



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

MATIAS NISKANEN

Jatkuvatoimisen leikkurin suunnittelu

KONETEKNIKANN KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Niskanen, Matias	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Kesäkuu 2020
	Sivumäärä 39	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Jatkuvatoimisen leikkurin suunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella jatkuvatoiminen leikkuri Upcast Oy:lle, jota käytettäisiin jatkuvalettujen kupari- ja kupariseoslankojen katkomiseen. Tavoitteena oli parantaa ergonomiaa työpaikalla ja sulavoittaa valu-uunien täyttöprosessia. Työssä mitoitettiin tarvittavat ja tärkeimmät lähtöarvot koneen valmistukselle.</p> <p>Koneen suunnittelu eteni perehtymällä jo olemassa oleviin kokonaisuuksiin, mekaniikkiin ratkaisuihin ja pitämällä palavereja henkilökunnan kanssa. Kone kehittyi vähitellen palaverien perusteella, joiden jälkeen koneen rakennetta ja ominaisuuksia muutettiin palautteen ja haluttujen ominaisuuksien mukaan.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laskettua tarvittavat lähtöarvot koneen mitoitukselle. Koneen lopullinen mitoitus ja osien valinta jää tilaajalle Koneelle mallinnettiin karkea malli Solidworksilla, jota tilaaja pystyy muokkaamaan valitsemiensä osien perusteella.</p>		
<u>Asiasanat</u> Mekaniikka, dynamiikka, konesuunnittelu		

Author(s) Matias Niskanen	Type of Publication Bachelor's thesis	Date June 2020
	Number of pages 39	Language of publication: Finnish
Title of publication Design for continuous cutting tool		
Degree program Mechanical engineering		
<p>The primary goal for this thesis was to design a continuous cutting tool for Upcast Oy, that would be used to cut copper- and copper alloy rods. The goal was to enhance ergonomics at work and make the refilling of furnaces more fluent. The most important and necessary values were calculated for the machine so that it could be manufactured.</p> <p>The design of the machine developed through familiarizing existing designs, mechanical solutions and having meetings with the employer. The design developed based on the meetings and afterwards the structure and properties were adjusted based on the feedback and needs.</p> <p>As a result, the most important values were defined for the manufacturing of the machine. The final sizing, design and selection of parts were left for the employer. The machine was roughly designed on Solidworks, so that the employer could adjust the machines structure accordingly based on the parts picked.</p>		
<u>Key words</u> Mechanics, dynamics, machine designing		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA	7
2.1	UPCAST valulinjojen historia.....	7
2.2	UPCAST linjat nykyään	7
2.3	Pilot-halli	8
2.4	Valutuotteet	8
3	LÄHTÖTIEDOT JA TAVOITTEET	10
3.1	Tarve.....	10
3.2	Nykyinen työkalu	10
3.3	Tavoite, sekä työn rajausta	10
4	SUUNNITTELUN TEORIAA.....	12
4.1	Mekaaniseen ratkaisuun perehtyminen	12
4.2	Kunnossapidon teoriaa	14
4.3	Sähkömoottorin kunnossapito	15
4.4	Laakereiden kunnossapito	16
4.5	Värähtelymittaukset.....	17
4.6	Lämpötilamittaukset.....	19
4.7	Tarkastukset ilman laitteita.....	20
5	SUUNNITTELU	21
5.1	Koneen sijoittaminen.....	21
5.2	Koneen toimintaperiaate.....	21
5.3	Koneen alustava mitoitus	22
5.3.1	Leikattavan materiaalin ominaisuudet	22
5.3.2	Vauhtipyörä.....	24
5.3.3	Moottori	26
5.3.4	Kampi, teräpidin ja terä.....	28
5.3.5	Kytkin.....	30
5.3.6	Jarru.....	33
5.3.7	Laakerointi	34
5.3.8	Koneen lopullinen mitoitus	34
6	KUNNOSSAPITO	36
6.1	Moottori.....	36
6.2	Laakerit.....	37
6.3	Kustannustehokkuus.....	38
7	YHTEENVETO	39

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella automaattileikkuri UPCAST Oy:n koevalutiloihin. Leikkuria tullaan käyttämään pääasiassa kupari- sekä kupariseoslankojen leikkaamiseen. Leikkuri suunnitellaan langalle, joka on halkaisijaltaan 8–25 mm:ä, mutta työ tehdään niin, että leikkuria pystyy vielä kehittämään sopivaksi putkien, sekä mahdollisesti muiden valutuotteiden katkomiseen. Leikkuriin haluttavia ominaisuuksia ovat terien välysten säätö, leikkuumitan säätö, sekä leikkuunopeuden säätö.

Valutuotteiden leikkaus tehdään tällä hetkellä käsin kannateltavalla hydraulileikkurilla. Nykyisen leikkurin paino, sekä työskentelykorkeus aiheuttavat epäergonomisen työasennon ja työhön kuluu pisimmillään useita tunteja. Opinnäytetyöllä pyritään nopeuttamaan uunien täyttöprosessia, vapauttamaan työntekijät muihin työtehtäviin, sekä parantamaan ergonomiaa työpaikalla.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Työn toimeksiantaja on UPCAST Oy. UPCAST Oy suunnittelee ja toimittaa kupari-valukoneita ympäri maailman, sekä kehittää valumenetelmiä kuparille ja kupariseoksille. UPCAST Oy:n toimisto, sekä koevaluhalli sijaitsevat Porissa metallinkylässä. (Upcast Oy:n www-sivut, 2020.)

UPCAST Oy perustettiin vuonna 2006 ja on melko uusi yritys, vaikkakin yrityksen juuret ulottuvat 60-luvun lopulle. UPCAST Oy oli vuoteen 2006 asti osa Outokumpua, mutta vuonna 2006 Outokumpu jätti kupariteollisuuden, jonka seurauksena UPCAST Oy:stä tuli itsenäinen yritys. UPCAST Oy:n linjoja löytyy tänä päivänä yli 200:sta kohteesta ympäri maailmaa ja on maailman johtava toimittaja omalla alallaan. (Upcast Oy:n www-sivut, 2020.)

2.1 UPCAST valulinjojen historia

Outokumpu kehitti 60-luvun lopulla menetelmän, jossa valu ohjattaisiin ylöspäin ja vuonna 1971 ensimmäinen ylöspäin valava valulinja oli toiminnassa Porissa Outokummun tiloissa. Vuonna 1972 ensimmäinen UPCAST valulinja oli toimitettu ensimmäiselle asiakkaalle. (Upcast Oy:n www-sivut, 2020.)

2.2 UPCAST linjat nykyään

Valulinjaan kuuluu normaalisti valukone, uuni, syöttölaite, kelaaja ja hallintalaitteet. Jokainen valulinja räätälöidään sopimaan asiakkaan tarpeisiin, eli lähtökohtaisesti sen perusteella, mitä halutaan valaa. Valulinjan ydin on uuni ja valukone, jotka valitaan tuotantotarpeen mukaan. Uuneissa voidaan käyttää raaka-aineena kierrätettävää kupariromua tai kuparikatodia. Erona näillä kahdella on puhtaus. Kupariromu, jonka ponnuksesta seuraa suurempi sulan happipitoisuuden nousu, joudutaan pitämään uunissa pidempään kuin katodi, jotta happi ehtii pelkistymään sulasta pois.

Kelaaja ja syöttölaite suunnitellaan tapauskohtaisesti asiakkaan tarpeiden mukaisiksi. Kelaajat suunnitellaan tuotantomäärän mukaan ja mitä useampaa säiettä halutaan valaa

samanaikaisesti, sitä enemmän myös tarvitaan kelaajia. Syöttölaite suunnitellaan sen mukaan, halutaanko valamisessa käyttää romukuparia, vai kuparikatodia.

2.3 Pilot-halli

Työ suoritetaan Porissa metallinkylässä sijaitsevalla Pilot-hallilla. Hallia käytetään valulinjojen tuotekehitykseen, sekä koevaluihin. Testejä suoritetaan hallissa olevilla kahdella valulinjalla. Linja 1 on varustettu kanavainduktoriuunilla ja linja 2 induktioupokasuunilla.

Upokasuunia käytetään seosten testaamiseen, valumenetelmien testaamiseen ja kehittämiseen. Upokasuunilla pystyy valamään yhtä säiettä kerrallaan, joka tarkoittaa, että uuniin saa kiinni yhden jäädyttimen ja sillä voi valaa yhtä tuotetta kerrallaan. Kanavainduktoriuunilla kehitetään DHP ja OF-kuparilla erilaisia tuotteita, sekä valumenetelmiä. Valukoneeseen saa kiinni kolme jäädytintä, joka mahdollistaa kolmen säikeen valamisen samanaikaisesti.

Valulinjoja kehitetään ja niihin tehdään lisäyksiä vähän väliä. Ennen uusien lisäysten markkinointia, niitä testataan ja kehitetään Pilot-hallilla. Testattavia tuotteita on esimerkiksi uudet valuohjelmat, valukoneen osat, sekä uudet valumenetelmät. Uusia kehitysideoita tulee koko ajan tarpeiden mukaan ja valulinjoja pyritään parantamaan kaiken aikaa.

2.4 Valutuotteet

UPCAST suorittaa jatkuvasti uusia koevaluja Pilot-koevaluhallillaan Porissa. Tuotekehitys etenee jatkuvasti hallilla ja erilaisia seoksia valetaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Tuotekehitys tietyille tuotteille voi jatkua monia vuosia.

Kanavainduktoriuunia käytetään DHP- ja OF- kuparin valamiseen. Raaka-aineena käytetään katodilevyjä, sekä kierrätettäviä DHP ja OF-kupareita. Yleisimpiä valettavia tuotteita on lanka ja putki. Lankaa valetaan 8 mm ja 25 mm väliltä ja yleisin valettava

tuote yleisesti on 8 mm lanka. Valettavien putkien ulkohalkaisijat vaihtelevat yleisesti 30 mm ja 52 mm välillä ja seinämäpaksuudet ovat yleisesti 2 mm ja 3 mm välillä.

Upokasuunia käytetään erilaisten kupariseosten valamiseen. Raaka-aine on kierrätettävää kuparia, sekä kupariseoksia, joita on esimerkiksi valettu aikaisemmin sulatusuunilla tai seoksia, joita on valettu upokasuunilla. Ennen uutta valua sula tarkistetaan ja tarpeen mukaan täsmätään. Täsmäyksellä tarkoitetaan sulan seosaineiden seostamista haluttuihin arvoihin. Seosaineina voidaan käyttää esimerkiksi magnesiumia, tinaa, fosforia, rautaa ja sinkkiä. Eri seosaineilla ja määrillä saadaan muutettua valettavan tuotteen ominaisuuksia tarpeiden mukaan. Valulinjaa käytetään pääasiassa lankatuotteiden valamiseen. Kupariseoksista kestäväintä on kuparimagnesiumseos. Hallilla tehdyissä vetokokeissa käsittelemättömälle kuparimagnesiumseokselle on saatu vetomurtolujuudeksi noin 220 MPa. Käsiteltynä seos voi kestää tuplasti enemmän vetoa. Tätä arvoa tullaan käyttämään myöhemmin laskuissa, koneen mitoituksessa.

3 LÄHTÖTIEDOT JA TAVOITTEET

3.1 Tarve

Ennen valun aloittamista on suoritettava valua valmistelevat työtehtävät, joista yksi on tätä työtä koskeva, takaisin syötettävän materiaalin katkominen. UPCAST kierrättää tuottamaansa kuparia koevaluissaan ja pyrkii käyttämään samaa materiaalia useisiin valuihin.

Valun alettua, tuote kelataan kiepiksi kelaajalle, josta se lähtee toimitettavaksi, käsiteltäväksi, tai syötettäväksi takaisin uuniin. Mikäli tuote päätyy takaisin uuniin, se yleisesti katkotaan pienemmiksi, sopivan mittaisiksi paloiksi. Tällä hetkellä takaisin syötettävä kieppi pätkitään käsin kannateltavalla hydraulitoimisella leikkurilla ja kiepin koosta riippuen työtehtävään voi kulua useita työtunteja.

3.2 Nykyinen työkalu

Leikkuri, jota tällä hetkellä käytetään työtehtävään, on Holmatron valmistama, käsin kannateltava hydraulitoiminen leikkuri. Leikkurin malli on Holmatro CU4020 C GP. Kyseinen leikkuri on tarkoitettu pelastustehtäviin, esimerkiksi kolaritilanteissa auton oven auki leikkaamiseen. Leikkurin rungosta selviää, että kyseisen leikkurin leikkausvoima on 394 kN/ 40,2 t ja leikkuri pystyy leikkaamaan 26 mm vahvan, pyöreän teräspalkin poikki. Maksimi toimintapaine leikkurilla on 78MPa, jonka saavutettua terät lakkaavat sulkeutumasta. Näitä arvoja tullaan käyttämään apuna työssä, sillä tiedetään, että kyseinen työkalu pystyy leikkaamaan kaikkea, mitä hallilla tuotetaan.

3.3 Tavoite, sekä työn rajaus

Työn tavoitteena on suunnitella automaattileikkuri UPCAST Oy:n Pilot-hallille, jolla saataisiin parannettua ergonomiaa, sekä saataisiin suunnattua työtehtävään käytettävä aika muihin tehtäviin. Koneeseen halutaan terille säädettävä vällys, säädettävä leikkuunopeus, sekä säädettävä leikkuuväli. Koneen täytyy pystyä leikkaamaan vähintään 25 mm vahvaa kuparimagnesiumlankaa, jota ei ole jatkokäsitelty. Kone tullaan kuitenkin

mitoittamaan reiluksi, jotta tarpeen tullen sitä voi myös käyttää vahvempien materiaalien leikkaamiseen.

Osien valitseminen ja lopullinen mitoitus jää tilaajalle, mutta koneelle mallinnetaan karkea malli rungosta, sekä osista. Tavoitteena on, että tilaaja pystyy laskujen, sekä mallinnettujen osien pohjalta päättämään halutut komponentit, sekä viimeistelemään koneen rakenteen halutun malliseksi..

4 SUUNNITTELUN TEORIAA

4.1 Mekaaniseen ratkaisuun perehtyminen

Alustava suunnittelu aloitetaan valitsemalla työhön soveltuva mekaaninen ratkaisu. Koneeseen soveltuva ratkaisu voisi olla on mm. polttomoottoreissa käytettävä kampiakseli, jolla saadaan muutettua pyörimisliike lineaariliikkeeksi. Tällaista ratkaisua käytetään yleisesti myös epäkeskoprasseissa, jotka joutuvat välittämään suuria voimia työstettävään kappaleeseen. Kampiakseli on hyvin yleinen ratkaisu, kun pyörimisliikettä halutaan muuttaa lineaariseksi liikkeeksi. Kampiakseli on akseli, joka kiertää paikoittain epäkeskisesti oikeaa pyörimisakselia. Epäkeskisesti pyörivää kohtaa sanotaan kammeksi. Kampeen on yleisesti kiinnitetty kiertokanki niin, että se on kiinnitetynä koko akselin ympäri, joka mahdollistaa kiertokangen ylösalaisen liikkeen kammien pyöriessä. Kiertokangen päässä on sovelluksen mukaan työkalu, jota tarvitaan suorittamaan jokin tehtävä ylösalaisessa liikkeessä. Kampiakseli olisi sopiva ratkaisu tämän tyyppiseen koneeseen, mutta se vaatisi pieniä muutoksia.

Kampiakselin toisessa päässä on yleisesti vauhtipyörä, jolla pyritään tasoittamaan pyörimisliikettä, sekä vähentämään värähtelyä. Vauhtipyörän tehtävänä on myös välittää energiaa suuremmissa määrissä, kuin alkuperäisen energialähteen, tässä tapauksessa sähkömoottorin. Vauhtipyörä on suurimmaksi osaksi riippuvainen sen pyörimisnopeudesta. Vauhtipyörän varastoima kineettinen energia on riippuvainen sen nopeuden neliöstä ja vauhtipyörän inertiaasta, joka on taas riippuvainen vauhtipyörän muodosta, massasta ja halkaisijasta. Pyörivän kappaleen inertialle saadaan kerroin sen muodosta ja pyörimisakselista massakeskipisteeseen nähden. Kiekon mallisella sylinterillä, joka kiertää massakeskipisteensä ympäri kerroin on 0,5, mutta jos massaa saadaan siirrettyä niin, että se pääsääntöisesti sijaitsee vauhtipyörän kehällä, saadaan kerrointa nostettua. Tässä sovelluksessa vauhtipyörää käytettäisiin energian keräämiseen, jotta moottori voitaisiin mitoittaa pienemmäksi ja kustannuksia saataisiin samalla pienennettyä.

Koneen kustannuksissa saataisiin säästettyä jättämällä kiertokanki kokonaan pois kokoonpanosta. Kiertokanki itsessään maksaisi paljon valmistaa, sillä se tarvitsisi val-

mistaa erikoismateriaaleista, kestääkseen toistuvia iskuja. Tämän lisäksi kiertokangelle tarvitsisi hankkia tai valmistaa ratkaisu, jolla kiertokanki saataisiin pysymään radallaan. Tällainen ratkaisu voisi olla esimerkiksi lineaarijohde, mutta tämän tyyppinen ratkaisu, koneeseen, jossa sen täytyisi kestää toistuvia iskuja olisi kallis. Myös johteen huolto ja ylläpito toisi lisää kustannuksia, sekä työtä. Tämän sijaan terä voitaisiin liittää suoraan kampiakseliin, jolloin leikkaus pysyisi giljotiinimaisena pienemmillä kustannuksilla. Etuna tällä ratkaisulla on myös sen pyörivä liike, täysin suoraviivaiseen liikkeeseen verrattuna. Kun leikkausliike on kaareva lankaa syötettäessä koneeseen, saadaan vähennettyä riskiä langan jumittumiselle. Jos liike olisi lineaarista ja lankaa syötettäisiin koko ajan leikkuriin, on riskinä langan painautuminen terää päin, joka voisi johtaa pahimmassa tapauksessa jumiutumiseen. Leikkausliikkeen ollessa kaareva, se myötäilee langan syöttösuuntaa ja vähentää riskiä jumiutumiseen. Kampiakseli jätettäisiin tarpeeksi korkealle, että lanka pääsisi liikkumaan vapaasti sen ali ja leikkausradasta tehtäisiin tarpeeksi suuri niin, että terä pääsisi leikkauksen jälkeen langan alle.

Vauhtipyörän ja kammien välille voidaan asettaa välitykset, jolloin moottorin teho voisi olla pienempi, kuin jos moottori asennettaisiin samalle akselille vauhtipyörän kanssa. Leikkauksessa ei käytettäisi niinkään vääntöä, vaan vauhtipyörän keräämää nopeutta ja massaa leikkauksen tekemiseksi. On olemassa eri valmistajia, jotka rakentavat teollisuusvaihteistoja koneisiin, mutta tällainen ratkaisu olisi kallis, sekä yliampuva tämän kokoiseen ratkaisuun. Vaihteiston sijaan esimerkiksi yleiset hammashihnapyörät sopisivat hyvin ratkaisuun. Käyttämällä hammashihnaa, pystyttäisiin hallitsemaan helposti vauhtipyörän nopeutta suhteessa aikaan, joka on yksi ratkaisevista asioista koneen toiminnassa. Tämän lisäksi hihnapyörien vaihto on edullista, sekä huoltovapaampaa, kuin teollisuusvaihteistojen. Hihnalla saadaan vähennettyä värähtelyä, sekä iskuja, joita mahdollisesti pääsisi moottorille ja näin saataisiin myös parannettua moottorin toimintaikää.

Jotta leikkauksia pystyttäisiin hallitsemaan, koneeseen tarvittaisiin kytkin. Koneissa, joissa on kaksi tai useampi pyörivää akselia, jotka halutaan pyörimään eri aikoihin, käytetään yleisesti kitkalla toimivaa kytkintä, hammaskytkintä tai jonkinlaista haittaa. Kytkimen valinta riippuu halutusta liikkeen välityksestä. Kitkalla toimivat kytkimet

soveltuvat tilanteeseen, kun kiihdytyksen ei tarvitse olla nopea. Tämän tyyppiset kytkimet ovat käytössä esimerkiksi suurimmassa osassa henkilöautoista, eikä sovellu tähän kokoonpanoon, sillä vauhtipyörälle halutaan pyörimisnopeutta, joka välitetään mahdollisimman nopeasti toiselle akselille. Haitalla toimiva kytkin, tai hammaskytkin soveltuvat koneeseen, sillä niillä pystytään välittämään pyörimisnopeus lähes viiveettömästi seuraavalle akselille. Haittana on, että kiihdytys johtuu lähinnä osien elastiisuudesta, jolloin akselille kohdistuu hetkellisesti suuri vääntö. Toinen haittapuoli on, että koneesta tarvitsisi valmistaa prototyyppi, että kyseinen kiihtyvyyys voitaisiin laskea.

Langan syöttö voidaan toteuttaa jo olemassa olevalla valulinjan kelaajalla. Kelaajan tehtävä valulinjassa on kiepittää valettu materiaali siistiksi kiepiksi. Kelaajan nopeus vaihtelee valunopeuden ja kelaajalle asetettujen arvojen mukaan. Tässä kokoonpanossa kelaajaa voitaisiin käyttää myös langan syöttämiseen. Kelaajaa voidaan myös pyörittää manuaalisesti, jolloin jo valettua kieppiä voitaisiin syöttää uudestaan kelaajan läpi, mutta ilman kelaajan taittorullaa. Näin valettu materiaali suoristuisi ja sitä pystyttäisiin syöttämään leikkurille.

4.2 Kunnossapidon teoriaa

Oikein toteutetulla kunnossapidolla pystytään pidentämään koneiden toimintaikää huomattavasti. Näin välttyään myös äkillisiltä ja arvaamattomilta vahingoilta, joita voi koitua ilman suunnittelua, sekä perehtymistä. Kunnossapidon voi jakaa kolmeen eri kategoriaan, joita on ennaltaehkäisevä-, korjaava- ja ennakoiva kunnossapito. (Caverton www-sivut, 2019)

Tarve kunnossapidolle on lähtöisin koneen komponenteista. Kun jokin koneen osista alkaa toimimaan heikosti, tai lakkaa toimimasta kokonaan, voi sillä olla seuraamuksia koneen toiminnan kannalta, koko tehtaan kannalta, työturvallisuus voi heikentyä, tai valmistettavan tuotteen laatu voi kärsiä. Tässä työssä näistä olennaisimpia ovat koneen toiminta ja työturvallisuus. (Kelly 2006, 60-61.)

Ennaltaehkäisevällä kunnossapidolla yritetään estää koneen vaurioita jo ennen oireiden esiintymistä. Tällaista kunnossapitoa on esimerkiksi laakereiden voitelu tai kunnonvalvonta. Kunnonvalvontaa voidaan suorittaa komponentin mukaan eri tavoin, esimerkiksi laakereille värähtelymittaukset tai lämpötilamittaukset, jotka voivat paljastaa laakerissa aluillaan olevan vaurion tai silmämääräisesti seuraamalla koneen toimintaa ja arvioimalla toimiiko kaikki tarkoitettulla tavalla. (Caverion [www-sivut](#), 2019)

Kun lopulta esimerkiksi laakeri pettää, aloitetaan korjaava kunnossapito. Korjaavalla kunnossapidolla yritetään korjata vika, joka on jo syntynyt tai on syntymässä, esimerkiksi laakerin vaihto sen pettäessä. Korjaavan kunnossapidon tavoite on palauttaa kone takaisin vähintään alkuperäiseen toimintakuntoon, jotta se pystyy taas suorittamaan sille tarkoitettua tehtävää. (Konecranes [www-sivut](#), 2020)

Ennakoivalla kunnossapidolla tarkoitetaan korjaustoimenpiteitä jo ennen vikojen syntymistä, tai niiden alkuvaiheessa. Mikäli esimerkiksi laakerissa huomataan kohonnut lämpötila, voidaan päätellä, että jokin vika on syntynyt tai on syntymässä. Tätä laakeria ei kuitenkaan ole vielä pakollista vaihtaa, sillä se pystyy suorittamaan työnsä vielä toisiksi. Ennakoivalla kunnossapidolla laakeri vaihdettaisiin jo tässä kohtaa, toisin kuin korjaavalla kunnossapidolla laakeri vaihdettaisiin vasta kun se ei pysty suorittamaan sille määrättyä tehtävää. Ennakoiva kunnossapito on riskivapaampaa, mutta väärin toteutettuna voi myös olla kalliimpaa, mikäli osia vaihdetaan liian usein. Liian heikolla ennakoivalla kunnossapidolla voi olla samat seuraukset, sillä yhdestä vauriosta voi syntyä useampi vaurio ja kokonaisuutena nämä vauriot voivat kustantaa enemmän, kuin yhden varaosan vaihtaminen ajoissa. (Spotilla [www-sivut](#), 2018)

4.3 Sähkömoottorin kunnossapito

Jotta moottorille taataan pitkä toimintaikä, on tärkeää seurata moottorin kuntoa. Tuotantotilassa, johon kone tullaan sijoittamaan, leijailee pölyä ja epäpuhtauksia, jotka moottorin sisälle päästessä voivat mm. aiheuttaa ylikuumentumista, joka puolestaan lyhentää moottorin käyttöikää. Moottorin lämpötilaa tulisi seurata tasaisesti. Valmistajien ohjekirjoista löytyy suositellut ympäristön lämpötilat, johon moottori soveltuu ja

mikä moottorin hyötysuhde on missäkin lämpötilassa. Yleisesti sähkömoottorit toimivat 40°C:n ympäristöissä 100%:n hyötysuhteella. Yleisesti ympäristön lämpötilan noustessa 5°C:lla, hyötysuhde tippuu 5%. (electrical-engineering-portal www-sivut, 2016.)

Lämpötilaa tulisi mitata koneen sisältä, jossa moottori sijaitsee. Näin saadaan tietoa, millaisella hyötysuhteella moottorin tulisi toimia. Myös moottorin sisälämpötilaa tulee seurata, esimerkiksi infrapunälämpömittarilla, jotta vältetään moottorin häiriöitä. Valmistajat yleisesti ilmoittavat ohjekirjassaan arvoja moottorin toimintalämpötiloille. Näitä arvoja on mm. sallittu lämpenemä, maksimi lämpötila, sekä varmuusmarginaali. (bevi www-sivut)

Sähkömoottoreissa on yleisesti asetettuna suojakytkimet, joilla estetään ylikuumeneminen, joka voi johtua esimerkiksi ylikuormituksesta. Moottorissa voi myös olla lämpösuoja, joka yleisesti sijaitsee moottorin käämissä. Lämpötilan noustessa lämpösuoja katkaisee sähköpiirin ja moottori sammuu. (bevi www-sivut)

Moottorin ennaltaehkäisevä jäähdytys hoidetaan sopivalla ilmanvaihdolla. Moottorin yläpuoli on peitettynä, jotta leijaileva pöly ei pääsisi suoraan moottoriin. Moottorin koteloinnin mukaan, koneen runkoon jää ilmanvaihtoaukko niin, että kuuman ilman poistuessa moottorista, se pääsee myös pois koneen rakenteesta ja tilalle saadaan viileämpää ilmaa.

4.4 Laakereiden kunnossapito

Laakereiden käyttöikään vaikuttaa voitelu, ympäristön epäpuhtaudet, laakereiden linjaus, värähtelyt, kuormat, pyörimisnopeus, sekä lämpötila. Toinen suuri tekijä laakerin käyttöiässä on laakerin eristys. Laakerin eristyksen tehtävä, pitää voiteluaine puhtaana, ympäristön epäpuhtauksilta. Eristyksen käyttöikä on riippuvainen lähinnä käyttövirheistä, sekä ympäristön vaikutuksista. Näitä on mm. linjaus, ympäristön epäpuhtaudet, kemikaaleille altistuminen, sekä oikein asennus. (SKF bearing maintenance handbook 2011, 27–28.)

Voitelulla on suuri rooli laakerin toiminnan kannalta. Oikein voideltuna laakerin käyttöikä voidaan pidentää huomattavasti verrattuna siihen, ettei laakeria voideltaisi tarpeeksi. Voitelun tehokkuus heikentyy ajan myötä, johtuen mekaanisen työn, epäpuhtauksien, sekä kulumisen takia. Uudelleenvoitelu on riippuvainen laakerityypistä, sekä käytöstä. Yleisesti laakerivalmistajalla on suositukset ja ohjeet laakereiden uudelleenvoitelulle. (SKF bearing maintenance handbook 2011, 28.)

Epäpuhtauksien pääsemistä laakeriin voidaan ennaltaehkäistä pitämällä voiteluaine, kuten öljy tai rasva hyvin eristettynä, ennen voitelua ja sen aikana. Laakereiden puhautta tulisi seurata jokaisessa työvaiheessa, joka koskee laakeria. Näitä on esimerkiksi asennuksen yhteydessä, voitelun ja uudelleenvoitelun aikana ja irroituksen yhteydessä. Laakereille kannattaa myös suorittaa silmämääräisiä tarkastuksia aina ennen koneen käyttämistä. (SKF bearing maintenance handbook 2011, 28.)

4.5 Värähtelymittaukset

Hyvä tapa seurata koneen kuntoa, on seurata koneen ja sen osien värähtelyä. Kaikki mekaaniset laitteet, joissa tapahtuu liikettä, tuottaa myös värähtelyä. Värähtelymittauksilla voidaan saada tärkeää tietoa koneen, tai sen komponenttien kunnosta. Värähtelymittauksia voidaan käyttää kaikkien mekaanisten laitteiden ylläpidossa, sekä diagnosoinnissa, oli liike sitten suoraviivaista tai pyörivää. Värähtelymittauksilla voidaan selvittää koneen liikkuvien osien vikoja, jotka johtuvat liikkeestä. Samoilla mittauksilla ei kuitenkaan pystytä selvittämään välttämättä vian aiheuttajaa, joka voi olla esimerkiksi lämpötilasta johtunut voitelun heikentyminen. Oikein käytettynä värähtelymittauksilla pystytään optimoimaan kone sen parhaimpaan käyttökuntoon. (Mobley 2002, 114.)

Värähtelymittauksista onkin tullut kriittinen osa konesuunnittelua, sekä koneiden käyttöönottoa. Sillä pystytään testaamaan koneen toimintaa heti käyttöönotossa ja seuraamaan koneen odotettua toimintaikää. Värähtelymittauksilla saadaan selvitettyä esimerkiksi vikoja, joita koneen osiin on voinut tulla valmistuksessa, toimituksessa tai asentamisessa. Näillä mittauksilla pystytään tarkistamaan myös suunnittelussa tulleita virheitä, jotka ilmaantuvat prototyypin käyttöönotossa. Viat pystytään korjaamaan

prototyypin testauksen ja värähtelymittauksen tuloksena ja osien piirustuksia voidaan muokata mahdollisten vikojen pohjalta. (Mobley 2002, 117.)

Vaikkakin yleisesti värähtelytaajuuden muuttuminen viittaa koneen tai koneen osan tehokkuuden heikkenemiseen, se ei välttämättä aina pidä paikkaansa. Värähtelytaajuus voi muuttua myös esimerkiksi kuormien tai pyörimisnopeuden muutoksen takia, joten on tärkeää ymmärtää värähtelyjen muutosten syitä, joita koneessa voi ilmaantua. Koneessa ilmenee erilaisia taajuuksia, vaikka kaikki koneen osat pyörisivät tasaisesti samalla nopeudella. Tämä johtuu osien erilaisista mm. kitkoista, massoista, sekä koosta. Onkin tärkeää, että koneen värähtelyä ei pelkästään mitata kokonaisuutena, vaan joista kriittistä osaa seurattaisiin myös erikseen. (Mobley 2002, 121.)

Koneen normaalissa käytössä alkaa ajan myötä väkisin ilmenemään muutoksia värähtelyssä. Suurin tekijä värähtelyjen muutoksessa on koneen dynamiikka, johon vaikuttaa mm. massa, jäyhyys, välykset ja ympäristötekijät kuten kosteus. Välykset kasvavat koneen kulumisen takia ja ympäristötekijät voivat vaihdella sään ja sijainnin mukaan. Pelkästään nämä osatekijät aiheuttavat muutoksia värähtelytaajuuksissa. Esimerkiksi kulumisesta johtuvien muutosten perusteella pystytään arvioimaan koneen tai sen osan toimintaikää. Näin valmistaudutaan koneen, tai sen osan mahdolliseen vikatilaan, joka pystytään ennakoivasti korjaamaan. Kun vikatilaa pystytään ennakoimaan, maksimoidaan koneen tai sen osan käyttöikä, sekä säästytään suuremmilta vikatiloilta, joita voi ilmaantua tapahtumasarjana yhden osan vioittumisen takia. (Kelly 2006, 106,133)

Tärkeintä värähtelymittauksia tehdessä on ymmärtää koneen rakennetta ja sen osia, sekä ymmärtää mille osille on normaalia värähdellä eri tavoin. Akselit, vauhtipyörä, moottorin osat, rattaat ja laakerit tuottavat erilaisia värähtelyitä, joita voidaan seurata aika ajoin. Tällaisille osille on normaalia värähdellä, sillä ne ovat toistuvasti liikkeessä. Näistä normaaleista tapauksista tulisi osata erottaa epänormaalit värähtelyt, joita esimerkiksi rikkinäiset laakerit tai löysällä olevat mutterit voivat aiheuttaa. (Mobley 2002, 120–121)

4.6 Lämpötilamittaukset

Lämpötilamittauksilla pystytään selvittämään poikkeavuuksia koneesta. Mittaukset perustuvat siihen, että kaikki absoluuttista nollapistettä lämpimämmät asiat säteilevät energiaa. Tällaisia poikkeavuuksia mitataan infrapunamittareilla. Infrapunamittauksilla pystytään selvittämään osien lämpötila, perustuen osan säteilemään lämpötilaan, jonka mittari havaitsee infrapunasäteilynä. Mittari kuitenkin saa tuloksen kolmesta eri lämpötilasta, joita on lämpötilan johtuminen, heijastuminen ja osan itse tuottama lämpö. Näistä ainoa tärkeä ylläpidossa on viimeisin, eli osan itse tuottama lämpötila. (Mobley 2002, 172.)

Lämpötilamittauksen tulokseen vaikuttaa materiaalin pinta, sekä mittausolosuhteet. Tällaisia muuttujia on esimerkiksi heijastava pinta verrattuna täysin mustaan pintaan, pölyinen ympäristö verrattuna täysin siistiin ympäristöön ja mitattavan asian pintakäsittelyt, kuten maalit tai lakat. Nämä muuttujat otettaessa huomioon, tuloksista saadaan halutessa tarkempia. Tällaisista muuttujista on tehty taulukoita, joiden tehtävä on toimia apuna mittausten suorittamisessa. (Mobley 2002, 173–174.)

Lämpötilamittauksilla pystytään selvittämään, mikäli jonkin osan toiminta on heikentynyt tai mennyt rikki. Hyvä esimerkki on laakereiden toimivuus. Laakerin lämpötilan noustessa voidaan päätellä jonkin vian ilmestyneen tai olevan ilmestymässä. Käytännössä tätä tilannetta voi hyvin kuvata pultilla ja mutterilla. Mikäli mutteri on jumiutunut kiinni pulttiin ja mutteria lähdetään irrottamaan pultista kiertämällä, mutteri kuumenee huomattavasti enemmän, kuin jos se irtoaisi pultin kierteistä helposti. Sama pätee laakereiden lämpötilamittauksessa. Lämpötilan noustessa voidaan päätellä, ettei laakeri enää pyöri yhtä vaivattomasti kuin ennen. Tämä voi johtua esimerkiksi kulumisesta tai heikosta voitelusta. Lämpötilamittauksilla voidaan myös päätellä esimerkiksi moottorin hyötysuhdetta, sekä sen toimintaikää. Ympäristön ja moottorin lämpötilan noustessa moottorin hyötysuhde alkaa laskemaan portaittain. Yleisesti valmistajat ilmoittavat kyseiset hyötysuhteet ohjekirjoissaan. Myös sähkövika voi aiheuttaa lämpötilan nousua, joka voi johtaa esimerkiksi heikentyneeseen lämmönsiirtoon. Sähkövikoja voi aiheuttaa esimerkiksi sulakkeet, kytkimet, kondensaattorit ja katkaisijat. Osia mittaamalla ja vertaamalla niitä valmistajan antamiin arvoihin voidaan selvittää vikoja sähköisissä osissa. (Mobley 2002, 180–183.)

Hyvä tapa olisi tehdä tarkastuksia ja kirjata saatuja arvoja ylös. Näin pystytään helposti tarkistamaan poikkeamia, joita koneessa mahdollisesti esiintyy ja havaintojen perusteella voidaan ryhtyä huoltotoimenpiteisiin. Esimerkiksi laakerin alkaessa kuumentua, alkaa sen voitelukyky heikentyä. Tämä johtuu voiteluaineen viskositeetin muutoksesta, eikä se pysty enää suorittamaan tehtäväänsä täysin halutulla tavalla. Tämä taas voi johtaa muiden liikkuvien osien lämpenemiseen, josta vian myös havaita.

4.7 Tarkastukset ilman laitteita

Tarkastuksia tulisi myös tehdä käyttäen aisteja, kuten näköä, kuuloa, tuntoa ja hajua. Tällaiset tarkastukset ovat lähes kustannuksettomia, joten ne tulisi sisällyttää kunnossapitoon. Aisteilla pystytään tarkastamaan koneita tehokkaasti, mikäli tarkastettavaan koneeseen on tutustuttu. Äkillinen erikoinen haju voi viitata esimerkiksi jonkin osan ylikuumenemiseen, tai koveneva ääni jonkin liikkuvan osan liialliseen kulumiseen.

Tällaisilla tuloksilla saadaan kuitenkin vain viittaa, mikäli jokin osa ei toimi tarkoitetulla tavalla. Tämä johtuu siitä, että yleisesti tulos perustuu mielipiteeseen. Tällä tarkastustavalla kuitenkin saadaan usein aluilleen tarkastus, joka voidaan myöhemmin tehdä myös laitteella tai työkalulla. Yleisesti kuitenkin muutokset, jotka havaitaan aisteilla, ovat suuria muutoksia, sillä harva ihminen on herkkä huomaamaan pieniä muutoksia. Hyvänä esimerkkinä on mutteri, joka on löystynyt. Mutterin löystymisen voi havaita tunnustelemalla tai kuuntelemalla, mutta varmuutta sen todellisesta kireydestä ei voi tietää ennen testaamista. (Mobley 2002, 261)

5 SUUNNITTELU

Tämän kappaleen tavoitteena on laskea arvot koneen tärkeimmille komponenteille, joiden pohjalta tilaaja pystyy valitsemaan haluamansa osat koneeseen. Koneen tärkeimmät komponentit ovat moottori, vauhtipyörä, kytkin, jarru, sekä terä. Valmistaja tilaa komponentit näiden laskettujen arvojen perusteella, sekä mitoittaa koneen lopulliseen mittaansa, haluttujen osien perusteella. Rungolle mallinnetaan karkea rakenne, jota muokataan valittujen osien perusteella.

5.1 Koneen sijoittaminen

Kone halutaan sijoittaa valukoneen kelaajan läheisyyteen, jotta kelaajaa voisi hyödyntää leikkurin kanssa. Leikkuri suunnitellaan alustavasti sijoitettavaksi suoraan kelaajan vetorullien perään. Hallissa on yhteensä neljä kelaajaa, joista kahden perään leikkuri saataisiin mahtumaan varmasti. Kieppejä voi lähes vaivattomasti liikuttaa kelaajien välillä, joten tältä osin ei ole väliä, kumman kelaajan perään leikkuri tulee.

5.2 Koneen toimintaperiaate

Kone saa virtansa sähkömoottorista, joka pyörittää toista akselia hihnavälityksellä. Hihnan toisessa päässä on ratas, jota moottori pyörittää. Samalla akselilla rataan kanssa on vauhtipyörä, hammaskytkin, leikkaava kampi, sekä jarru. Vauhtipyörää pyöritetään jatkuvasti ja halutulla hetkellä jarru vapautuu ja kytkin aktivoituu, jolloin kampi pyörähtää ja tekee leikkauksen. Kun kytkin aukeaa, jarru aktivoituu ja kampi pysähtyy. Näin leikkausväleistä saadaan halutun mittaisia. Hihnalla saadaan vähennettyä moottorille koituvaa räsitusta, sen vaimentaessa leikkauksista koituvia iskuja ja värähtelyä. Kammen kehälle on upotettu teräpidin, sekä terä ja kokonaisuus pyörii epäkeskona pyörimisakseliin nähden.

5.3 Koneen alustava mitoitus

Rajallisen tilan takia, on tärkeää, että koneesta suunnitellaan mahdollisimman kompaktin kokoinen. Kone mitoitetaan niin, että se soveltuu vahvempienkin materiaalien katkomiseen, vaikka pääasiassa leikattava materiaali onkin vahvimmillaan käsittelemätöntä kuparimagnesiumia. Syynä ylimitoitukselle on se, että koneen halutaan kestävän jopa yllättävissä tilanteissa ja tarpeen tullen sillä pystyy myös leikkaamaan vahvempia metalleja.

5.3.1 Leikattavan materiaalin ominaisuudet

Jotta koneelle saadaan määritettyä tarvittavat ominaisuudet, tarvitsee ensiksi määrittää vahvuus materiaaleille, joita koneella tullaan katkomaan. Tämä saadaan selvitettyä mm. vetokokeilla, joista saadaan selvitettyä leikkaukseen vaadittava voima. Vetokokeista saatuja arvoja voidaan verrata nykyisen leikkurin maksimiarvoihin ja päätellä mikäli saadut arvot ovat todenmukaisia.

Vahvin hallilla tuotettu materiaali on halkaisijaltaan 25 mm:n kuparimagnesiumia, jota ei ole käsitelty. Kyseisen materiaalin vetomurtolujuus on 220 MPa. Tämä arvo on saatu hallilla tehdyissä vetokokeissa. Leikkausmurtolujuuksia ei ole standardoitu samoin, kuin vetomurtolujuuksia, mutta yleisenä ohjeena on, että leikkausmurtolujuus olisi 60% vetomurtolujuudesta. Kun verrataan tätä arvoa nykyisen leikkurin maksimiarvoihin, voidaan päätellä, että tulos pitää paikkansa ja on jopa hieman ylimitoitettu.

Voiman määrittämiseksi täytyy määrittää leikkauspinta-ala. Leikkaus tulee tapahtumaan kulmassa, sillä leikkausrata on pyöreän muotoinen. Oletetaan, että leikkaus tapahtuu silti suorassa 45 asteen kulmassa, jolloin saadaan määritettyä pinta-ala karkeasti ja arvosta saadaan suurempi, kuin se todellisuudessa olisi. Leikkauksen tapahtuessa kulmassa ja leikattavan materiaalin ollessa lankaa, on leikkauspinta-ala ellipsin muotoinen. Ellipsin pinta-ala lasketaan alla näkyvällä kaavalla. Ellipsin korkeus saadaan kuvaamalla leikkaustilanne sivusta ja laskemalla leikkausradan pituus trigonometrialla, olettaen, että leikkausrata kulkeutuisi suorassa 45°:n kulmassa.

$$a = \frac{b}{\sin 45} = \frac{25 \text{ mm}}{\sin 45} = 35,36 \text{ mm} \quad (1)$$

Jossa:

a = Ellipsin korkeus

b = Langan halkaisija

(Maol 2014, 31.)

$$A = \pi * \frac{a}{2} * \frac{b}{2} = \pi * \frac{35,36 \text{ mm}}{2} * \frac{25 \text{ mm}}{2} = 694,3 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

Jossa:

A = Ellipsin pinta-ala

a = Ellipsin korkeus

b = Langan halkaisija

(Maol 2014, 26.)

Kun tiedetään leikkauspinta-ala, voidaan seuraavaksi laskea tarvittava voima leikkauksen tekemiseksi. Leikkauslujuudelle ei ole kirjattuja standardeja kuten vetomurtolujuudelle, vaan yleisesti sen oletetaan olevan noin 60% vetomurtolujuudesta. Arvio on karkea, mutta tässä tapauksessa hallilla tehtyjen vetokokeiden, sekä vanhan leikkurin maksimiarvojen perusteella tämä arvo on vähintäänkin riittävä. Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua leikkausvoimalle karkea arvo.

$$USS = UTS * 0,6 = 220 \text{ MPa} * 0,6 = 132 \text{ MPa} \quad (3)$$

Jossa:

USS = Ultimate shear strength (leikkausmurtolujuus)

UTS = Ultimate tensile strength (vetomurtolujuus)

(Portlandboltin [www-sivut](http://www.sivut) 2020.)

$$F = \rho A = 132 \text{MPa} * 694,3 \text{mm}^2 = 91647,6 \text{N} \quad (4)$$

Jossa:

F = Leikkausvoima

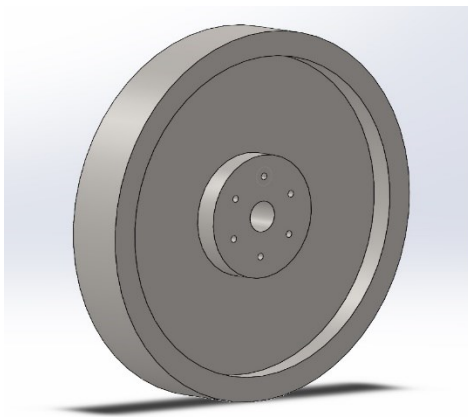
ρ = Paine

A = Leikkuupinta-ala

((Maol 2014, 127.)

5.3.2 Vauhtipyörä

Työtä varten mallinnettiin neljä erilaista vauhtipyörää, joista laskemalla määritettiin koneeseen sopivin vaihtoehto. Vauhtipyörällä saadaan kerättyä kineettistä energiaa systeemiin, joka välitetään halutulla hetkellä leikkaavalle kammelle. Kineettinen energia saadaan laskettua inertian, sekä kulmanopeuden neliön tulolla. Inertiaan vaikuttaa vauhtipyörän muoto, halkaisija ja massa. Muodolla tarkoitetaan massan sijaintia, esimerkiksi, mitä enemmän massaa saadaan lähelle vauhtipyörän ulkokehää, sitä enemmän vauhtipyörällä on inertiaa. Laskemalla määritettiin sopivaksi vauhtipyörä, jonka halkaisija on 600 mm ja paino 90 kg, kun vauhtipyörä pyörii nopeudella 500rpm. Määrittäminen aloitettiin laskemalla inertia, joka vauhtipyörällä on. Vauhtipyörän kerroin ”k”, on riippuvainen vauhtipyörän muodosta. Vauhtipyörän ollessa symmetrinen kiekko, olisi kerroin 0,5. Kerroin kasvaa ja laskee vauhtipyörän muodon mukaan. Mitä enemmän massaa ulkokehällä on, sitä suurempi myös kerroin on. Todellisuudessa tässä tapauksessa vauhtipyörän kerroin ”k” olisi 2/3, mutta varmuuskertoimen kasvattamiseksi käytetään 0,5:ttä.



Kuva 1. Solidworksillä mallinnettu vauhtipyörä

$$I = kmr^2 = \frac{90kg \cdot (0,3m)^2}{2} = 4,05kgm^2 \quad (4)$$

Jossa:

I = Vauhtipyörän inertia

k = Muotokerroin

m = Massa

r = Säde

(Engineering toolboxin [www-sivut](http://www.sivut) 2020.)

Kulmanopeus saadaan laskettua alla olevalla kaavalla. Kaavassa ” n ” kuvaa pyörimisnopeutta yksikössä [rpm].

$$\omega = \frac{n}{60} * 2\pi = \frac{500}{60} * 2\pi = 52,36 \text{ rad/s} \quad (5)$$

Jossa:

ω = Kulmanopeus

n = Pyörimisnopeus

(Engineering toolboxin [www-sivut](http://www.sivut))

Kun tiedetään inertia, sekä kulmanopeus, voidaan laskea alla olevalla kaavalla kineettinen energia, joka vauhtipyörällä on, kun se saavuttaa halutun 500 rpm:n nopeuden.

$$E_k = \frac{1}{2} * I\omega^2 = 0,5 * 4,05kgm^2 * \left(52,36 \frac{rad}{s}\right)^2 = 5551,7 J \quad (6)$$

Jossa:

E_k = Vauhtipyörän kineettinen energia

I = Vauhtipyörän inertia

ω = Kulmanopeus

(Maol 2014, 125.)

5.3.3 Moottori

Leikkurilla tullaan tekemään useita toistoja, joten sen täytyy palauttaa jokaisen leikkauksen jälkeen menetetty energia uudestaan vauhtipyörälle. Energiaa häviää jokaisen leikkauksen yhteydessä pääasiassa kammien pyöräyttämiseen, sekä itse leikkaukseen. Vauhtipyörän halutaan pyörivän 500 rpm:n nopeudella, joten moottorille voidaan määrittää 1500 rpm:n nopeus, jolloin välityssuhteeksi akseleiden välille tulisi 1:3. Tällöin saadaan myös nostettua vääntö, joka välittyy vauhtipyörän akselille

Vauhtipyörä halutaan täyteen 500 rpm:n nopeuteen 4 sekunnin kuluessa, jolloin leikkauksia voidaan myös tehdä vähintään 4 sekunnin välein. Leikkausten aikaväli riippuu leikattavasta materiaalista, kelaajan syöttönopeudesta, sekä kytkimelle asetetusta aika-arvosta. Jotta saadaan laskettua tarvittava vääntö, joka halutaan moottorilta, tarvitaan ensiksi haluttu kulmakiihtyvyys. Kulmakiihtyvyys lasketaan alla näkyvällä kaavalla.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\frac{500rpm}{60} * 2\pi}{4} = 13,01 \text{ rad/s}^2 \quad (7)$$

Jossa:

α = Kulmakiihtyvyys

$d\omega$ = Kulmanopeuden muutos

dt = ajan muutos

(Maol 2014, 124.)

Seuraavaksi voidaan laskea vääntö, joka moottorilta tarvitaan ylläpitämään vauhtipyörän nopeutta. Jokaisen leikkauksen yhteydessä vauhtipyörä menettää varastoitua energiaa leikkauksesta, sekä kammien liikkeelle saamisen takia. Vääntö lasketaan inertian ja kulmakiihtyvyyden tulosta. Laskemalla saadaan vääntö, joka tulee välittää vauhtipyörälle, jotta se saadaan haluttuun nopeuteen, halutussa ajassa. Alla olevissa laskuissa on laskettu ensiksi tapaus, jossa vauhtipyörä olisi moottorin kanssa kiinni samassa akselissa, jonka jälkeen on laskettu tapaus, kun vauhtipyörän akselia pyöritetään välityksen kanssa. Laskuissa τ_i kuvaa vääntöä, joka tarvittaisiin pyörittämään vauhtipyörää, jos se olisi samalla akselilla moottorin kanssa. F_c on lineaarivoima pyörivän kappaleen

kehällä. d_i kuvaa ratasta, joka on vauhtipyörän akselilla ja d_o on ratas, joka on kiinnitettyä moottoriin. Vauhtipyörän akselilla olevan rattaan koko tulee olla jaollinen kolmella, suhteessa moottorissa kiinni olevaan rattaaseen, jotta moottorin 1500 rpm:n pyörimisnopeus saadaan vauhtipyörän akselilla 500 rpm:ään.

$$\tau_i = I\alpha = 4,05 \text{ kgm}^2 * 13,01 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 52,6905 \text{ Nm} \quad (8)$$

Jossa:

τ_i = Vääntö

I = Vauhtipyörän inertia

α = Kulmakiihtyvyys

(Maplesoft 2005, 11.)

$$F_c = \frac{\tau_i * 2}{d_i} = \frac{52,6905 \text{ Nm} * 2}{0,36} = 292,72 \text{ N} \quad (9)$$

Jossa:

F_c = Lineaarinen voima kappaleen kehällä

τ_i = Vääntö

d_i = Vauhtipyörän akselilla sijaitsevan rattaan halkaisija

(tec.science www-sivut, 2018)

$$\tau_o = F_c * \frac{d_o}{2} = 292,72 \text{ N} * \frac{0,12}{2} = 17,56 \text{ Nm} \quad (10)$$

Jossa:

τ_o = Moottorilta vaadittava minimi vääntö

F_c = Lineaarinen voima kappaleen kehällä

d_o = Moottoriin kiinnitettävän rattaan halkaisija

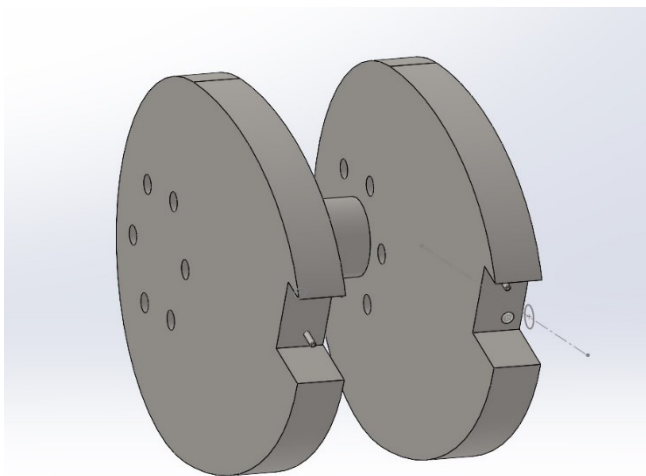
(tec.science www-sivut, 2018)

Moottorilta siis tarvitaan vähintään noin 18Nm, jotta vauhtipyörä pääsee halutussa ajassa, haluttuun nopeuteen. Sillä vauhtipyörä pääsee levosta täyteen nopeuteen 4 se-

kunnin aikana, voi myös leikkauksia tehdä vähintään 4 sekunnin välein. Aikaväliä saadaan pidennettyä kytkimellä, joka sijaitsee leikkaavan kammien, sekä vauhtipyörän välillä.

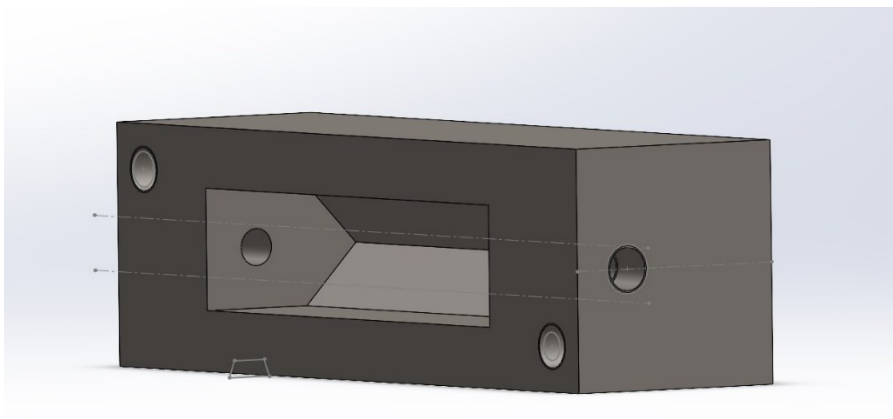
5.3.4 Kampi, teräpidin ja terä

Kammen liikeradan tulee päästä leikattavan materiaalin alapuolelle, jotta saataisiin aikaiseksi giljotiinia muistuttava leikkaus. Jotta välttyttäisiin langan jumiin jäämiseltä, langan kulkureitti on aina esteetön, riippumatta kammien asennosta. Kammien molempia sivuja yhdistävä pieni akseli, sijoitetaan tarpeeksi korkealle, jotta leikattava materiaali pääsee vapaasti etenemään, vaikka materiaali ei kulkeutuisikaan suoraan. Tässä tapauksessa kyseisen pienen akselin korkeus tulee olemaan vähintään 60 mm:n korkeudessa, alimpaan kohtaan nähden, johon leikattava materiaali pääsee ennen leikkausta. Kammien sivujen väli on myös vähintään 60 mm leveä, jotta myös putkituotteita pystyttäisiin halutessa syöttämään leikkuriin.



Kuva 2. Solidworksillä mallinnettu kampi

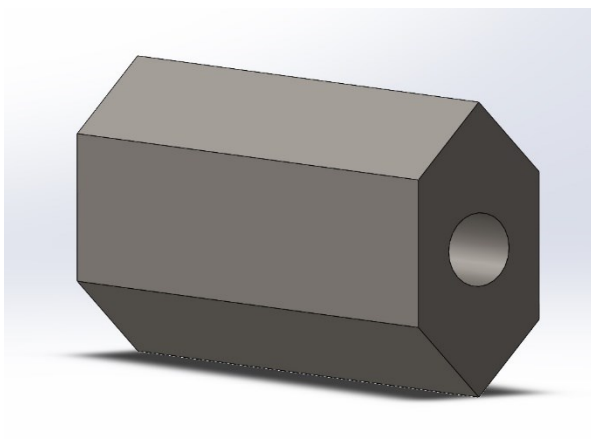
Kammen ulkokehälle upotetaan teräpidin, joka on kestävämpää materiaalia kuin itse kambi. Teräpidin kiinnitetään kampeen käyttämällä pultteja. Materiaalivalintaan löytyy ohjeita ja ehdotuksia mm. Dew-stahlin www-sivuilta.



Kuva 3. Solidworksillä mallinnettu teräpidin

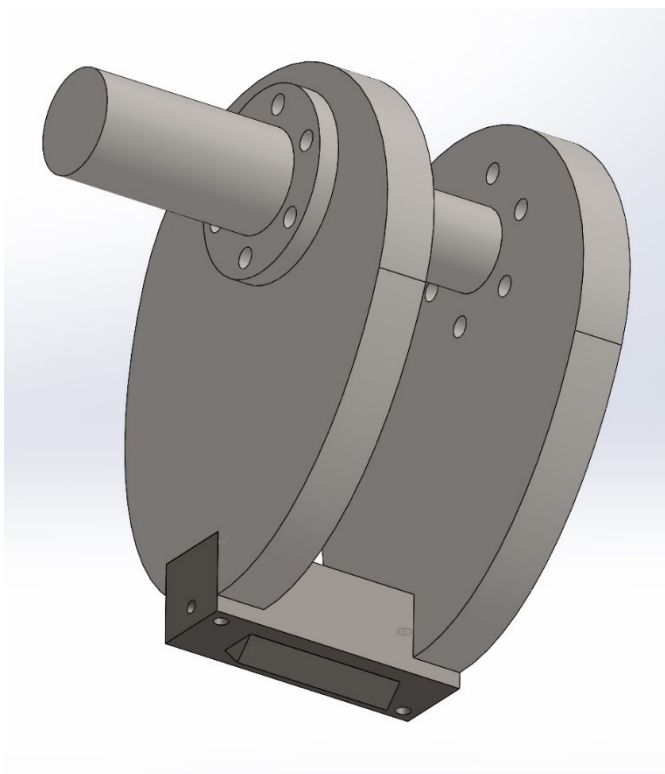
Teräpitimessä on kiinni terä, jonka muoto on symmetrinen. Näin terälle saadaan kaksi leikkaavaa kulmaa ja on mahdollista kääntää terä ja ottaa käyttöön uusi leikkaava kulma. Terän materiaali on kestävämpää, kuin teräpitimen, jotta vältetään terän särkyemiseltä iskuissa. Tärkeimmät ominaisuudet ovat kulumiskestävyys, sekä kovuus. Nämä saavutetaan mm. työkalun homogeenisellä ja pienellä raerakenteella, sekä seostamalla työkaluun esim. rautaa, molybdeeniä, kromia ja vanadiumia.

(Dew-stahl 2013, 10–22.)



Kuva 4. Solidworksillä mallinnettu terä

Terä on kampeen nähden asennettuna kulmassa, jotta saadaan mahdollisimman pystysuora leikkaus materiaaliin nähden. Leikkuuvälystä saadaan säädettyä mellalevyillä, jotka sijoitetaan teräpitimen, sekä kammen väliin. Kuvassa 5, laipallisen akselin mitta ei ole lopullinen ja akselin mitta määritetään vasta kun koneeseen on valittu kytkin.



Kuva 5. Solidworksillä tehty kokoonpano terälle, kammelle ja teräpitimelle

5.3.5 Kytkin

Kytkimen mitoittaminen on vaikein tehtävä koneen osien mitoituksista. Tämä johtuu siitä, että yleisesti koneissa, joissa halutaan välittää pyörimisliike nopeasti akselilta toiselle, käytetään hammaskytkintä. Hammaskytkin eroaa kitkalla toimivasta kytkimestä niin, että kitkan sijaan toinen akseli saadaan pyörimään asettamalla haitta akselien välille. Haitan etuna on, että toinen akseli saadaan pyörimään jo liikkeessä olevan akselin kanssa nopeammin, kuin jos käytettäisiin kitkalla toimivaa kytkintä. Koneessa on tärkeää, että kiihtyvyys saadaan mahdollisimman suureksi, jotta kampi pääsee haluttuun nopeuteen, ennen leikkauksen tapahtumista. Haittapuolena on, että tällaisen tilanteen laskeminen on hyvin haasteellista. Yleisesti arvot saadaan vain suuntaa antavaksi, johtuen kiihtyvyydestä. Kiihtyvyyttä ei tiedetä, ilman testaamista. Tämä

johtuu siitä, että kiihtyvyys tapahtuu lähinnä osien elastisuudesta, sillä kytkin ei pääse luistamaan.

Tässä tapauksessa kytkin mitoitetaan niin, että lasketaan suurin mahdollinen voima, jonka kone pystyy välittämään. Kyseisessä tilanteessa leikattava kappale kestää voiman ja kone jumittuu. Kun kampi on päässyt liikkeelle, täytyy jo aikaisemmin laskettuun vauhtipyörän inertiaan lisätä myös kammien inertia. Tämän jälkeen lasketaan tilanne, jossa kone pyörii täydellä nopeudella ja iskee leikattavaan kappaleeseen täydellä voimalla.

Sillä kampi ei pyöri oman massakeskipisteensä ympäri, sitä ei voida laskea samalla kaavalla, kuin vauhtipyörän inertia laskettiin aikaisemmin. Alla näkyvällä kaavalla on laskettu inertia kammelle.

$$I_k = I + md^2 = 15kg * (0,125m)^2 + 15kg * (0,08m)^2 = 0,330375kgm^2 \quad (11)$$

Jossa:

I_k = Kammien inertia todellisen pyörimisakselin suhteen

I = Kammien inertia, sen massakeskipisteen ympäri

m = massa

d = Pyörimisakselin ja massakeskipisteen välimatka

(physics.bu.edu www-sivut.)

$$I_{kok} = I_k + I_v = 4,05kgm^2 + 0,3304kgm^2 = 4,3804kgm^2 \quad (12)$$

Jossa:

I_{kok} = Kammien ja vauhtipyörän inertia

I_k = Kammien inertia todellisen pyörimisakselin suhteen

I_v = Vauhtipyörän inertia

(phys.libretexts.org www-sivut, 2019.)

Pyörivien akselien kokonaisinertia on siis $4,38kgm^2$. Tämä arvo on tulevissa laskuissa pyöristetty $4,4kgm^2$:n. Seuraavaksi lasketaan suurin voima, jonka kone pystyy välittämään leikattavaan kappaleeseen. Alla näkyvässä kaavassa "F" on voima, joka

kohdistuu leikattavaan kappaleeseen, ” E_k ” on systeemin kineettinen energia ja ” S ” on iskupituus.

$$E_{k+v} = \frac{1}{2} * I_{kok} \omega^2 = \frac{4,4kgm^2 * \left(52,36 \frac{rad}{s}\right)^2}{2} = 6030 J \quad (13)$$

Jossa:

E_{k+v} = Vauhtipyörän ja kammen kineettinen energia

I_{kok} = Kammen ja vauhtipyörän inertia

ω = Kulmanopeus

(Maol 2014, 125.)

$$F = \frac{E_k}{S} = \frac{6030J}{0,03536m} = 170531 N \quad (14)$$

Jossa:

F = Koneen tuottama voima leikkaushetkellä

E_{k+v} = Vauhtipyörän ja kammen kineettinen energia

S = Iskupituus

(Oleo www-sivut.)

Todellisuudessa laskettu energiamäärä on ylimitoitettu, sillä lasketussa tilanteessa koko systeemi on jatkuvassa pyörimistilanteessa. Todellisuudessa systeemin energia olisi pienempi, sillä vauhtipyörän keräämästä energiasta, osa häviää kammen pyörittämiseen. Leikkaustilanteessa kammen pyörimisnopeus pienenee ja näin ollen myös tarvitsee kohdistaa vähemmän vääntöä, sen pysäyttämiseksi. Jotta kone saataisiin täyteen pysähdykseen kyseisestä teoreettisesta tilanteesta, täytyisi siis käyttää ~6kJ energiaa, tai kohdistaa ~170kN:n lineaarinen voima terään. Kummalakin arvolla pystytään laskemaan vääntö, joka tarvitsisi kohdistaa koneeseen, jotta se pysähtyisi. Energian avulla voidaan laskea kuinka paljon työtä tarvitsisi tehdä tietyllä matkalla, jotta kone pysähtyisi. Voiman avulla voidaan laskea taas vääntö, kun tiedetään leikkausradan säde. Lasketaan tilanne, jossa kone tulisi täyteen pysähdykseen 0,1:n kierroksen aikana, eli 36°:n matkalla

$$W = \tau\theta \rightarrow \tau = \frac{W}{\theta} = \frac{6030J}{0,1rev*2\pi} = 9597Nm \quad (15)$$

Jossa:

W = Koneen tekemä työ

τ = Tarvittava vääntö koneen pysäyttämiseksi

θ = Matka, jonka aikana kone pysähtyisi

(engineeringarchives.com www-sivut, 2008)

Jotta kone siis saataisiin täyteen pysähdykseen annetulla matkalla, tarvittaisiin noin 9,6 kNm vääntöä. Tällä arvolla voidaan määrittää tarpeelliseksi nähty kytkin koneeseen. Arvo on suuresti ylimitoitettu leikkaustilanteeseen, mikäli koneeseen ei syötetä erikoislujia teräksiä, sillä vahvin romukupariksi joutuva materiaali kestää noin 100kN:n voiman. Mikäli kone jaksaa leikata halutun materiaalin, se ei tule äkkipysähdykseen ja vääntö on huomattavasti pienempi.

5.3.6 Jarru

Jarrun mitoituksessa otetaan huomioon vain kammien inertia. Jarrun aktivoituessa, kytkin on vapautunut, joten kampea pyörittää vain kineettinen energia, joka sillä jo on. Jarrun siis täytyy pystyä pysäyttämään huomattavasti pienempi massa, kuin aikaisemmissa laskuissa. Jarru mitoitetaan teoreettisessa tilanteessa, jossa kampi ei hidastuisi ollenkaan leikkauksen yhteydessä. Kaavalla laskettiin inertia kammelle, joten seuraavaksi määritetään matka, jolla kampi halutaan pysähtyvän. Kammien halutaan pysähtyvän ¼ kierroksen jälkeen. On siis turvallista olettaa, että kammien halutaan pysähtyvän 10° sisällä jarrutuksen alkamisesta.

$$E_k = I_k \omega_k^2 = \frac{0,3304kgm^2 * \left(52,36 \frac{rad}{s}\right)^2}{2} = 452,9 J$$

Jossa:

E_k = Kammien kineettinen energia

I_k = Kammien inertia

ω_k = Kammien kulmanopeus

(Maol 2014, 125)

$$\tau_k = \frac{W_k}{\theta_k} = \frac{452,9J}{10 \cdot \frac{\pi}{180}} = 2595 \text{ Nm} \quad (16)$$

Jossa:

τ_k = Tarvittava jarrutus kammen pysähtymiseen

I_k = Kammen inertia

θ_k = Matka, jolla kammen halutaan pysähtyvän
(engineeringarchives.com www-sivut, 2008)

5.3.7 Laakerointi

Laakeroinnissa tulee ottaa huomioon pyörimisnopeus, sekä kuormat, joita kohdistuu laakereihin. Rullalaakerit soveltuvat tämän tyyliiseen koneeseen, sillä ne kestävät hyvin suuria kuormia, pyörimisnopeuksia ja värähtelyä. Rullalaakerit kestävät myös paremmin korkeampia lämpötiloja, kuin kuulalaakerit. Tämä pidentää laakerin käyttöikää, sekä vähentää tarvetta huoltamiselle.

(SKF www-sivut, 2020.)

Koneessa vauhtipyörä tulee olemaan jatkuvassa liikkeessä, joten ennen kytkintä sijaitsevien laakereiden täytyy kestää jatkuvasta liikkeestä johtuvaa lämpötilaa. Kammen puolella akseleiden tulee taas kestää aksiaalisia voimia enemmän, jolloin rullalaakerit ovat myös siihen sopiva ratkaisu. Akselit kiinnitetään laakereihin tekemällä kierteet molempien akseleiden päätyihin ja kiristämällä akseli kiinni laakerin laippaan. Laakerit ovat laipallisia laakeriyksikköjä, jolloin mutterit eivät haittaa laakereiden pyörimistä, mutta estävät vaakasuuntaisen liikkeen.

5.3.8 Koneen lopullinen mitoitus

Koneen lopullisesta mitoituksesta huolehtii tilaaja. Koneen mitoitus on riippuvainen tilaajan valitsemista komponenteista, jotka vaikuttavat akseleiden lopulliseen mittaan, sekä kammen sijaintiin vaaka-akselilla.

Kammen ja kytkimen välissä sijaitseva akseli pyritään mitoittamaan niin, että se toimii turvatoimena yllättäville, erittäin suurille voimille, jotka voivat kohdistua koneeseen. Mikäli koneeseen kohdistuu erittäin suuri voima, pyritään akseli mitoittamaan niin, että se katkeaa, ennen voiman välittymistä kytkimeen, joka puolestaan voisi vahingoittaa kytkintä tai moottoria. Kyseinen akseli on yksi koneen halvimmista osista valmistaa ja sijaitsee sopivassa paikassa estääkseen suuremmat vahingot koneeseen.

On tärkeä, että kammen akseli mitoitetaan niin, että se kestää vähemmän vääntöä, kuin kytkin, joka koneeseen valitaan. Kyseiselle akselille tulee kohdistumaan suuri määrä vääntöä hetkellisesti, jota ei pystytä laskemaan ilman testaamista. Tämä johtuu siitä, että kytkin ei luista ja jälkimmäinen akseli kiihdytetään ”välittömästi” ensimmäisen akselin nopeuteen. Toisin sanoen kiihtyvyyttä jälkimmäiselle akselille on erittäin haasteellista laskea. Kun akseli on mitoitettu niin, että se murtuu ennen kytkintä, saadaan lievennettyä voimaa, joka muuten kohdistuisi kytkimeen ja välittyisi siitä mahdollisesti moottoriin.

6 KUNNOSSAPITO

6.1 Moottori

Värähtely- ja lämpötilamittaukset soveltuvat tähän koneeseen erityisen hyvin, sillä näiden mittausten avulla pystytään selvittämään valmistuksessa, lähetyksessä tai kassauksessa koituneita haittoja ja ne pystytään korjaamaan ennen suurempien vikojen ilmaantumista. Kone toimii suurella nopeudella, ja leikkuuväläys on pieni, joten on tärkeää, että värähtelymittauksia suoritetaan heti ensimmäisessä käynnistyksessä. Näin saadaan selville, mikäli jokin osa on asennettuna huonosti tai on viallinen. Huonosti asennettu tai viallinen osa voi aiheuttaa äkillistä kulumista, joka voi aiheuttaa yhä kiihtyneemmän osien kulumisen. Lopulta pahimmassa tapauksessa laite vioittuu epävakaaan liikeradan takia ja aiheuttaa turvallisuusriskin.

Moottorin kunnossapitoon kuuluu myös muiden osien kunnossapito, sillä muiden osien vioittuessa, myös moottori joutuu tekemään enemmän töitä. Suurimpia vikoja näistä voi olla mm. laakereiden kuluminen tai akseleiden huono linjaus. Mikäli laakerit ovat kuluneet, tai niiden voitelu on heikentynyt, ne myös pyörivät huonommin. Tämä johtaa suurempaan kitkaan, joka lisää vastusta moottorille. Jotta taataan moottorille mahdollisimman pitkä toimintaikä, tulisi tällaiset viat korjata ajoissa. Muista osista johtuva ylimääräinen rasitus ei pelkästään vaikuta osan käyttöikään, vaan myös lyhentää käyttöikää moottorilta.

Ensikäynnistyksen yhteydessä olisi hyvä mitata moottorin lämpötila, sekä ympäristön lämpötila, jossa se toimii. Näin saadaan arvo, jota voidaan verrata valmistajan antamiin arvoihin moottorin hyötysuhteesta. Lämpötila tulisi myös mitata koneen rungon sisäpuolelta, jossa moottori sijaitsee, jolloin ilmanvaihtoa pystytään tehostamaan tarvittaessa.

Silmämääräisellä tarkistuksella pystytään tarkistamaan moottorin ja sen sijainnin puhtautta. Moottorin ja sen ympäristön ollessa mahdollisimman puhdas, moottori myös toimii paremmalla hyötysuhteella. Myös hajuaistilla pystytään päättelemään, jos moottorin sisälle on päässyt jotain sinne kuulumatonta. Lämpötilaa tulisi myös mitata

koneen rungon sisältä moottorin alueelta. Mikäli havaitaan lämpötilan nousua, sitä voidaan parantaa esimerkiksi lisäämällä ilmanvaihtoa.

Värähtelymittauksilla voidaan tutkia moottorissa löysällä olevia tai irronneita osia. Värähtelymittaukset tulisi myös suorittaa käyttöänon yhteydessä, jotta mahdolliset virheet koneessa saataisiin selville. Mikäli vikoja ei ilmene, voidaan tätä arvoa käyttää tulevaisuudessa vertauksena myöhempiin mitattuihin arvoihin. Näin voidaan saada selville esimerkiksi kulumisesta johtuvia vikoja.

6.2 Laakerit

Koneessa värähtelyä aiheuttaa lähinnä vauhtipyörä, moottori, leikkaustilanne ja jarrutus. Näitä pystytään vähentämään laakeroimalla koneen osat oikeista kohdista. Laakerit on suunniteltu niin, että ne ottavat vastaan värähtelyjä. Laakerin ulkokehää tukee pesä, joka on tehty joustavasta materiaalista. Näin laakerin sisärenkas pääsee joustamaan ja värähtelyjä saadaan heikennettyä. Normaalisti vierintälaakereiden taajuudet ovat yli 2000Hz:n alueella. Laakerin värähtelytaajuutta kannattaa alkaa mittailemaan heti käyttöänon jälkeen ja seurata sen muutoksia. Värähtelytaajuutta voidaan mitata esimerkiksi ultraäänimittalaitteilla. Värähtelytaajuuden kasvaessa huomattavasti on laakereiden voitelu heikentynyt, tai laakeriin on ilmaantunut jokin muu vika. (Opetushallitus [www-sivut](#))

Laakereiden kunnosta kertoo myös sen lämpötila. Lämpötilaa voi seurata esimerkiksi infrapunalämpökameralla. Yksinkertainen ohje lämpötilan seuraamiseksi on, että laakeripesän lämpötila saa olla noin 80°C ja ulkorengas 10°C:ta laakeripesää lämpimämpi. Tässä kohtaa kannattaa alkaa seuraamaan laakeria, sillä sen toimintakyky on heikentynyt. Mikäli laakerin lämpötila pääsee nousemaan, on mahdollista, että voiteluaineen viskositeetti putoaa. Tämä voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa koko koneen pysähtymisen, sillä voiteluaine ohentuu liikaa, eikä pysty vähentämään kitkaa kahden metallisen pinnan välillä. Tämän takia lämpötila nousisi lisää ja lopulta voiteluaine ei pysty suorittamaan tehtävänsä ollenkaan. Kone pysähtyy. Lämpötilan noustessa voiteluainetta tulee lisätä varovasti ja seurata laakerin lämpötilaa. Lämpötilan

tasaantumisessa voi mennä tunteja, mutta jos lämpötila jatkaa nousemista pitemmän aikaa, on aika vaihtaa laakeri. (Machinerylubrication www-sivut 2016.)

Laakereiden lämpötilaa, sekä värähtelyä tulisi seurata alusta alkaen. Laakereiden kunnosta saa myös paljon selville jo pelkän kuulon avulla, sekä käsin testaamalla. Laakerin ollessa rikki, se yleisesti alkaa pitämään rahisevaa ääntä ja alkaa liikkumaan vapaammin yksikössään. Jo tästä voi päätellä, että laakeri tulisi vaihtaa. Tämä voidaan varmistaa tarkistamalla laakerin lämpötila, sen pyöriessä. Mikäli laakerit ovat olleet kunnossa käyttöönoton yhteydessä ja sille on suoritettu lämpötilamittaus käyttöönoton yhteydessä, voidaan arvoja verrata keskenään ja tehdä päätös tarvittavasta toimenpiteestä. Toinen tapa varmistua laakerin vioittumisesta on mitata sen värähtelyä. Mikäli laakereille on suoritettu värähtelymittaukset käyttöönotossa, voidaan arvoja verrata. Mikäli värähtelytaajuus on kasvanut, on laakerissa alkava vika tai se on jo viallinen

6.3 Kustannustehokkuus

Kustannustehokkain tapa koneen kunnossapidolle on suorittaa näitä mittauksia mahdollisimman usein ja seurata koneen kuntoa. Mikäli jossain ilmenee vikaa, voidaan ajoissa valmistautua huoltamaan konetta, jotta viat saadaan rajattua mahdollisimman pieniksi. Vaikkakin joissain koneen osissa on yhteneviä suosituksia eri valmistajilta, kannattaa käytössä olevien komponenttien suositellut arvot aina varmistaa valmistajalta. Näin vältetään yllättäviltä hajoamisilta ja mahdollisesti säästytään suuremmilta huoltokustannuksilta.

Koneeseen perehtymällä alusta asti saadaan tuntuma, mikäli koneen normaalista toiminnasta, joka helpottaa vikojen huomaamista. Perehtymällä rakenteeseen opitaan kuuntelemaan, haistamaan ja näkemään epänormaalit asiat koneesta. Yllättävä rahina voi johtua laakerista, tai jumittavasta akselistä. Suurimmat viat löytyvät helpoiten havainnoimalla koneen toimintaa aina käynnistyksien yhteydessä, sekä koneen ollessa käytös

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella jatkuvatoiminen leikkuri kuparin, sekä kupariseosten katkomiseen. Koneella on tarkoitus katkoa jatkuvalettuja kupari- ja kupariseoslankoja. Syy koneen suunnittelulle oli tarve parantaa ergonomiaa työpaikalla, sekä sulavoittaa valuprosessin etenemistä.

Kyseinen opinnäytetyö oli haasteellinen, mutta erittäin opettavainen. Haasteellista työssä oli lähtökohtaisesti kaiken tarvittavan tiedon laajuus koneen mitoittamiseksi. Aloittamisen jälkeen ideat alkoivat kehittyään hiljalleen ja lopulta suunnitelma oli valmis, jota lähdettiin työstämään.

Koneen suunnittelu alkoi tutustumalla erilaisiin mekaanisiin ratkaisuihin, jotka soveltuivat leikkuriin. Mekanismi, joka vaikutti parhaimmalle, oli sama, jota käytetään esimerkiksi epäkeskoprasseissa. Yksinkertaistettuna tämä mekanismi sisältää moottorin, vauhtipyörän, sekä epäkeskona pyörivän terän. Leikkurille kuitenkin haluttiin säädettävä leikkuuväli, joten koneeseen täytyi myös liittää kytkin, jolla saataisiin säädettyä mittaa leikattaville kappaleille, sekä leikkauksien aikaväliä. Kytкин osoittautui haastavimmaksi osaksi mitoitta, sillä koneesta olisi tarvinnut valmistaa prototyypin, jolla olisi saatu selville tarvittavia arvoja. Suuntaa antavat arvot kuitenkin saatiin selville, joten leikkurin pystyy valmistamaan opinnäytetyössä tehtyjen arvojen perusteella.

Kokonaisuutena työ oli erittäin laaja, sekä haasteellinen, kokemuksen puutteen ja kaiken tarvittavan tiedon laajuuden takia. Työn aikana kuitenkin oppi erittäin paljon teoriaa sekä käytännön asioita mekaanisista osista ja laitteista.

Konetta ei valmistettu opinnäytetyön aikana, joten opinnäytetyöstä ei selviä tarvitsiko kone muokkauksia ja kuinka se käytännössä suoriutuu. Lähtökohdat on kuitenkin selvitetty, joten kone on valmis tuotekehitykseen.

LÄHTEET

<https://www.portlandbolt.com/>

https://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Broschueren/072_DEW_Werkstoffauswahl_Kaltarbeit_GB.pdf

<https://electrical-engineering-portal.com/regular-motor-maintenance-to-avoid-failure-and-prolong-its-lifespan>

<https://www.machinerylubrication.com/Read/30608/manage-hot-bearings>

<https://www.skf.com/fi/products/bearing-units>

<https://www.bevi.fi/tietopankki/yleiset-tekniset-tiedot-sahkomoottoreista>

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html

https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/4/MapleDocument_30/Rotation%20MI%20and%20Torque.pdf

<https://www.tec-science.com/mechanical-power-transmission/belt-drive/power-transmission-of-a-belt-drive/>

<http://physics.bu.edu/~redner/211-sp06/class-rigid-body/parallelaxis.html>

https://phys.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis/UCD%3A_Physics_9A_Classical_Mechanics/5%3A_Rotations_and_Rigid_Bodies/5.2%3A_Rotational_Inertia

<https://www.oleo.co.uk/products/industrial/rotational-impact>

http://www.engineeringarchives.com/les_physics_torqueworkpower.html

<https://www.caverion.fi/tietoa-caverionista/liiketoiminta-ja-palvelut/botnia-mill-service/mit%C3%A4-on-teollisuuden-kunnossapito>

<https://www.konecranes.com/fi/huolto/korjaava-kunnossapito-ja-nosturipaivitykset>

<https://blog.seclion.fi/spotilla/mit%C3%A4-on-ennakoiva-kunnossapito>

Mobley, K. 2002. An introduction to predictive maintenance. Elsevier science & technology. <https://samk.finna.fi/Record/samk.991328459005968#image>

Kelly, A. 2006 Strategic maintenance planning. Elsevier science & technology. <https://samk.finna.fi/Record/samk.991328455605968#image>

<https://www.oleo.co.uk/products/industrial/rotational-impact>

http://www.engineeringarchives.com/les_physics_torquepower.html

