

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

Tuotekehitystekniikka

2022

Jaakko Sairanen

Automaattisen timanttiporanterien terityskoneen suunnittelu

Jaakko Sairanen

Automaattisen timanttikorannerien terityskoneen suunnittelu

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella tilaajayrityksen tarpeiden mukainen automatisoitu kone teollisuudessa käytettävien timanttikorannerien teritykseen. Tilaajayrityksenä toimi Hihna-Pepe oy. Käytössä olevaa terityslaitteistoa haluttiin tehostaa eivätkä olemassa olevat automatisoidut ratkaisut olleet sopivia tilaajan tarpeisiin. Teritystyön kannattavuutta haluttiin myös tehostaa, sillä terityksestä muodostuva tuotto määräytyy läpimenoajan mukaan.

Uusi terityskone suunniteltiin vanhan laitteiston pohjalta, ja sen lähtökohtana oli samojen kulutusosien, kuten leikkuuterien ja terävasteiden käyttö. Koska tilaajayritys valmisti terityskoneen itse, hyödynnettiin suunnittelussa heidän valmistusteknisiä taitojaan ja näkemyksiään, jotta valmistus olisi sujuva. Modernien lineaarikomponenttien käyttö teki koneesta huoltovapaan sekä takasi hyvän paikatustarkkuuden. Terityskoneen automaatio suunnittelu tilattiin alihankintana, joten tämä opinnäytetyö keskittyy koneen mekaniikkasuunnitteluun.

Opinnäytetyön tuloksena oli toimiva terityskone, johon tilaajayritys oli tyytyväinen. Laitteisto automatisoi sen teritystyön vaiheen, johon kului eniten aikaa. Koneen suorittaessa työtään vapautuu konetta hoitava työntekijä suorittamaan muita teritysprosessiin liittyviä töitä, jonka ansiosta teritystyön läpimenoaika lyheni merkittävästi.

ASIASANAT:

Koneensuunnittelu, Automaatio, Timanttikoreraus, Abrasiivinen työstö.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering

2022 | 27 pages

Jaakko Sairanen

Designing an automated diamond core drill re-tipping machine

The goal of this thesis project was to design an automated diamond core drill re-tipping machine which was commissioned by Hihna-Pepe Oy. The current machinery was slow and inaccurate to use, and the available automated machinery was not up to the needs of the company. The grown demand drove the need to develop the re-tipping process as the profitability of the re-tipping is determined by its turnaround time.

A new re-tipping machine was designed from the basis of the current machinery and to use the same consumable parts as the pre-existing machinery, such as cutting blades and blade guides. As the ordering company was going to manufacture the machine itself, the company's and its staff's knowledge and manufacturing capabilities played a key role in the design process. The use of modern linear components meant that the machine had very repeatable positioning and a maintenance free design. Automation design was outsourced to a contractor, so this thesis project focused heavily on mechanical designing of the machine.

In the end, the project was successful. The designed machine greatly reduced the turnaround time of the re-tipping and allowed the individual worker to perform other tasks related to the process. By automating the most time-consuming part of the re-tipping process, the commissioning company was very pleased with the outcome of this project.

KEYWORDS:

Machine design, Automation, Diamond core drilling, Abrasive machining

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 TIMANTTIPORAUS	7
2.1 Timanttiporakone	7
2.2 Timanttiporakoneen terä	7
2.3 Timanttiporanterän teritys	9
3 SUUNNITELU	12
3.1 Suunnittelun lähtökohdat	12
3.2 Runko	13
3.3 Y-akseli	16
3.3.1 Y-suuntaisen liikkeen toteutus	17
3.3.2 Y-akselin servomoottori	18
3.4 Leikkuri	19
3.5 Hydraulikka	21
3.6 Jakopöytä	21
3.7 Automaatio	23
4 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27

KAAVAT

Kaava 1. Lineaarijohteen nimellinen kestoikä (THK LM Guide).....	14.
Kaava 2. Lineaarijohteen korjatun nimelliskestoian korjauskerroin (THK LM Guide 2022).....	15.
Kaava 3. Lineaarijohteen korjattu kestoikä (THK LM Guide).....	15.
Kaava 4. Kuularuuvien suurin sallittu aksiaalikuorma (THK Ball Screw General Catalog 514E).....	17.
Kaava 5. Kuularuuvien korjattu kestoikä (THK Ball Screw 514E).....	18.
Kaava 6. Kuularuuvien pitomomentin kaava (THK Ball Screw 514E).....	19.

KUVAT

Kuva 1. Ulkokierteellä ja keskityskartiolla kiinnitettävä terä (Husqvarna 2022. Elite-drill D10 TW).....	8.
Kuva 2. Pikakiinnitettävä terä (Hilti 2022. SPX-L masonry core bit (BI)).....	8.
Kuva 3. Teritysprosessi (Diatip brochure)	10.
Kuva 4. Koneen runko	13.
Kuva 5. Y-akseli.....	16.
Kuva 6. Leikkuri	20.
Kuva 7. Jakopöytä	22.
Kuva 8. Suunniteltu terityskone.....	26.

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on suunnitella automatisoitu kone timanttiporanterien teritykseen. Timanttiporauksessa porataan putkimaisella terällä reikiä koviin materiaaleihin, joita on haastava työstää lastuavalla työstömenetelmällä. Terien kehälle asetetut teräpalat jauhavat materiaalia terän pyöriessä verrattain hitaasti, ja porauksessa käytettävä leikkuuneste huuhtelee leikkuujätteen ulos sekä voitelee ja jäähdyttää terää. Teräpalat kuluvat käytössä, ja terityksessä teräpalat vaihdetaan uusiin leikkaamalla vanhat palat irti, ja loveamalla paikat uusille teräpaloille. Terityksen viimeisenä vaiheena uudet teräpalat juotetaan paikkoihinsa.

Opinnäytetyön tilaajana on turkulainen yritys Hihna-Pepe oy. Yrityksen toimialaa ovat kuljettimet sekä kuljetin- ja voimansiirtohihnat, teollinen kunnossapito, sekä koneiden ja teräsrakenteiden suunnittelu, huolto ja rakentaminen. Tällä hetkellä yritys työllistää alle 10 henkilöä. Hihna-Pepe Oy aloitti timanttiterin terityksen vuonna 2018, jolloin hankittiin tarvittava laitteisto ja osaaminen työhön. Teritysten kysyntä on kasvanut tasaisesti, ja vuoden 2021 alussa Turun seudulla terityspalveluiden vähetessä kysynnän kasvu on ollut suurta. Tämä on aiheuttanut painetta prosessin tehostamiselle ja läpimenoajan lyhentämiselle.

Opinnäytetyön lähtötilanteena oli olemassa olevan laitteiston kehittäminen, prosessin suoraviivaistaminen sekä läpimenoajan lyhentäminen. Terityksen hinta muodostuu suoraan juotettujen teräpalojen määrästä, jolloin prosessin nopeuttaminen lisää suoraan siitä saatavaa tuottoa ja lisää sen kannattavuutta. Käytössä olevaa Diatip CD 7-28 manual -terityskonetta haluttiin parantaa, koska sen toimintaperiaate oli todettu hyväksi. Koneen käytettävyyttä kuitenkin haluttiin kehittää, ja tämä opinnäytetyö alkoikin lähtökohdasta, jossa olemassa oleva laitteisto piti päivittää jälkiasentamalla siihen automaatiojärjestelmä. Jo työn varhaisessa vaiheessa tämä todettiin kestävämmäksi ratkaisuksi, ja koko laite suunniteltiin uudestaan automatisoiduksi koneeksi.

2 TIMANTTIPORAUS

Timanttiporauksessa tehdään reikiä materiaaleihin, joita on haastava työstää perinteisemmillä lastuavilla työstömenetelmillä. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi kivi ja betoni, erilaiset komposiitit ja keraamiset materiaalit. Näitä materiaaleja yhdistää yleensä niiden kovuus sekä hauraus, jolloin lastuavan työstömenetelmän käyttö lisäisi materiaalivaurioita ja säröjä. (Modeling of cutting forces in diamond drilling 2015, 59). Timanttiporausta käytetään monilla eri aloilla, kuten esimerkiksi kaivos ja rakennusalalla. Komposiittiteollisuudessa timanttiporauksen abrasiivinen porausmenetelmä ja porattavan materiaalin mukaan valittava teräkruunun karkeus vähentävät komposiitin repeämisestä aiheutuvia kappalevaurioita (Diamond drilling of Carbon Fiber Reinforced Polymers 2017, 183).

2.1 Timanttiporakone

Porakoneelta timanttiporaus vaatii erilaisia ominaisuuksia kuin lastuava poraus. Timanttiporakoneet ovat hitaasti pyöriviä ja korkean vääntömomentin poria, joissa on mahdollisuus syöttää karan läpi virtaavaa leikkuunestettä. Rakennusteollisuudessa timanttiporakoneet kiinnitetään työturvallisuuden parantamiseksi porattavaan pintaan tai rakenteisiin käyttäen porausjalustaa (Ratu 0406 2012, 7)

2.2 Timanttiporakoneen terä

Timanttiporakoneen terä on putkimainen, perästään porajärjestelmään liitettävä terä, jonka kärkeen on juotettu timanttiteräpalat. Teräpalat sisältävät teollisuustimantteja kovametallimatsiisissa. Teräpalkan kuluessa uusia timantteja ilmestyy kovametallimatriisista muodostaen uuden leikkuupinnan.

Käytetty terän liitos on riippuvainen valmistajasta sekä valmistajan käyttämistä mallisarjoista. Osa porajärjestelmistä käyttää karkealla kierteellä ja

keskityskartiolla olevaa liitosta (Kuva 1), osa pikakiinnikkeisiin perustuvaa liitosta (Kuva 2). Yhteistä näillä liitoksilla on kuitenkin niiden toimintaperiaate; ne kaikki kiinnittävän terän timanttiporakoneeseen tukevasti, samalla keskittäen sen.



Kuva 1. Ulkokierteellä ja keskityskartiolla kiinnitettävä terä (Husqvarna 2022. Elite-drill D10 TW)



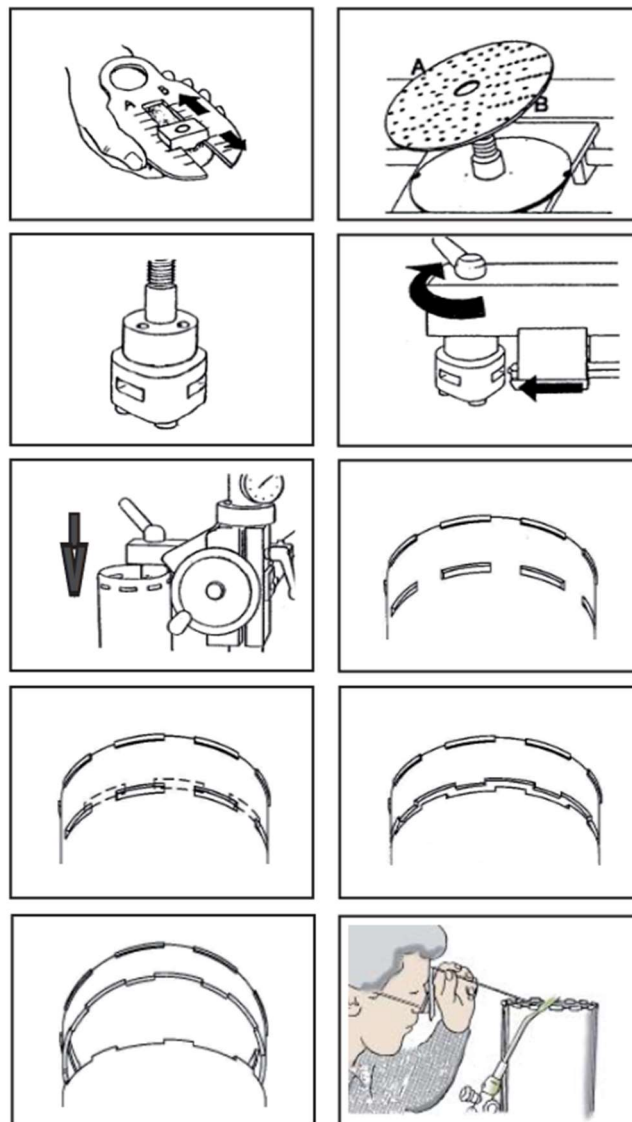
Kuva 2. Pikakiinnitettävä terä (Hilti 2022. SPX-L masonry core bit (BI))

2.3 Timanttioranterän teritys

Koska timanttiorauksen hinta muodostuu porattavien reikien määrästä, on kustannustehokkaampaa terittää kuluneet oranterät uusilla teräpaloilla kuin vaihtaa ne kokonaan uusiin oranteriin. Jokaisessa terityksessä terästä leikataan kuluneet teräpalat pois, jolloin terä menettää pituuttaan. Riippuen terän pituudesta se voidaan terittää lukuisia kertoja, kunnes siitä tulee liian lyhyt käytettäväksi. Näin jokaiselle terälle saadaan pitkä käyttöikä.

Teritysprosessin alkuvaiheessa timanttioranterästä suoritetaan mahdolliset lommot ja kolhut pois mekaanisesti eri menetelmiä hyödyntäen. Kun terä on suora, siihen lovetaan paikat uusille teräpaloille. Tämän jälkeen terästä katkaistaan vanha kruunu pois, paljastaen teräpalojen lovet. Puhdistuksen jälkeen uudet teräpalat juotetaan hopealla niille valmiiksi loveuksessa tehdyille paikoilleen.

Suunnitellulla koneella haluttiin lyhentää terien läpimenoaikaa automatisoimalla teräputken loveaminen ja katkaisu. Käsikäyttöisellä terityskoneella prosessi alkaa asettamalla jakolevy oikeaan lovimäärään (Kuva 2, kohta 1 ja 2), jonka jälkeen terä asennettiin koneeseen ja leikkurin korkeus määritettiin vaihdettavien teräpalojen alapuolelle. Sen jälkeen käyttäen käsikäyttöistä vipua sekä pyörittämällä terää käsin, teräpalojen lovet leikataan. Loveamisen jälkeen leikkuria nostetaan teräpalan asennussyvyyden verran, jonka jälkeen leikkurilla leikataan vanha teräkruunu irti (Kuva 2, kohta 7 ja 8).



Kuva 3. Teritysprosessi (Diatip brochure)

Automatisoidulla koneella työkulku on työntekijän kannalta helpompi, ja virheiden mahdollisuus pienenee, jolloin teritettävät terät tarvitsevat tehdä vain kerran. Työntekijä myös vapautuu tekemään muuta työtä loveuksen ajaksi. Kone hyödyntää jakopöydän servomoottorin enkooderia jaon suorittamiseen, jolloin työntekijän ei tarvitse tehdä muuta kuin asettaa terä paikalleen ja valita koneen näytöltä terän halkaisija. Teräpalojen määrä vaihtelee teräputken halkaisijan mukaan, joten jako voidaan ohjelmoida suoraan koneen automaatioon. Halkaisijan asettamisen jälkeen työntekijä nostaa koneen leikkurin oikeaan korkeuteen, ja asettaa käyttöliittymästä oikean teräpalkan

asennussyvyyden. Näin automaatio tietää miten paljon leikkuria nostaa teräputken loveamisen jälkeen, jotta vanha kruunu saadaan leikattua pois. Operaation suoritettuaan automaatio nostaa leikkurin pois tieltä, jolloin leikatun teräputken irrottaminen ja uuden asettaminen on mahdollisimman suoraviivaista.

Terityksessä on tärkeää, että teräpalat asetetaan oikeaan kohtaan teräputkeen nähden. Teräpala on tarkoituksella paksumpi kuin itse teräputki, jolloin putken sisäpuolelle jää tilaa leikkuunesteen virtausta varten, ja ulkopuolelle tilaa porausjätteen poistumiselle. Väärin asennettu teräpala saattaa aiheuttaa terän jumiutumisen porattavaan materiaaliin. Teräpalojen asettamisessa voidaan käyttää erilaisia ohjureita, kuten paikoitusmagneetteja.

3 SUUNNITELU

3.1 Suunnittelun lähtökohdat

Terityskoneen suunnittelu aloitettiin määrittämällä koneelle asetetut vaatimukset ja budjetti. Suunnittelun lähtökohtana oli säilyttää käytettävästä laitteistosta hyväksi todetut ominaisuudet, ja parantaa muut ominaisuudet halutunlaisiksi.

Suunnittelulle asetetut vaatimukset:

- Teräputken loveus pystyasennossa
- Samojen kulutusosien käyttö kuin aikaisemmassa laitteistossa
- Valmiiden teräsovitteiden käyttö
- Kestävät ja huoltovapaat lineaarikomponentit
- Loveuksen jaon ja leikkurin korkeuden säädön automatisointi
- Ergonominen käyttökorkeus
- Koneen rakennus olemassa olevien työkalujen ja taitojen puitteissa

Lineaarikomponenttien laskennalliseksi kestoiäksi määritettiin 25 vuotta keskimääräisellä käytöllä. Keskimääräiseksi käytöksi määritettiin 100 teritettyä terää kuukaudessa. Jos arvioidaan jokaisen terityksen vaativan koneen akseleilta yhden täyden liikkeen, muodostuu tästä 15 kilometriä kuljettua matkaa jakopöydän johteille, ja 24 kilometriä pystyakselille. Kuularuuvien mitoituksessa asetettiin pienimmäksi sallituksi varmuuskertoimeksi $N=5$.

Suunnittelurajojen asettamisen jälkeen koneen rakenne jaettiin neljään pääkomponenttiin; runko, Y-akseli, leikkuri, ja jakopöytä. Koneen rakenne muodostuu putki- ja leikeosista, jotka on suunniteltu sopimaan yhteen erinäisten sovitteiden ansiota. Näin syntyvä rakenne on tarkka, ja kokoonpano tapahtuu nopeasti hitsaamalla. Valmistusmenetelmä ei ole kustannustehokkain, mutta huomioiden olemassa olevat työkalut ja se, että koneita tehdään yksi kappale, on rakenne nopean kokoonpanonsa ansiosta järkevä. Materiaaliksi valikoitui 316 ruostumaton teräs, joten konetta ei tarvitse pintakäsittää.

3.2 Runko

Terityskoneen suunnittelu aloitettiin koneen rungon suunnittelemisella. Runko koostuu putki- ja leikeosista. Suunnittelussa huomioitiin ohuen putkirakenteen heikkoudet; putken keskikohtiin kiinnitettävät rakenteet suunniteltiin vääntymisen mahdollisuuden takia käyttämään hitsattavan rakenteen sijaan pultattavaa kiinnitystä hyödyntäen niittimuttereita. Rungon kokonaiskorkeudessa huomioitiin työskentelykorkeus työergonomian kannalta, ja se määritettiin samalle korkeudelle kuin olemassa olevat työpöydät. Koneen alle sijoitettiin lukittavat pyörät, jolloin sen siirtäminen olisi helppoa. Myös näille suunniteltiin omat kiinnikkeet levyosista.



Kuva 4. Koneen runko

Rungon yläosaan sijoitettiin jakopyödän lineaarijohteet. Johteiksi valittiin 20 millimetrin HSR- lineaarijohteet, jotka ovat alapuolelta kiinnitettävät. Näin voitiin jättää kiinnityslevyn reikien kierteittäminen, joka olisi ollut työlästä. Johteiden valinnassa niiden eduksi myös katsottiin, että metallipöly ei pääse kertymään

kiinnitysruuvien reikiin, ja koska johdeprofiilin johdepinnat sijaitsevat sen sivuilla, ei johteiden likaantuminen johda laakeriyksiköiden enneaikaiseen rikkoutumiseen. Johteiden valinnassa myös huomioitiin, että olemassa olevaan kuormaan nähden ne ovat hyvin ylimitoitettuja, mutta suurien johteiden tuoma jäykkyys mahdollisti niiden kiinnityslevyn ohentamisen, jolla säästettiin valmistuskustannuksissa enemmän kuin johteiden pienentämisessä.

Terityskoneen jakopöytä kiinnittyy rungon lineaarijohteisiin. Näin eri halkaisijan timanttiterien loveus tapahtuu terityskoneen leikkurin ollessa tämän akselin suuntaisesti paikallaan. Lineaarijohteet sijaitsevat jakopöydän molemmilla puolilla. Jotta johteet voidaan linjata tarkasti toistensa suuntaiseksi, tehtiin rungossa olevista kiinnitysrei'istä soikeat. Johteiden kestoikää laskettaessa käytettiin jakopöydän painon lisäksi 50 kilogramman painoa edustamassa painavamman pään timanttiterää.

Lineaarijohteiden valintaa tehdessä on huomioitava eri kaavat kuula ja rullajohteille. Koneeseen valittu HSR- lineaarijohde käyttää kuulia vierintäeliminä, lasketaan sen nimellinen kestoikä kaavalla 1. Määritteenä lineaarijohteen nimellinen kestoikä tarkoittaa johteella laakeriyksikön kulkemaa matkaa, jonka 90 % kontrolliryhmän lineaarijohteista kestää ilman johteen pinnan kuoriutumista tai hilseilyä. (THK LM Guide General Catalog 511E)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_c}\right)^3 \times 50$$

Kaava 1. Lineaarijohteen nimellinen kestoikä (THK LM Guide)

Jossa L_{10} = Kestoikä (km), C = Dynaaminen kantavuusluku (N), P_c = Kuormitus (N).

Kun kaavaan 1 sijoitetaan lineaarijohteen valmistajalta saadut tiedot sekä huomioidaan että kuormitus jakautuu kahdelle lineaarijohteelle, saadaan $L_{10} = 12701851,852$ km. Tästä voidaan todeta valitun lineaarijohteen olevan kestävä koneen todellisen käyttöiän ilman tarvetta sen vaihdolle.

Lineaarijohteen nimelliseen kestoikään vaikuttaa myös vallitsevat olosuhteet, jolloin johteelle voidaan laskea korjattu nimellinen kestoikä (Kaava 3.) käyttäen olosuhteet huomioivaa korjauskerrointa (Kaava 2.)

$$\alpha = \frac{F_h \times F_t \times F_c}{F_w}$$

Kaava 2. Lineaarijohteen korjatun nimelliskestoiän korjauskerroin (THK LM Guide 2022)

Jossa α = Korjauskerroin, F_h = Kovuuskerroin, F_t = Lämpötilakerroin, F_c = Kontaktikerroin, F_w = Kuormituskerroin.

Korjauskertoimen arvot valitaan valmistajan taulukoista, ja huomioivat johteen kovuuden, käyttölämpötilan, lähekkäin olevien johteiden määrän, sekä johteeseen välittyvät tärinät ja iskut. Koska koneessa on kaksi lineaarijohdetta lähekkäin, ja leikkauksesta saattaa välittyä teräviä mutta vaimeita iskuja johteisiin, saatiin korjauskertoimeksi $\alpha = 0,70435$.

$$L_{10m} = \left(\alpha \times \frac{C}{P_c} \right)^3 \times 50$$

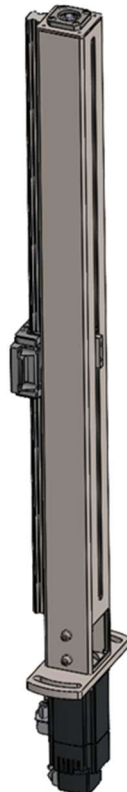
Kaava 3. Lineaarijohteen korjattu kestoikä (THK LM Guide)

Jossa L_{10m} = Korjattu kestoikä (km), C = Dynaaminen kantavuusluku (N), P_c = Kuormitus (N), α = Korjauskerroin.

Korjatun kestoiän kaavasta saadaan kaavassa 2 lasketulla korjauskertoimella lineaarijohteen korjatuksi kestoikäksi $L_{10m} = 4438462,959$ km. Heikon ja terävän tärinän sekä lähekkäin olevien lineaarijohteiden vaikutus kestoikään on verrattain suuri, vaikka kestoikä on edelleen koko koneen käyttöiän ylittävä.

3.3 Y-akseli

Terityskoneen Y-akseli säättää koneen leikkurin asemaa. Y-akseli muodostuu putkesta ja leikeosista, sen sisällä kulkevasta kuularuuvista ja -mutterista, sekä lineaarijohteesta, jota pitkin koneen leikkuri liikkuu. Y-akseliputken takasivuun leikatun uran kautta leikkuri kytkeytyy kuulamutteriin, jolloin leikkurin asento muuttuu servomootorin pyörittäessä kuularuuvia. Leikkurin lineaarijohde sijoitettiin rakenteen jäykistämiseksi Y-akseliputken toiselle puolelle. Vaikka leikkurin rakenteesta ja toimintaperiaatteesta johtuen johteeseen kohdistuu hyvin vähän ulkoisi voimia, valikoitui johteeksi HSR25- lineaarijohde, koska sellainen löytyi jo toimeksiantajan varastosta. Kuulamutterin ollessa suurikokoinen käytettyyn akseliputkeen nähden ja tilaa kiinnitysmuttereille ei ollut, jouduttiin johteen kiinnitysruuvit poraamaan ja kierteittämään suoraan akseliputkeen.



Kuva 5. Y-akseli

3.3.1 Y-suuntaisen liikkeen toteutus

Koska koneen pysty akseli päätettiin jo prosessin alkuvaiheilla toteuttaa verrattain suljetulla rakenteella, voitiin Y-suuntaisessa liikkeessä käyttää huoletta kuularuuvia. Näin voitiin varmistua, että kuularuuvi ei vaurioidu ennen aikaisesti liian tai pölyn vaikutuksesta. Liikkeen toteuttamiseksi suunniteltiin aluksi trapetsiruuvien käyttöä, mutta kuularuuvien pieni välys ja kuulamutterin suljettu rakenne todettiin eduksi työn jäljelle ja tulevaisuuden huoltovapaudelle. Kuularuuviksi valikoitui SFU1605 sen hyvän saatavuuden, edullisen hinnan, ja se oli sopiva koneen sille kohdistavalle kuormalle.

Pitkän käyttöön ja sulavan liikkeen takaamiseksi on kuularuuvia valittaessa varmennettava sen sopivuus sille kohdistuvalle kuormalle. Tämä voidaan tarkistaa laskemalla kuularuuvien suurin sallittu aksiaalikuorma (kaava 4.) ja vertaamalla sitä sille kohdistuvaan kuormaan.

$$Fa_{max} = \frac{C_0 a}{F_s}$$

Kaava 4. Kuularuuvien suurin sallittu aksiaalikuorma (THK Ball Screw General Catalog 514E)

Jossa Fa_{max} = Suurin sallittu aksiaalikuorma (kN), $C_0 a$ = Staattinen kantavuusluku (kN), F_s = Staattinen varmuuskerroin

Kaavassa 4 käytettävät tiedot saadaan valmistajan taulukoista. Koska koneen käyttö on osittain manuaalista, syntyy kuularuuville teräviä aloituksia ja pysäytyksiä, jolloin käytetään kaavassa staattisena varmuuskertoimena arvoa 2. Näin tulokseksi saadaan $Fa_{max} = 13,95$ kN. 3D mallin kokoonpanokuvasta saadaan leikkurikokoonpanon painoksi noin 6,4 kilogrammaa, kohdistuu 62,5 N kuormitus kuularuuville, ja saadaan kuormituksen varmuuskertoimeksi $N = 223,2$.

Koska jakopöydän lineaarijohteiden kestoikä huomioitiin mitoituksessa, oli se myös tärkeä huomioida Y-akselin kuularuuvien mitoituksessa. Kuularuuvien

laskennallinen kestoikä on riippuvainen siihen kohdistuvista värinäistä, joten laskennassa käytettiin korjattua kestoiän kaavaa (kaava 5.). Kuularuuvien laskennallisen kestoiän kaavalla on sama määritelmä kuin lineaarijohteen laskennallisen kestoiän kaavalla (kaavat 1. ja 2.), eli 90 % testiyksilöistä kesti ilman pinnan hilseilyä tai kulumista lasketun matkan kaavassa käytetyllä kuormituksella.

$$L_{10m} = \left(a * \frac{Ca}{Fa}\right)^3$$

Kaava 5. Kuularuuvien korjattu kestoikä (THK Ball Screw 514E)

Jossa L_{10m} = Korjattu kestoikä (kierrosta), a = Korjauskerroin, Ca = Dynaaminen kuormituskerroin (kN), Fa = Aksiaalinen kuormitus (kN)

Korjatuksi kuularuuvien kestoikäksi saadaan $L_{10m} = 2985984$ kierrosta. Kertomalla tällä kuularuuvien nousun, saamme kuljetuksi matkaksi 149299 metriä.

Huomioiden valmistajan huolto-ohjelman, voidaan todeta, että kuularuuvien kestoikä riittää koko laitteen käyttöikänsä ajaksi.

3.3.2 Y-akselin servomoottori

Hyvän ohjattavuuden ja tarkan paikoitustarkkuuden takia leikkurin korkeussäätöä varten valittiin Siemensin Simotics S1-FL6 servomoottori. Tämän servomoottorin 2500 askeleen asentoanturi ja se, että moottoria voidaan liikuttaa jopa yksi askel kerrallaan takaavat sen, että leikkuri voidaan asettaa juuri oikeaan paikkaan leikkaamista varten. Siemens ilmoittaa jarruttoman servomoottorin pitomomentiksi 1,27Nm (Siemens Operating Instructions 2014), ja kuularuuvien valmistajan tarjoamalla pitomomentin kaavalla (kaava 6.) voitiin laskea, että moottorin pitomomentti riittää pitämään leikkurin paikallaan itse leikkuuoperaation aikana. Näin voitiin varmistua, ettei erillistä pitojarrua tarvita leikkurin paikan säilyttämiseksi, joten Y-akselin rakenne voitiin pitää yksinkertaisena.

$$T_b = \frac{(F * P * \eta_2)}{2\pi}$$

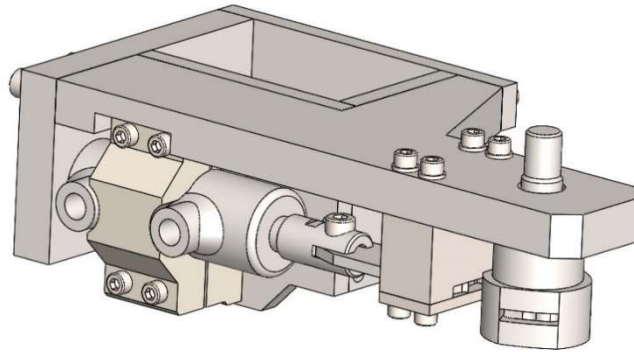
Kaava 6. Kuularuuvien pitomomentin kaava (THK Ball Screw 514E)

Jossa T_b = Vaadittava pitomomentti (Nm), F = Aksiaalinen kuorma (N), P = Kuularuuvien jako (M), η_2 = Kuularuuvien hyötysuhde

Kaavan 6 laskulla saadaan kuularuuvien pitomomentiksi $T_b = 0,413\text{Nm}$. Kun tiedämme servomoottorin pitomomentin, saadaan pidon varmuuskertoimeksi $N = 3$.

3.4 Leikkuri

Leikkurin suunnittelu aloitettiin sen pääkomponenttien asettelusta. Leikkurin pääkomponentit ovat hydraulisylinteri, leikkuuterä, leikkuuvaste ja leikkuuterän ohjuri. Rakenteen suunnittelussa haluttiin hyödyntää jo koneen muussa rakenteessa käytettyä levyrakennetta, valmiita komponentteja sekä koneistettuja osia. Toisin kuin runkorakenteessa, jonka suoruuksuus ja geometria ei lähtökohtaisesti vaadi suurta valmistustarkkuutta, päätettiin leikkuri toteuttaa pulttiliitoksilla koneistetuista leikeosista. Näin voitiin varmistua, ettei rakenne väännä hitsauksen seurauksena. Leikkurin hydraulisylinteriksi valittiin hyvän saatavuuden ja edullisen hinnan takia pyöreä lyhytiskuininen sylinteri, jonka männän halkaisija on 32 millimetriä. Sylinterin kiinnityksessä käytettiin edullista yläjyrsinkiinnikettä, joka koneistettiin kokoonpanoon sopivaksi. Kiinnike halkaistiin kahteen osaan ja erotettiin kahdeksi pääkomponentiksi, pohjaksi ja puristuspannaksi. Kiinnikkeen pohjasta jyrsittiin materiaalia sylinterin oikean korkeuslinjan saavuttamiseksi, sekä puristinpannasta poistettiin materiaalia, jolloin se sopii sylinterin hydrauliohjainpöytäjen väliin. Kiinnikekokoonpano kiinnittyy pulteilla leikkurin rungossa oleviin soikeisiin reikiin, jolloin sen kulmaa ja korkeutta voidaan hienosäätää. Sylinterin pohja tukeutuu leikkurin rungon takaosaan, jolloin sylinterin suuntaiset voimat välitetään suoraan leikkurin runkoon.



Kuva 6. Leikkuri

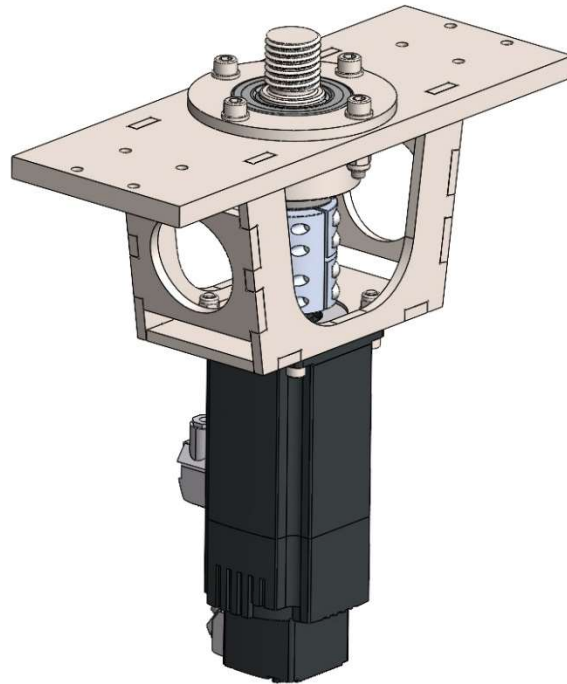
Leikkuri suunniteltiin käyttämään helposti saatavia ja hyväksi todettuja Diatipin leikkuuteriä ja terävasteita. Valmistajan tuotannosta löytyy valmiiksi lähes kaikille teräpaloille ja terähalkaisijolle soveltuvat terät ja vasteet, sekä toimitusketjut Suomeen.

3.5 Hydrauliiikka

Leikkurin hydraulisylinterin ollessa ainoa hydrauliiikkaa tarvitseva komponentti, on koneen hydrauliiikka verrattain hyvin yksinkertainen. Käytännössä koneeseen valittiin pienin voimayksikkö, jonka paineentuotto oli sopiva, ja joka oli saatavilla olemassa olevilta tavarantoimittajilta. Isera Oy:n toimittamassa 2,2 kilowatin koneikossa on 6 litran hydrauliojlsäiliö ja 220 baarin maksimipaine. Koneikko on kooltaan kompakti, ja se pystyttiin sijoittamaan koneen rungon sisälle. Koko hydraulijärjestelmässä on vain yksi kolmeasentoinen ja neljäporttinen venttiili, jota ohjaa koneen automaatiojärjestelmä

3.6 Jakopöytä

Jakopöytä kiinnittyy koneen rungon lineaarijohteisiin ja pääsee näin liikkumaan X suunnassa. Suunnittelussa otettiin huomioon mahdollinen päivitys, jolla jakopöytää voidaan koneellisesti liikuttaa, jos koneen automatisoinnin tasoa halutaan tulevaisuudessa nostaa. Servomoottori kiinnittyy jakopöydän pohjaan sen omalla pulttiliitoksella, ja servon akseli kiinnittyy jäykällä akselikytkimellä jakopöydän akseliin, joka on laakeroitu servon käyttöiän kasvattamiseksi.



Kuva 7. Jakopöytä

Jakopöytään kohdistuvat voimat ovat normaalioperoinnissa pelkästään terän painosta syntyvä aksiaalinen kuormitus. Leikkurin leikkauksesta syntyvä sivuttaissuuntainen kuorma tukeutuu leikkuuterän vastetta vastaan, ja koska jakopöydän sivuttaisliike on toteutettu matalan esikiristyksen lineaariyksiköillä, liukuu leikattava poranteräputki aina jouhevasti terän vastetta vasten.

Laakerointia suunnitellessa haluttiin minimoida servoon kohdistuvat voimat. Koska poranterä kiinnittyy jakopöydän akselin suuntaisesti ja itse leikkurin terävaste tukee poranterää leikkauksen aikana, mahdolliset sivuttaisvoimat syntyvät ainoastaan poranterää kiinnittäessä, mahdollisen käyttäjävirheen seurauksena, tai leikkurin linjausvirheestä. Laakeroinniksi valittiin kaksi kartiorullalaakeria, jotka asettuvat vastakkain jakopöydän laakeripesään.

Koska jakopöydän laakeroinnissa valitut laakerit ovat verrattain suuria niihin kohdistuvalle kuormalle, oli kartiorullalaakerien esikiristys suunniteltava säädettäväksi pienimmän sallitun kuorman saavuttamiseksi. Esikiristysten

tärkeys kasvaa edelleen koneen toimintaperiaatteen takia, koska laakereihin kohdistuva pyörytys on hyvin syklistä ja verrattain nopeaa.

Esikiristys toteutettiin akselimutterilla, jonka hieno kierteennousu mahdollistaa kiristämisen ja suuren kiristysvoiman saavuttamisen yksinkertaisesti haka-avaimella. SKF ilmoittaa pienimmäksi sallituksi kuormaksi 2 prosenttia laakerin dynaamisesta kantavuusluvusta (SKF Rolling bearings 2018), jolloin kartiorullalaakerin minimikuormaksi tulee 762 N. Koska laakereita on kaksi, on tämä kuorma kaksinkertainen.

Jakopöydän pyörittämisestä vastaa jarrullinen Siemens Simotics S1-FL6 servomoottori. Moottorin asentoanturi jakaa pyörähdyskehän 2500 askeleeseen, jolloin leikattavat teräpalat voidaan sijoittaa tarkasti leikattavan poranterän kehälle. Timanttiporanterä kiinnitetään jakopöydän akseliin kierreliitoksella, ja terä kiristetään paikalleen servomoottorin jarrua vasten.

3.7 Automaatio

Koneen automaatio suunniteltiin ulkoistettiin olemassa olevien kontaktien kautta Siemensille. Automaatiojärjestelmä perustuu Simatic S7-1200 ohjainyksikköön ja Simatic HMI kosketusnäyttöpaneeliin. Käyttöliittymän suunnittelemiseksi laitteesta tehtiin toimintaseloste, johon käyttöliittymä perustuu. Käyttöliittymän ohjaukseen suunniteltiin erilaisia näppäimistö tai kiertokytkin vaihtoehtoja, kunnes Siemens tarjosi kosketusnäyttöpaneelia käyttöpaneeliksi.

Koneen operoiminen on jaettu automaation käyttöliittymässä erilaisiin ohjelmiin. Ohjelmat ovat:

- Leikkurin siirto-ohjelma
- Terän pyörytysohjelma
- Huolto ohjelma
- Leikkausohjelma

Leikkurin siirto-ohjelmassa voidaan siirtää leikkurin paikkaa koneen pystyakselilla. Siirto tapahtuu kosketusnäytössä olevilla painikkeilla

portaattomasti. Ohjelmassa on myös painikkeet leikkurin siirtämiseen askeleittain, joka voidaan asettaa erikseen haluttuun tarkkuuteen. Leikkurin siirtoa tarvitaan esimerkiksi terän asettamiseen paikoilleen, jos leikkuri on asentajan tiellä. Terän pyöritysohjelmalla voidaan pyörittää terää portaattomasti kosketusnäytöllä olevista painikkeista asetetulla nopeudella. Ohjelmaa voidaan hyödyntää esimerkiksi terän suoruuden tarkastamisessa, koska pyöritysliike on terän akselin suuntainen ja vakionopeuksinen.

Huolto-ohjelmassa on huoltoa ja kunnossapitoa ajatellen kerättyjä toimintoja. Kosketusnäytön käyttöliittymässä on erilliset painikkeet jakoservon jarrun kytkennälle ja avaukselle, hydrauliiikan testauspainike, joka kytkee hydraulikoneikon päälle asetetuksi ajaksi, sekä manuaalinen leikkauspainike. Manuaalisesta leikkauspainikkeesta leikkuri tekee yhden leikkausliikkeen, jolla voidaan varmistaa terän ja terävasteen linjaus esimerkiksi niitä koskevia huoltotöitä tehdessä.

Leikkausohjelma on koneen perusohjelma. Leikkausohjelmassa on kaikki toiminnot timanttioran terän leikkaukseen. Ohjelmassa on esivalmisteltuna leikkuuohjelmat jokaiselle vakiokoolle, ja mahdollista valita manuaalisesti segmenttimäärä. Ohjelmassa asetetaan terän halkaisija, jolloin ohjelma osaa automaattisesti hakea leikkuukirjastosta vaadittavan leikkausmäärän terän katkaisemiselle. Myös teräloven syvyys putkessa on asetettavissa painikkeista.

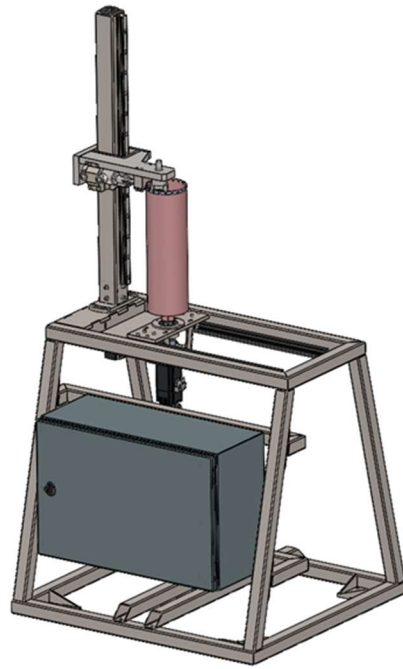
Leikkausohjelma aloitetaan erillisestä aloituspainikkeesta. Leikkuri leikkaa ensimmäisen teräloven timanttiteräputkeen, jonka jälkeen jakopöydän servomoottori pyörittää terän seuraavan teräloven kohdalle. Toiminto jatkuu, kunnes kaikki terälovet ovat leikattuna. Leikkauksen jälkeen leikkuri nousee asetetun teräloven syvyyden verran, ja sen jälkeen leikkuu suoritetaan uudessa tasossa halkaisijan mukaan asetetun jaon mukaan. Lopputuloksena terän kruunu on leikattuna pois, ja uudet terälovet ovat valmiita teräpalojen juottamista varten. Kun kruunun leikkaus on suoritettu, koneen leikkuri nousee noin kymmenen millimetriä ylöspäin, jakopöydän servomoottorin jarru kytkeytyy päälle, ja leikkuuohjelma palaa takaisin alkuun. Asentaja voi nyt irrottaa timanttiteräputken koneesta, ja asentaa uuden sen tilalle.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tilaajayritys oli silloinen työnantajani, joten yhteistyö työn edetessä toimi hyvin. Suunnittelussa kesti hyvin kauan, ja sitä tehtiin iteratiivisesti. Koneesta suunniteltiin kokonaiskuva, jonka jälkeen valmistuksen edetessä suunnitelmia muutettiin ja päivitettiin valmistuksesta opittujen asioiden kautta. Esimerkiksi itse leikkurin rakennetta muutettiin moneen kertaan, kunnes päädyttiin malliin ja valmistusmenetelmään, jonka tiedettiin onnistuvan hyvin.

Työn valmistuminen viivästyi erinäisistä syistä huomattavan paljon. Itse suunnittelu- ja valmistusprosessi on edennyt tilaajayrityksen tahdissa, ja koneen valmistus on kokenut pidempiäkin pysähdyksiä. Lopputuloksena oli kuitenkin toimiva laitteisto, joka kehittyy käytön mukana. Työn tavoitteena olikin suunnitella tilaajayrityksen tarpeen sopiva kone, eikä valmistaa niitä enempää kuin yksi kappale.

Vaikka mekaanisesti suunniteltu kone olikin rakenteeltaan yksinkertainen, aiheutti sen toimintaperiaate ja valmistusmahdollisuudet yllättäviä haasteita suunnittelulle. Lähtökohtainen, alustava suunnitelma olikin huomattavasti lopullista yksinkertaisempi. Hyvä kommunikointiyhteys tilaajayrityksen kanssa oli tässä avainasemassa, koska ajatuksia ja huolia saatettiin suunnittelukokouksissa käydä yhdessä läpi ja kehittää suunnitelmaa entisestään.



Kuva 8. Suunniteltu terityskone

LÄHTEET

Roshchupkin Stanislav, Bratan Sergey, Novosyolov Yuri. Modeling of cutting forces in diamond drilling. 2015, 59. Donetsk: Donetsk National Technical University.

Paolo C. Priarone, Matteo Robinglio, Ruslan Melentiev, Luca Settineri. Diamond drilling of Carbon Fiber Reinforced Polymers: Influence of tool grit size and process parameters on workpiece delamination, P.2017, 183. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117304845>

Ratu 0406 2012. Piikkaus, paikkaus, timanttiporaus ja -sahaus. Menekit ja menetelmät. Rakennustieto OY. Viitattu 13.12.2022.

Husqvarna 2022. Elite-drill D10 TW. Viitattu 12.13.2022. Kuva sähköisesti saatavilla osoitteesta <https://www.husqvarnaconstruction.com/fi/timanttityokalut/timanttiporanterat/elite-drill-d10tw/#>

Hilti 2022. SPX-L masonry core bit (BI). Viitattu 12.13.2022. Kuva sähköisesti saatavilla osoitteesta https://www.hilti.fi/medias/sys_master/images/h7c/hbd/9605689638942.jpg

Diatip brochure 2014. Viitattu 13.10.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <https://www.diatip.com/wp-content/uploads/2014/06/DT-0101-Eng-net.pdf>

THK LM Guide General Catalog 511E. Viitattu 11.8.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteesta https://tech.thk.com/en/products/pdf_download.php?file=511E_01_LMGuide.pdf

THK Ball Screw General Catalog 514E. Viitattu 14.8.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteesta https://tech.thk.com/en/products/pdf_download.php?file=E_15_BallScrew.pdf

Siemens Simatics V90, Simotics S1-FL6 Operating Instructions. Julkaistu 04/2014. Viitattu 14.8.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteesta https://cache.industry.siemens.com/dl/files/218/93005218/att_74528/v1/SINAMICS_V90_OPI_en-US_en-US.pdf

SKF Rolling Bearings 2018. Viitattu 8.9.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteesta https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf