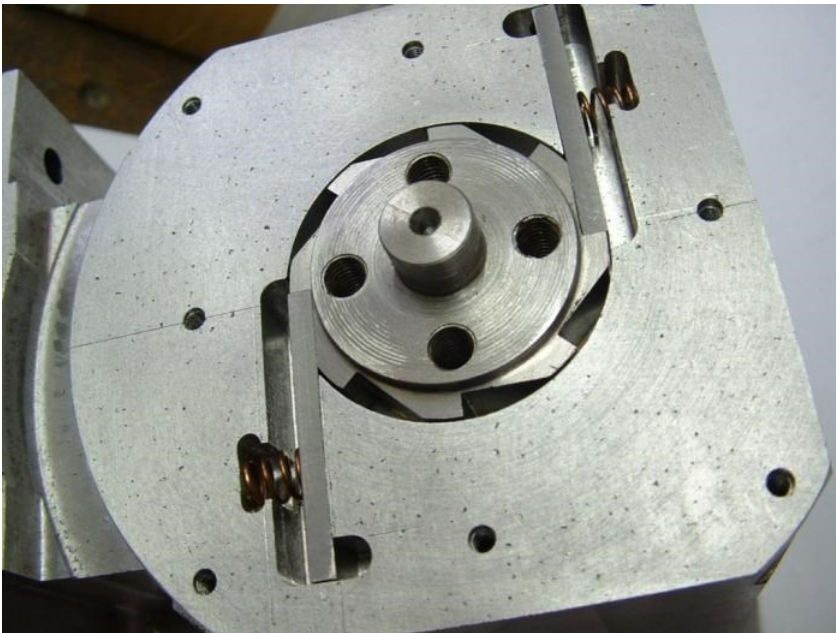


Kuva 10. Suunnitellun työkalunvaihtajan pääkomponentit (Niemi, 2024, CC0).

6.5 Lukitus

6.5.1 Räikkä

Räikkä tyyppinen toteutus on yleinen pienemmän kokoluokan työkalunvaihtajissa (kuva 11 ja 12). Hyvinä puolina on edullinen ja yksinkertainen rakenne, sillä työkalun vaihtamiseksi vaaditaan ainoastaan yksi liike pyörittämään revolveria, mikä voi olla esimerkiksi paineilmasylinteri tai sähkömoottori. Huonoina puolina on, että työkalunvaihtajaa voi pyörittää vain yhteen suuntaan, esimerkiksi jos tarvittava työkalu on viereinen mutta jo ohitettu, täytyy työkalunvaihtajaa kääntää melkein kokonainen kierros. Rakenne on myös kulumalle herkempi, ja kuluma tässä rakenteessa näkyy työkalurevolverin aseman kääntymisenä. Rakenne on myös huono ottamaan iskuja ja kuormaa vastaan, sillä pinta-ala, jonka varaan kaikki voima kohdistuu, on pieni. Työn kohteena olevassa Emcoturn 120-sorvissa työkalunvaihtaja on ollut myös räikkätyyppinen (kuva 11), jossa jousikuormalla avustettu akseli uppoaa taustalevyyn koneistettuihin koloihin, joiden toisella puolen on ramppi. Pieni askelmoottori pyörittää matopyörän avulla työkalurevolverin akselia, ja vällys poistetaan ajamalla moottoria taaksepäin tietyllä virtamäärällä räikkää vasten. Tässä ongelmana on moottorin jatkuva virrankulutus ja lämpeneminen.



Kuva 11. Yksinkertainen omavalmiste räikkämallinen työkalunvaihtajan lukitus (Home Model Engine Machinist, 2012).



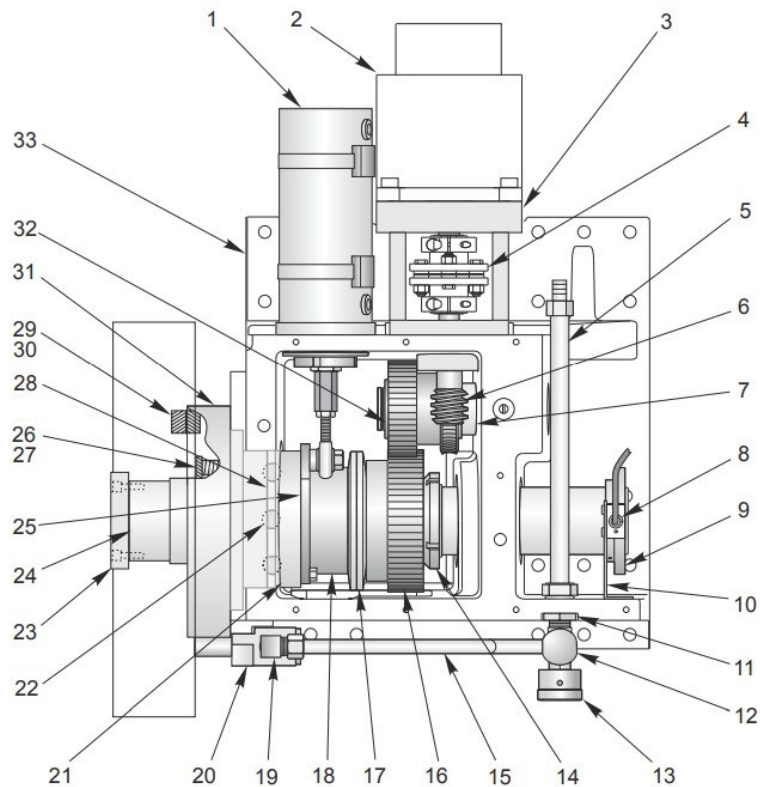
Kuva 12. Emcoturn 120 työkalunvaihtajan räikkä (Machsupport, 2011).

6.5.2 Curvic coupling, turret coupling

Yleisin ja tehokkain tapa isommissa tuotantokoneissa työkalunvaihtajan tarkkaan ase-
mointiin ja lukitukseen on curvic coupling (jota kutsutaan myös nimellä turret coupling),
joka on yleensä yhtä monella sakaralla varustettu hammastettu pyörä, kuin työkalun-
vaihtajassa on paikkoja. Hampaat on koneistettu ja hiottu kyljistään tiettyyn muotoon
niin, että vastakkain asetettuna ne muodostavat toisiinsa nähden mekaanisen lukon.
Tämä rakenne poistaa kaiken liikkeen ja välyksen jokaiseen suuntaan, jos rattaita vede-
tään riittäväällä voimalla toisiaan kohden. Yleensä tämä vetovoima on toteutettu paineil-
masynterillä ja kiilaamalla, kuten Haasin SL-10 työkalunvaihtajassa on toteutettu (kuva
13). Kuvassa oleva paineilmasylinteri (1) kääntää nokkavipua (25) jolloin kolme kuulaa

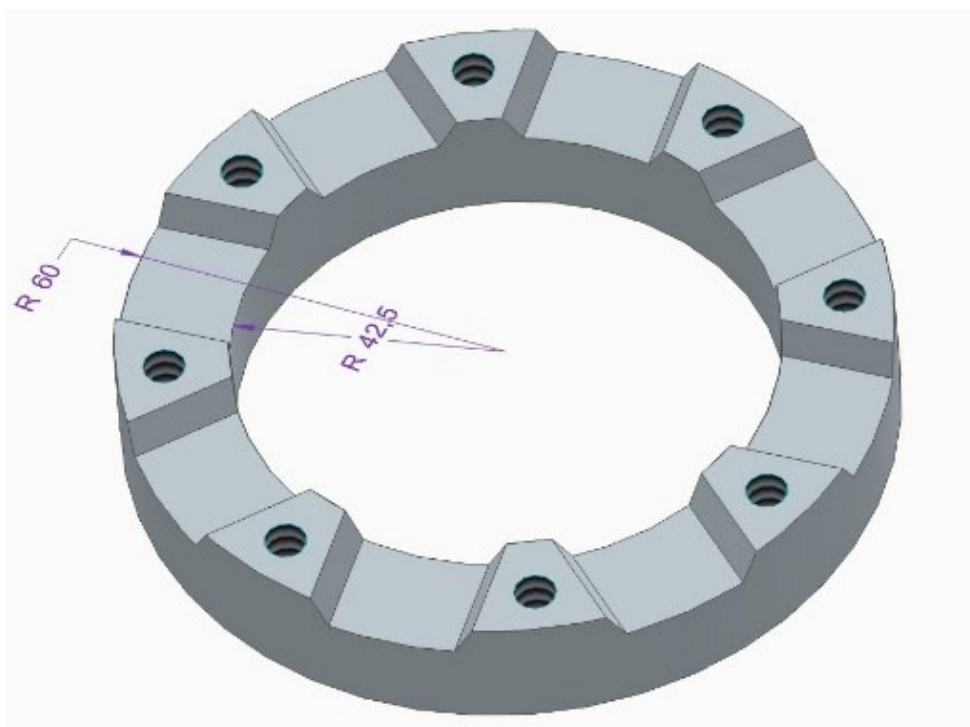
(22) kulkeutuvat asentoon, jotka ottavat Belleville-jousiprikoilta (17) kuorman pois, jolloin koko työkaluvaihtajan akseli pääsee liikkumaan ulospäin revolverin kääntöä varten.

SL-10 - Tool Turret

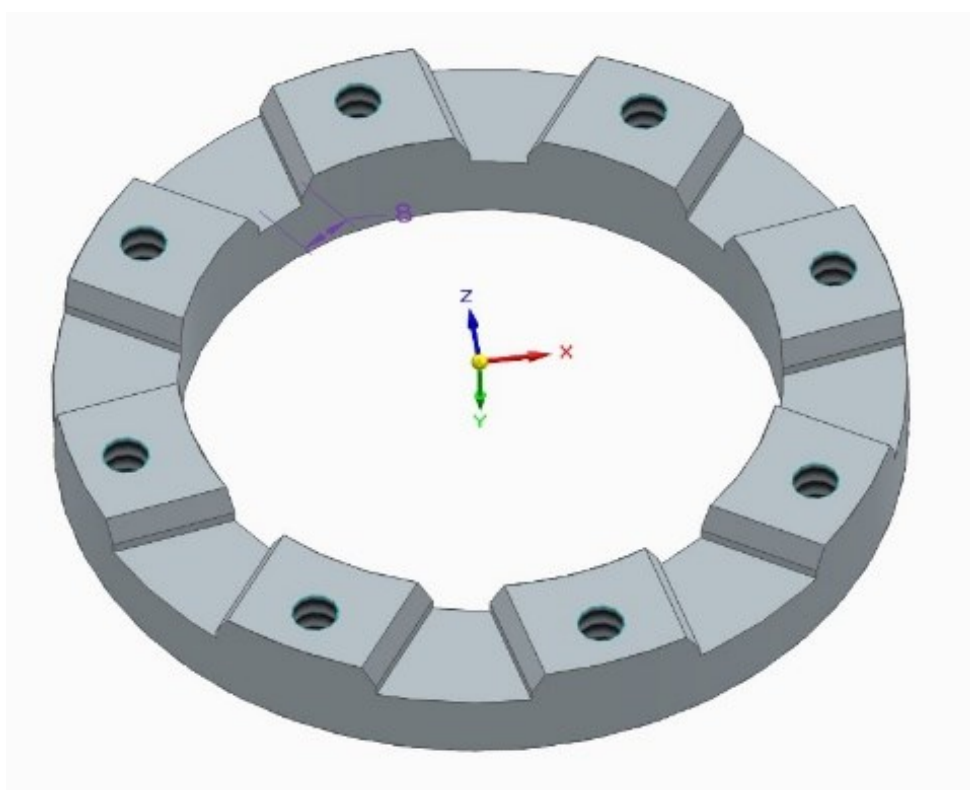


Kuva 13. Haas SL-10 työkalunvaihtajan läpileikkauskuva, jossa näkyy lukitusmekanismi (Courtesy Haas Automation, i.a.).

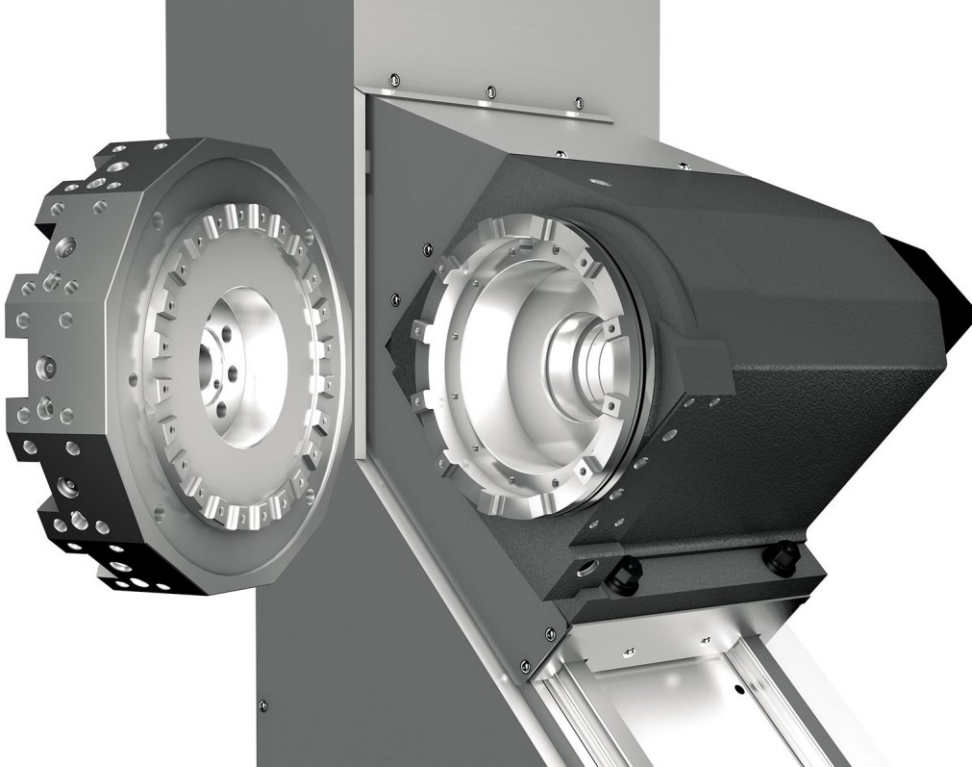
Tässä projektissa päädyttiin myös hieman vastaavanlaiseen ratkaisuun (kuva 16). Kohdistamista varten tulevat kytkentäpyörät (kuva 14 ja 15) valmistetaan ensimmäisessä versiossa 80x120 s355 ainesputkesta, eikä niitä ole tarkoitus pintakäsitellä ensimmäisessä versiossa, vaan on tarkoitus testata ja tutkia kulumaa kyseisissä osissa käytännössä. Kytkentäpyörät on suunniteltu olemaan suoralla profiililla ja 60° kulmalla helpon valmistettavuuden vuoksi. Molemmissa rattaissa on hyödynnetty M8 sisäkierteitä kiinnityksen suhteen, sillä se helpottaa revolverin kohdistamista tulevaisuudessa, koska pulttien kannat jäävät revolverilevyn ulkopuolelle sekä työkalunvaihtajan sisäpuolelle.



Kuva 14. Turret coupling 1 (Niemi, 2024, CC0).



Kuva 15. turret coupling 2 (Niemi, 2024, CC0).



Kuva 16. Haas Heavy-Duty Integral coupler. (Courtesy Haas Automation, i.a.).

6.6 Vaaditun jousivoiman laskenta

Kiilavoiman laskemisen avulla voidaan selvittää, kuinka paljon jousivoima, halkaisija ja kii- lakulma vaikuttavat. Valtosen (2013, s. 179) kaavan (1) avulla pystytään selvittämään kuinka suuret voimat suunniteltu turrett coupling pystyy kohtaamaan liikkumatta:

$$F = G[\tan(\alpha + \rho_1) + \tan \rho_2] \quad (1)$$

Kaavaa muokkaamalla ja soveltamalla voidaan laskea, kuinka suuri voima tarvitaan nostamaan, kääntämään ja liikuttamaan turret couplingia, kun niitä pidetään vastakkain 3000 Newtonin voimalla. Työkalunvaihtajaan on suunniteltu 90 mm halkaisijalla oleva paineilmasylinteri ja mäntäpaketti, joka 5 bar käyttöpaineella pystyy tuottamaan 3140 Newtonin työntövoiman. Valittu jousi on 7.8 kg/mm jousivakiolla. Jousta puristetaan niin, että se tuo levossa 160 kg eli 1569 N voiman. Koska jousipaine kasvaa jousta puristettaessa jousivakion mukaisesti ja jousta joudutaan puristamaan työkalunvaihdon yhteydessä 5 mm, todellinen maksimi jousivoima käy n. 199 kg eli 1951 Newtonia maksimissaan. Kiilakulman ollessa suhteellisen suuri (60 astetta), on rampin päihittämiseen vaadittava voima (F) lasketavissa kaavalla 2.

$$F = G \times (\tan(\alpha) + \rho_1) = 2905.87N \quad (2)$$

Missä

G on 1569N (työntövoima, eli jousivoima)

α on 60 deg (kiilakulma)

F on selvitettävä voima, eli kuinka paljon voimaa tarvitsee rampin päihittämiseen.

ρ_1 on 0.12 (kiilapintojen välinen kitkakerroin)

Työkalun kärjen ollessa 110 mm säteellä työkalurevolverin keskiöstä ja turret couplingin ramppien ulkoreunan säteen ollessa 60 mm, saadaan työkalun lastuamiskuorman voima kaavalla 3:

$$\frac{2905,87 N}{110mm \times 60mm} = 1585,02N \quad (3)$$

Kennametallin lastuamisvoimalaskurilla (kuva 17) voidaan laskea teoreettiset lastuamisvoimat, suunnitellulla materiaalilla ja suunnitellulla työkalulla. Tässä tapauksessa halutaan vain selvittää voima F_t , joka on työkaluun kohdistuva tangentiaalinen voima, joka on sama voima mikä kohdistuu myös työkaluun. Laskurilla arvoksi saatiin 572,26 Newtonia, jolloin varmuuskertoimeksi saadaan 2,77, jota pidetään riittävänä.

Täytyy kuitenkin muistaa, että kaikki arvot ovat vain teoreettisia ja laskennallisia. Vaikuttavia tekijöitä on lisäksi myös turret couplingin ramppien todellinen kitkakerroin sekä työstämisestä kohdistuva syöttövoima ja resultanttivoima, jotka painavat työkalua kohti työkalunvaihtajaa ja lisäävät rampeihin kohdistuvaa voimaa.

Metric Inch

Skip this step if you already know the Brinell hardness number(HB)

⚠ Skip this step if you already know the Brinell hardness number(HB)

Hardness HRB OR HRC into Brinell Hardness (HB)

Rockwell HRC Rockwell HRB

Calculate Hardness

Characteristics of Workpiece Materials

D Diameter mm

HB Brinell Hardness HB

p Power Constant kW/cm³/min

Machining Conditions

a_p Depth of cut mm

L Length of cut mm

f_n Feed rate mm/rev

V_c Cutting speed m/min

E Machine tool efficiency factor

Calculate

Calculated Machining Conditions

n Spindle speed **1591.5** 1/min

Q Metal removal rate **33.6** cm³/min

t Cutting time **0.16** min

Cutting Forces Calculation

F_t Tangential force **572.256** N

F_f Feed force **294.17** N

F_r Radial force **244.52** N

R Resultant force **688.33** N

Horse Power Calculation

P_s Horsepower at the cutting tool **2** kW

P_m Horsepower at the motor **2.22** kW

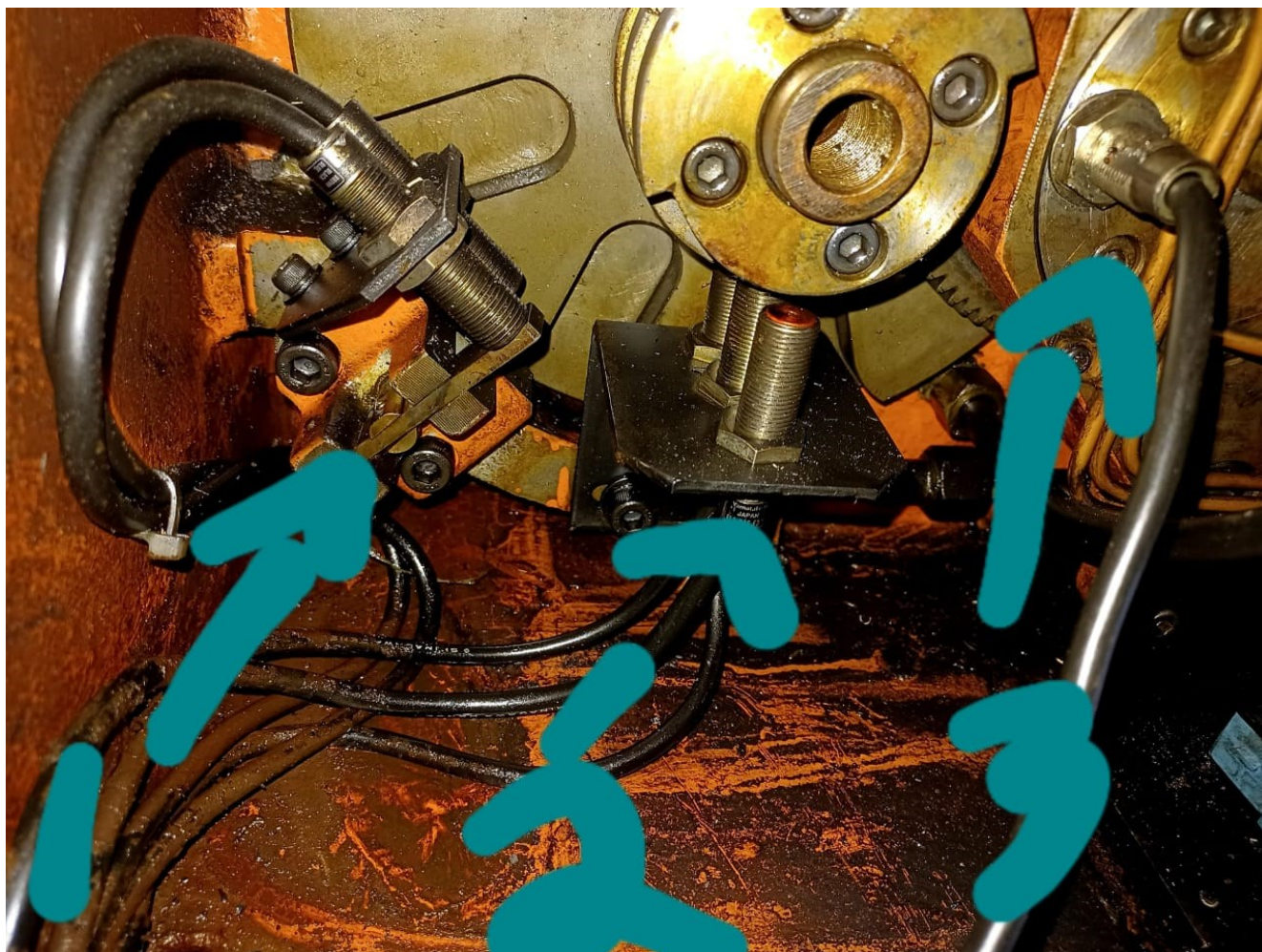
F_T Torque **12** N-m

Cutting Forces

Kuva 17. Kennametal Cutting force calculator

6.7 Työkalunvaihtajan asennon tunnistus

Jotta logiikka tietää, missä asennossa työkalunvaihtaja on, täytyy sitä varten olla työkalunvaihtajan kääntöakseliin liitetty anturointi. Yleisimmät tavat toteuttaa asennon tunnistus on käyttää jonkinlaista pulssilevyä ja induktiivisia antureita, kuten esimerkiksi Mazak QT20 (kuva 18) on toteutettu. Työkalunvaihtaja on 8-paikkainen, joten kolmella anturilla (2.) ja kolmella erimuotoisella anturipyörällä saadaan aikaan kahdeksan erilaista yhdistelmää, joiden avulla ohjaus tietää aina työkalunvaihtajan asennon. Anturit (1.) ovat työkalunvaihtajan kiinni ja auki tunnistavat anturit. Yksi antureista (3) on indeksointianturi, joka kertoo ohjaukselle tarkan asennon.



Kuva 18. Mazak QT20 8-paikkainen työkalunvaihtaja ja anturoinnit (dctrytsman, 2023)

Tässä projektissa työkalunvaihtajan suunnittelussa piti ottaa huomioon käytettävissä oleva tila. Työkalunvaihtajaa ei turhaan haluttu tehdä fyysiseltä kooltaan isommaksi kuin

välttämätöntä. Asennon tunnistus päätettiin toteuttaa normaalisti paineilmasylintereissä käytettävillä SMC:n valmistamilla D-m9 solid state auto switcheillä. Anturit ovat kolmejohtoisia NPN-antureita, ja niiden käyttöjännite on 4.5-28vdc. Normaalisti paineilmasylinterin ulkokuoret ovat alumiinia, joihin anturit kiinnitetään, ja mäntään on rakennettu magneetti ulkokehälle, jonka anturi tunnistaa sen tullessa kohdalle.

Antureita haluttiin laittaa kahdeksan, jolloin jokaiselle työkalupaikalle on oma anturi. Niille koneistettiin alumiinista vaippa (kuva 19), johon ne saatiin kiinnitettyä. Tämä vaippa kiinnitettiin työkalun vaihtajan akselia kannattelevaan päätylaippaan. Työkalunvaihtajan akseliin tulee vipu, jonka päässä on sopiva magneetti. Magneetin asennolla ja muodolla on merkitystä, koska kyseiset anturit lukevat vain lyhyen matkaa pituussuunnassa, mutta pidemmän matkaa leveysuunnassa, joten magneetista lähtevä magneettikenttä on tarkka suuntauksesta anturin halutun toiminnan saavuttamiseksi.

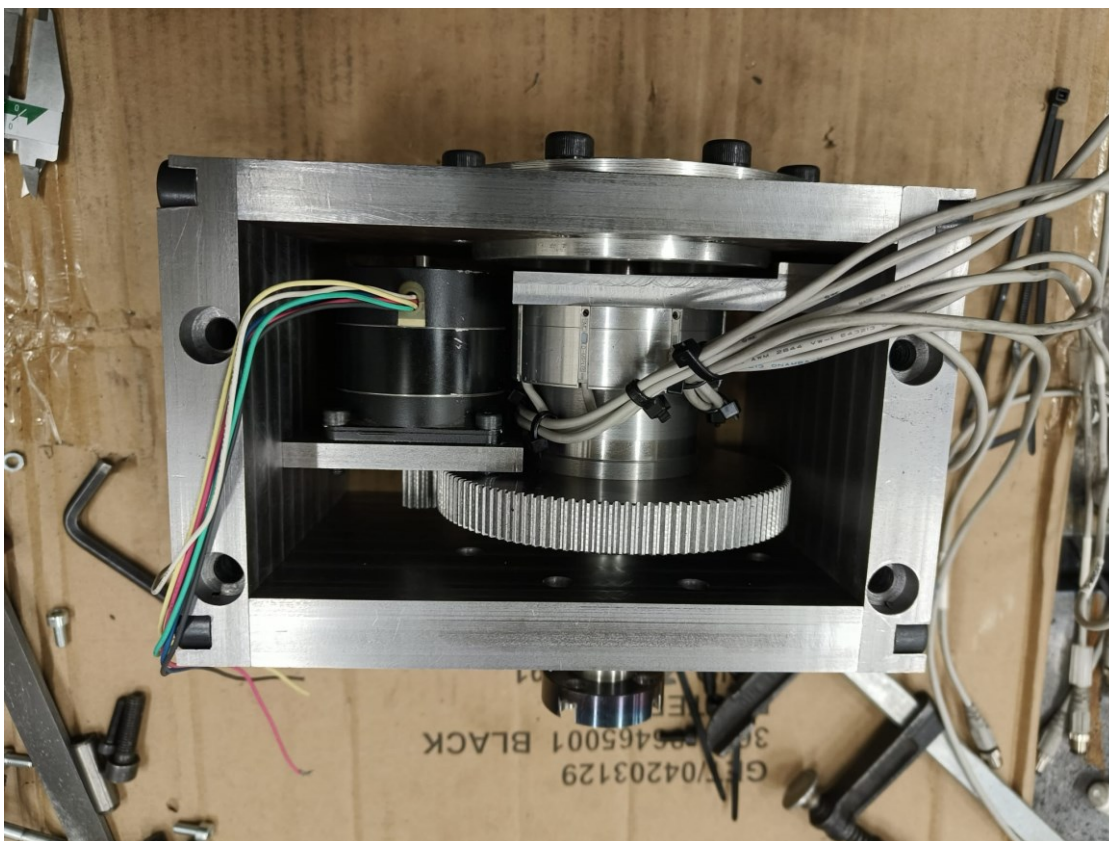


Kuva 19. Työkalunvaihtajan asentoa lukevat anturit (Niemi, 2024, CC0).

6.8 Työkalunvaihtajan kääntö

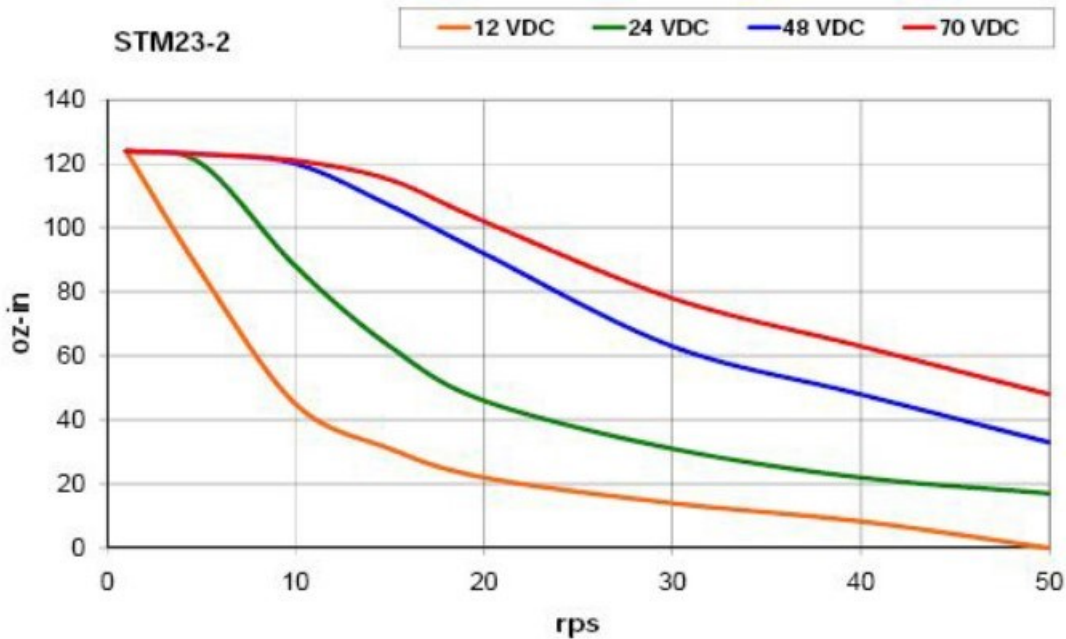
Työkalunvaihtajan kääntö on toteutettu yleensä servomootorilla, jolloin kääntöakselilla on yleensä yksi indeksointianturi. Hyvinä puolina on, että servomoottori tietää asemansa niin kauan kuin ohjauksen virrat pidetään päällä. Kun virta käytetään pois, pitää työkalunvaihtaja ajaa aina indeksointianturin ohi, jotta ohjaus tietää taas tarkan positionsa. Servomoottorilla saadaan myös suurempi vääntö verrattuna askelmoottoriin.

Tässä projektissa päätettiin käyttää sopivan kokoista askelmoottoria, koska sellainen löytyi entuudestaan. Moottori on Vextan valmistama PH226-01B askelmoottori (kuva 20), joka on Nema 23 runkokokoa, joka on standardi askelmoottorien mitoituksessa. Moottoria pystytään ohjaamaan yhdellä edullisella askelmoottoriohjaimella, ja se pystyy tarjoamaan 6 voltin ja 1.2 ampeerin virtamäärällä 0.588Nm paikallaanpitoväännön, jota kutsutaan myös staattiseksi väännöksi. Askelmoottorin vääntö kuitenkin putoaa sitä mukaa, kun kierrokset nousevat.



Kuva 20. Työkalunvaihtajan mekaniikka, jossa näkyy työkalunvaihtajaa kääntävä askelmoottori ja sen rattaat. (Niemi, 2024, CC0).

Kuvassa 21 on kaavio samankaltiasesta Nema 23-runkoisesta askelmoottorista, jossa on kuvattuna vääntö ja kierrosnopeus jännitteen mukaan. 120 oz-in vastaa 0,847 Newtonmetrin vääntöä. Kaaviosta voidaan päätellä, että käytettäessä 48 voltin virtalähdettä, pystytään ylläpitämään liki maksimi dynaaminen vääntö, jos kierrokset pysyvät alle 600 rpm. Väliytysuhteen ollessa 1:10, työkalunvaihtaja pyörisi kyseisellä moottorin nopeudella kierroksen sekunnissa, joka on riittävä maksiminopeus.



Kuva 21. Nema 23 dynaaminen vääntö verrattuna kierrosnopeuteen (Applied Motion Products, 2023)

Koska kääntävän akselin pitää myös pituussuunnassa liikkua, valikoitui tehtävään hammasrattaat, sillä näillä saadaan aikaiseksi sopiva väliytysuhde, sekä moottori voi olla kiinteästi kiinni työkaluvaihtajan rungossa, vaikka akselissa oleva isompi ratas liikkuu myös akselin suuntaisesti. Rattaiksi valikoitui moduuli 1 koon standardin mukaiset teräksestä valmistetut 12- ja 120- hampaiset rattaat, koska niillä saatiin sopiva väliytysuhde ja etäisyys moottorista akseliin. Isompaan rattaaseen pystyttiin koneistamaan suurempi reikä, johon pystyttiin asettamaan hitsattava holkki, sillä tämän holkin sisälle piti saada mahtumaan myös akselin vetojousi. Pienempään rattaaseen tarvitsi koneistaa vain sopivan kokoinen reikä, jolloin se voitiin asentaa laakerilukitteen kanssa moottorin akseliin.

Työkalun vaihtajan moottorilta ei vaadita indeksointia. Vaihto on suunniteltu toteutuvaksi niin, että jokainen työkalun vaihtoon tarvittava käänös vaatii tietyn määrän askelia moottorilta. Vaikka askelhukkaa esiintyisi, turret coupling antaa siinä hieman anteeksi, koska ramppinkulmat ja jousivoima riittävät päihittämään moottorin väännön helposti. Keskitys on siis aina varma, jos työkalun vaihtotapahtumassa moottori pyörähtää edes melkein oikean määrän, vaikka turret couplingin hampaat eivät osuisi juuri kohdalleen.

6.9 Laakerointi

Työkalunvaihtajan laakeroinnissa piti huomioida erisuuntaiset liikkeet sekä kuormat. Revolverin kääntöakselin täytyy pyöriä akselinsa ympäri, sekä liikkua myös akselin suuntaisesti. Tähän valikoitui itsevoitelevat PTFE pinnoitteiset liukulaakerit, sillä niiden käyttöaste on pieni pyörintänopeus ja kuorma huomioiden, sekä ne vaativat vähän tilaa ja ovat suhteellisen huoltovapaita (Salonen, 2014, s. 307).

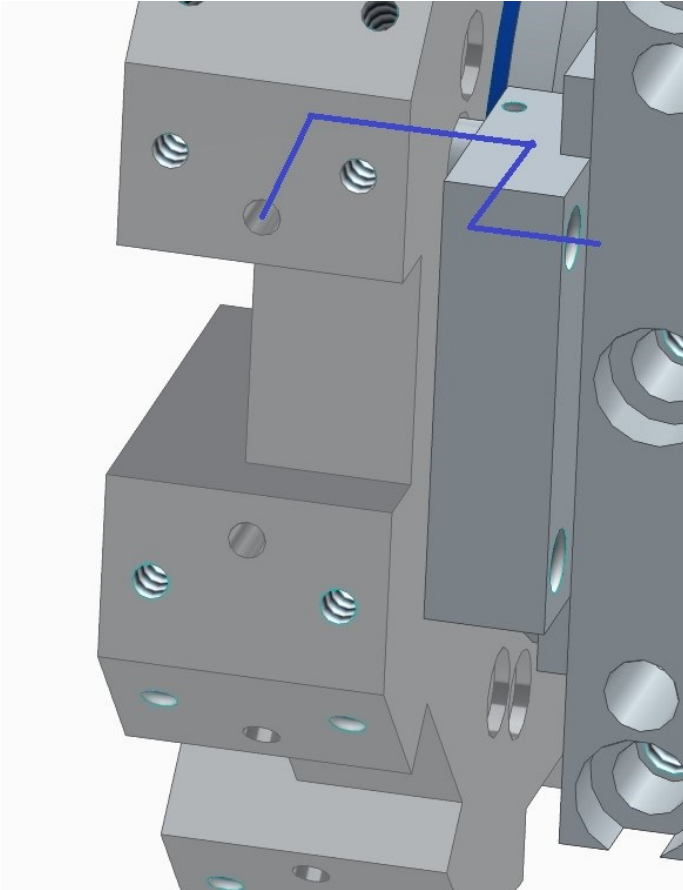
Vetojousen toiseen päähän tarvittiin painekuulalaakeri, että jousi pääsee toisesta päästään pyörimään vapaasti ja akseli kääntymään kevyesti suuresta jousipaineesta huolimatta. Lisäksi akselin päätyyn tarvittiin painekuulalaakeri, jotta paineilmasylinterin mäntä ei pyörisi akselin mukana, mutta kääntö onnistuu, vaikka mäntä painaisi akselia ja sitä myöten jouta kasaan päin.

6.10 Työkalun jäähdytys

Työkalun ja kappaleen jäähdytys on oleellinen, kun halutaan tehdä mittatarkkaa sarjatyötä hyvällä pinnanlaadulla. Nestejäähdytyksellä työstettävän kappaleen lämpötila saadaan pysymään hyvinkin tasaisena. Työkappaleen lämpeneminen johtaa hallitsemattomiin mittamuutoksiin, sillä pelkän kovametalli sorvausterän pintaosan lämpötila voi nousta jopa 1200° celsiusasteeseen asti (Aaltonen, 2003, s. 145).

Jäähdytys päätettiin toteuttaa kuvassa 22 näkyvällä tavalla. Työkalurevolverin ulkoreunalla on kanava, jossa on M10x1 kierre. Tällöin voidaan käyttää helposti saatavilla olevia jarrujärjestelmiin sopivia kierrenippoja, ja suutinputki voidaan tehdä 4,75 mm kokoisesta kupari-putkesta, jonka pystyy helposti muotoilemaan halutun suihkun ja suuntauksen

saavuttamiseksi. Työkalunvaihtajan rungossa on pulteilla kiinnitetty osa, jossa on säädettävät nipat, joiden päässä on o-rengastiivistys työkalurevolverin pintaan. Jäähdytiskanavat ovat molemminpuoliset, jolloin niitä voidaan sorvaustyökalusta ja karan pyörimissuunnasta riippuen käyttää tarpeen mukaisesti.



Kuva 22. työkalun jäähdytyksen kanava (Niemi, 2024, CC0).

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

7.1 Yhteenveto

Teoriaosuudessa käytiin läpi työstökoneiden modernisointia, syitä, tarpeita ja kannattavuutta. LinuxCNC-ohjelmistoa käytiin lyhyesti läpi niin, että sen käyttöönotto ja teoria olisi helpommin ymmärrettävissä myös asiasta tietämättömille.

Työn tavoitteena oli työkalunvaihtajan suunnittelu ja toteutus. Työn suunnitteluvaiheessa tutkittiin erilaisia kaupallisia sorvien työkalunvaihtajia ja otettiin mallia sekä vaikutteita niiden rakenteista, mallista ja heikkouksista ja vahvuuksista. Eri variaatioita pohdittiin ja valittiin niistä käyttökohteeseen liittyen paras vaihtoehto, jota sovellettiin käytettävissä olevien materiaalien ja työstökoneiden mukaan. Opinnäytetyön alkuperäisenä tavoitteena oli pysyä valmistamaan ja testaamaan koko työkalunvaihtaja käytännössä, mutta aika loppui kesken. Työssä saatiin kumminkin suunniteltua työkalunvaihtaja kokonaisuudessaan ja valmistettua suurin osa tärkeimmistä komponenteista.

7.2 Pohdinta

Työn aihe oli itselle mielenkiintoinen sekä mielekäs. Kiinnostus NC-tekniikkaan ja työstökoneisiin syntyi ammattikorkeakoulun aikana, ja sen johdosta on modernisoitu jo yksi jyr-sinkone, sekä opinnäytetyön aiheena olevan sorvin modernisointi on aloitettu ja saatu hyväälle mallille. Työstökoneen modernisointi aiheena on ollut todella opettavainen, sillä siinä on oppinut paljon myös sähkö- ja automaatiotekniikkaan liittyviä asioita. Työkalunvaihtajan suunnittelussa ja toteutuksessa on hyödynnetty kaikkia ammattikorkeakouluopintojen aikana opittuja taitoja, sekä kehitetty niitä vielä lisää. Tästä työstä saatu tietotaito on myös luonut itselle uusia mahdollisuuksia työskennellä laajemmin eri työtehtävissä.

LÄHTEET

- Applied Motion Products. (2023). *Dynamic Torque & Step Motor Sizing*. Haettu 20.9.2024.
<https://www.applied-motion.com/s/article/dynamic-torque-step-motor-sizing>
- Autodesk. (2021). *CNC Milling Coordinate System Made Easy*. Haettu 9.10.2024.
<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-coordinate-system-made-easy/>
- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, M., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miittinen, J., Rantala, A., Rinkinen, J., & Salonen, P. (2014). *Koneenosien suunnittelu*. (6., uudistettu p.). Sanoma Pro.
- CNC-BOTE Maschinen. (i.a.). *Emco PC-Turn 120 CNC Lathe*. Haettu 20.10.2024.
<https://cncbote-maschinen.de/en/machine/emco-pc-turn-120-cnc-lathe-2/>
- Courtesy Haas Automation. (i.a.-a). *Heavy-Duty Integral Coupler*. Haettu 25.9.2024.
<https://www.haascnc.com/productivity/turret.html>
- Courtesy Haas Automation. (i.a.-b). *Turret Indexer Assembly - SL-10/30 ST-10/15 - Troubleshooting Guide*. Haettu 25.9.2024.
<https://www.haascnc.com/service/troubleshooting-and-how-to/troubleshooting/sl-10-20-30--st-10-15-turret-indexer-assembly--troubleshooting-g.html>
- Home Model Engine Machinist. (2012). *8 Tool rotary Turret*. Haettu 25.9.2024.
<https://www.homemodelenginemachinist.com/threads/8-tool-rotary-turret.18508/>
- Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., & Sihvonen, P. (2003). *Valmistustekniikka*. (10. muuttumaton p.). Otatieto.
- Kennametal. (i.a.). *Cutting Force Calculator*. Haettu 26.9.2024.
<https://www.kennametal.com/us/en/resources/engineering-calculators/turning-calculators/cutting-forces.html>
- Lacy, P., Long, J., & Spindler, W. (2020). *The circular economy handbook: Realizing the Circular Advantage*. Palgrave Macmillan.
- LinuxCNC. (i.a.-a). *Getting LinuxCNC*. Haettu 24.11.2024.
<https://linuxcnc.org/docs/html/getting-started/getting-linuxcnc.html>
- LinuxCNC. (i.a.-b). *LinuxCNC Supported Hardware*. Haettu 24.11.2024.
http://wiki.linuxcnc.org/cgi-bin/wiki.pl?LinuxCNC_Supported_Hardware

- LinuxCNC. (2023). *Mazak QT20 Automatic tool changer*. Haettu 25.9.2024.
<https://forum.linuxcnc.org/26-turning/48487-mazak-qt20-automatic-tool-changer>
- LinuxCNC. (2024). *LinuxCNC 2.9.3 released*. Haettu 23.9.2024.
<https://linuxcnc.org/2024/07/12/LinuxCNC-2.9.3/>
- Machsupport. (2011). *8 position lathe tool changer*. Haettu 25.9.2024.
<https://www.machsupport.com/forum/index.php?topic=18606.0>
- Mekid, S. (2008). *Introduction to precision machine design and error assessment*. CRC Press.
- Paycnc. (i.a.). *Scraping and shoveling*. Haettu 20.10.2024.
https://www.paycnc.com/info/scraping-and-shoveling_i2268.html
- Pikkarainen, E. (1999). *NC-tekniikan perusteet*. Opetushallitus.
- Valtanen, E. (2013). *Tekniikan taulukkirja. (20. p.)*. Genesis-Kirjat.
- WayKen. (15.10.2021). *CNC Programming Languages – G Code and M Code*.
<https://waykenrm.com/blogs/cnc-programming-languages-g-code-and-m-code/>