



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JONI TUOMOLA

Vaihtoehtoisen käyttölaiteratkaisun suunnittelu murskainsovellukseen

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä(t) Tuomola, Joni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
<p>Julkaisun nimi Vaihtoehtoisen käyttölaiteratkaisun suunnittelu murskainsovellukseen</p>		
<p>Tutkinto-ohjelma Konetekniikka</p>		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittellä ja suunnitella BMH Technology Oy:n murskaimen vaihtoehtoinen käyttölaiteratkaisu. Yrityksen tuoteportfolioon kuuluu kokonaisia materiaalinkäsittelylinjoja. Käsittelylinjan tärkein laite on murskain, joka on yleensä toteutettu hydraulikalla. Osa asiakaskunnasta kokee nykyisellään hydraulikkakäyttöisen murskaimen hankalaksi ja kalliiksi. Tämän seurauksena on yrityksessä päätetty kehittää sähkökäyttöisiä murskaimia.</p> <p>Nykyistä ratkaisua tutkittiin tarvittavien lähtötietojen saamiseksi sähkömoottorien ja vaihdelaatikoiden toimittajille. Toimittajien tarjoamien komponenttien perusteella suunniteltiin sähköiset käyttölaitteet ja niille tarvittavat momenttituet.</p> <p>Suorituskykyä arvioidessa sähkökäyttölaite oli hyvin lähellä hydraulikkakäyttölaitetta momenttien ja pyörimisnopeuden suhteen. Huomattavasti matalammat kustannukset ja yksinkertaiset käyttöönottoimet työmaalla puoltavat sähköisen käyttölaitteen valintaa.</p> <p>Työssä vertailtiin myös vaihtoehtoista hydraulikkakäyttöä. Suoritusarvojen pysyessä lähes identtisenä hydraulisten käyttölaitteiden välillä, kustannukset pienenisivät vaihtoehtoisen hydraulikka käyttölaitteen myötä. Suoravetoisuuden vuoksi vaihdelaatikka ei enää tarvittaisi.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> Murskaimet, hydraulikka, sähkökäytöt, jätepolttoaineet, tietokoneavusteinen suunnittelu</p>		

Author(s) Tuomola, Joni	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2021
	Number of pages 41	Language of publication: Finnish
Title of publication Designing alternative drive unit solution to crusher application		
Degree program Mechanical Engineering		
<p>The purpose of this thesis was to define and design an alternative drive unit solution to BMH Technology Oy's crusher. Company's product portfolio consists of complete material handling lines. Single most important machine on the line is crusher, which is usually hydraulically operated. Part of the customer base experiences that hydraulically operated crushers are troublesome and expensive. As a result, company has decided to develop electrically driven crushers.</p> <p>Current solution was studied to get necessary initial data to gearbox and electrical motor suppliers. Based on the components offered by suppliers, electrical drive units and torque arms were designed.</p> <p>Performance between hydraulically and electrically driven units were at same level regarding torque and rotation speed. Significantly lower costs and straightforward commissioning on site supports the selection of electrical drive unit.</p> <p>An alternative hydraulic drive unit was also included in the comparison. Performance between the two hydraulically driven units showed that whilst the performance is identical, alternative solution is more cost effective. Gearbox can be omitted due to direct drive motor.</p>		
<u>Key words</u> Crushers, hydraulics, electric drives, waste fuels, computer-assisted design		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 KOHDEYRITYS	7
2.1 Yrityksen arvot.....	7
2.2 Laitteet ja prosessi.....	7
3 NYKYINEN RATKAISU	9
4 SÄHKÖISEN KÄYTTÖLAITTEEN MÄÄRITTELY	13
4.1 Pyörimisnopeudet ja momentit	13
4.2 Ylikuormakytkin	15
4.3 Sähkömoottori ja vaihdelaatikko.....	16
4.4 Toimittajien tarjoukset	17
5 SÄHKÖISEN KÄYTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU.....	18
5.1 Akselin ja laakeroinnin suunnittelu.....	18
5.1.1 Akselin ja navan puristusliitos.....	19
5.2 Momenttituen suunnittelu	23
5.2.1 Momenttikehän FEM-analyysi	24
5.2.2 Hitsaussauman määrittely.....	28
5.3 Moottorin, vaihdelaatikon ja ylikuormakytkimen osakokoonpano.....	29
5.4 Osien sovittaminen yhteen SolidWorksissä ja viimeistelytyöt	30
6 ERI RATKAISUT JA NIIDEN VERTAILU	31
6.1 Hydrauliiikka.....	31
6.1.1 Toimittaja A.....	31
6.1.2 Toimittaja E	31
6.1.3 Erot hydrauliikkaratkaisujen välillä.....	33
6.2 Sähköiset käyttölaitteet	34
6.2.1 Toimittajat B ja C	34
6.2.2 Toimittaja D.....	36
6.3 Hydrauliiikkakäytön vertailu sähkökäyttöön	36
6.4 Sähkökäytön haitat ja hyödyt käyttöönoton ja työmaatoiminnan kannalta	37
6.5 Hydrauliiikkakäytön haitat ja hyödyt käyttöönoton ja työmaatoiminnan kannalta.....	38
7 LOPPUTULOS	39
8 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

SRF = Solid Recovered Fuel, kierrätyspolttoaine

MSW = Municipal Solid Waste, yhdyskuntajäte

REF = Recovered Fuel, kierrätyspolttoaine

PDM = Product Data Management, tuotetiedon hallinta

DCS = Distributed Control System, hajautettu ohjausjärjestelmä

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli määritellä ja suunnitella BMH Technology Oy:n murskainlaitteeseen vaihtoehtoinen sähkökäyttö sekä verrata tätä jo olemassa olevaan hydraulikkakäyttöön. Vertailukohteina ovat kustannusten lisäksi erilaisia käyttöön liittyviä suureita kuten saavutettava momentti. Lisäksi vertailuun otettiin vaihtoehtoinen hydraulinen käyttöratkaisu, jossa korvataan hydraulikkamoottori ja vaihdelaatikko yhdellä isommalla suoravetoisella hydraulikkamoottorilla.

Työn tekeminen aloitettiin etsimällä mahdollisimman paljon lähtötietoja hydraulikkakäyttöisestä versiosta mm. yrityksen PDM-järjestelmästä, haastattelemalla henkilöitä, sekä tutkimalla hydraulikkakaavioita ja piirustuksia. Yrityksen tuotekehitysosastolla on menossa projekti toisentyyppisen murskaimen muuntaminen sähkökäyttöiseksi ja se toimi tukena myös tälle projektille. Markkinoiden paine on johtanut indikaatioon, että helposti käyttöönotettaville sähkökäyttöisille murskaimille olisi asiakaskunnassa tarvetta. Asiakkaat mieltävät hydraulikan kalliiksi, sekä hydraulikan käyttöönotto ja huolto vaatii erityisosaamista.

Tarvittavien lähtötietojen keräämisen ja analysoinnin jälkeen lähestyttiin vaihdelaatikko- ja moottoritoimittajia. Heiltä pyydettiin ehdotukset komponenteista toimitettujen lähtötietojen perusteella. Lopuksi toimittajien ehdotuksia käytiin läpi ja siirrettiin murskaimen 3D-malliin tarvittavin lisäkomponentein.

2 KOHDEYRITYS

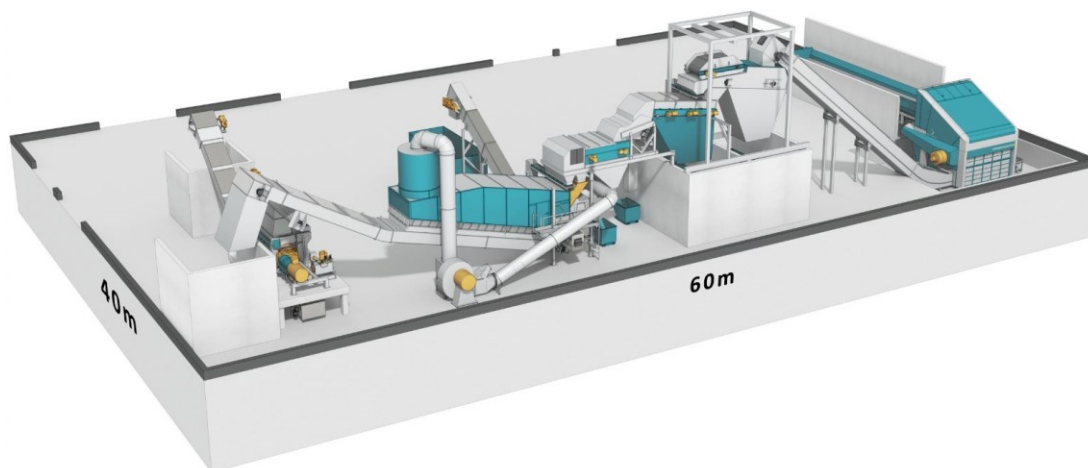
BMH Technology Oy on vuonna 1929 perustettu, päämajaansa Raumalla pitävä yritys, joka toimii globaalisti. Työntekijöitä yrityksellä on yli 150 ja yrityksellä on omat konttorinsa myös Ruotsissa, Puolassa, Kiinassa sekä Espanjassa. Lisäksi BMH:lla on myyntiagenteja ympäri maailmaa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2019 oli 57,3 miljoonaa euroa. Yritys valmistaa materiaalinkäsittelyjärjestelmiä mm. teollisuuden ja voimalaitosten tarpeisiin. Projekti- ja laitemyynnin lisäksi varaosien ja huoltojen myynti on merkittävä osa liiketoimintaa.

2.1 Yrityksen arvot

BMH:n arvoja ovat intohimo, yhteistyö ja menestys. Intohimo ajaa tavoittelemaan muutosta globaalilla tasolla mm. CO₂ päästöjen vähentämisellä ja fossiilisten polttoaineiden korvaamista jättepohjaisilla polttoaineilla. Yhteistyö on perusta toiminnalle. Menestys on kaiken tavoitteena: paikallisesti, taloudellisesti sekä teknologisesti kannalta, mutta myös kestäväen globaalien kehityksen kannalta. (BMH Technology www-sivut 2021)

2.2 Laitteet ja prosessi

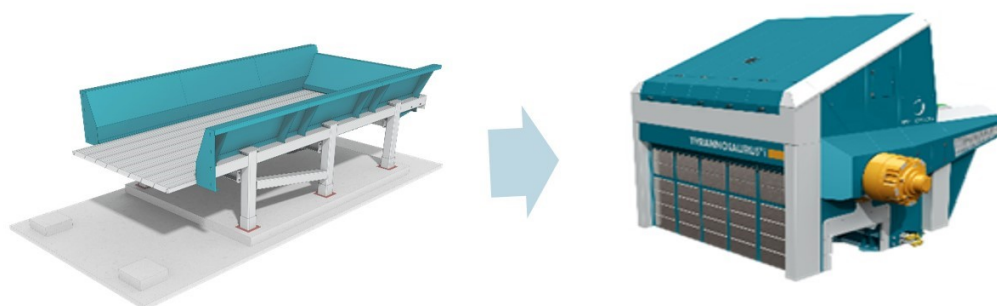
BMH:n tuoteportfolion laitteet muodostavat kokonaisia materiaalinkäsittelyjärjestelmiä, jotka jakaantuvat jätetuolen sekä biopuolen laitteisiin. Jätetuolen laitteilla on tarkoitus jalostaa jätteestä tasalaatuista SRF-polttoainetta voimalaitosten ja sementtiteollisuuden käyttöön. Biopuolella keskitytään kiinteisiin biopolttoaineisiin, kuten metsätähdehakkeeseen. Jäte – ja biopolttoaineilla korvataan fossiilisia polttoaineita ja samalla vähennetään CO₂ päästöjä. Opinnäytetyön aiheena oleva murskain kuuluu jätetuolen laitteisiin, joten esittely koskee vain jätetuolen linjastoa (kuva 2.1).



Kuva 2.1 Tyrannosaurus- linjasto

Tyrannosaurus-linjasto alkaa materiaalin vastaanotosta. Vastaanotettava materiaali voi olla esimerkiksi yhdyskuntajätettä, rakennusjätettä, kaupan- ja teollisuuden jätettä, kotitalouksien energiajätettä, auton renkaita tai siistausjätettä. Vastaanoton yleisin laite on askelsyötin, joka koostuu pitkistä lamelleista. Lamellit liikkuvat pareina eteenpäin ja syöttävät materiaalia hitaasti eteenpäin.

Askelsyötintä voidaan täyttää esimerkiksi suoraan peräpurkuautosta, pyöräkuormalla tai nosturilla ja kouralla. Askelsyötin syöttää tavaraa murskaimelle kapasiteettioptimoidusti. Tämä perustuu murskaimen syöttösuppilossa olevaan radiometriseen pinnan mittaukseen ja pitää huolen siitä, että murskaimen kidassa on aina materiaalia riittävästi.



Kuva 2.2 Vastaanotettu jäte siirtyy askelsyötimeltä murskaimelle

Murskaimen tarkoitus on pienentää jäte prosessissa haluttuun palakokoon. Palakoko määritellään seulonnan avulla. Riippuen halutusta lopputuloksesta voidaan varsinaisen päämurskan lisäksi käyttää jälkimurskainta. Jälkimurskaimella palakokoa saadaan pienennettyä entisestään. Pientä palakokoa tarvitaan sementtiteollisuuden sovellutuksissa.

Myös esimurskaus on mahdollista ja sitä käytetään yleensä pussien ja säkkien sekä muiden vastaavien repimiseksi auki. Esimurskausta käytetään myös isomman tavaran pienentämiseksi karkeaan palakokoon, esimerkiksi rakennusjätteen mukana tulevat levymäiset kappaleet.

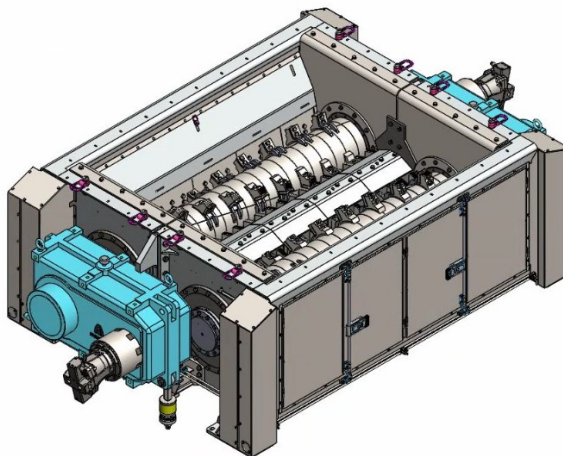
Jätteestä erotellaan myös ei-toivotut materiaalit pois erilaisin erottelumenetelmin. Seulonnalla saadaan materiaalista erotettua pois hiekka ja lasi, jotka palamattomina materiaaleina kerääntyisivät voimalaitosten kattilaan haitaten prosessia. Esimurskauksen yhteydessä on mahdollista poistaa biojätettä rumpuseulalla. BMH ei itse valmista rumpuseuloja, vaan tarvittaessa ne hankitaan alihankkijoilta. Muita eroteltavia materiaaleja ovat magneettiset metallit, jotka saadaan erotettua prosessista magneettierottimen avulla. Ei-magneettiset materiaalit, kuten alumiini, poistetaan pyörrevirtaerottimen avulla.

Jäte kuljetetaan murskauksen jälkeen joko ketju- tai hinnakuljettimilla eri erotteluasemille. Lopuksi valmis jätteestä tehty polttoaine kuljetetaan varastosiiloon tai bunkkeriin odottamaan käyttöä.

3 NYKYINEN RATKAISU

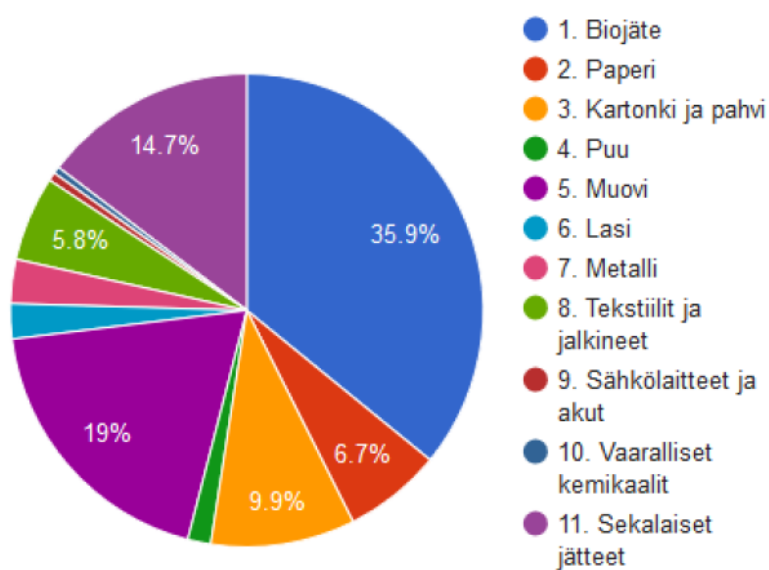
Yrityksen jätemurskaimet on perinteisesti toteutettu hydraulisina. Hydraulisissa järjestelmissä energiaa siirretään ja ohjataan paineenalaisen väliaineen välityksellä. (Pere, 2016, 15–1) Asiakasvaatimusten ohjaamana yritys on kuitenkin päättänyt kehittää muutamiin avainlaitteisiin myös vaihtoehdoisen sähkökäyttöratkaisun. Syynä tähän on asiakaskunnan tuntemukset hydraulisista hankalana ja kalliina. Sähkökäyttöratkaisu

koskee vain murskaimen roottorin pyöritystä: aputoiminnot kuten seulaverkkojen ja suojaovien avaaminen on yhä tarkoitus suorittaa hydraulilla. Näihin tarvittava paine ja tilavuusvirta ovat kuitenkin niin pienet, että tarvittavan koneikon hinta pysyy edullisena. Lisäksi koneikon fyysinen koko on pieni, joten se pystytään sijoittamaan suoraan laitteen läheisyyteen.



Kuva 3.1 Hydraulikkakäyttöinen T8805

Opinnäytetyön aiheena oleva T8805-murskain (kuva 3.1) on ideaalinen lajittelemattoman yhdyskuntajätteen eli MSW:n murskaamiseen. Murskaimen kehityksessä on otettu huomioon, ettei jäte ole homogeenistä materiaalia, murskaimen ICS (Intelligent Control System) optimoi murskainta ajon aikana perustuen erilaisiin parametreihin, kuten roottorin kuormitukseen. Erään yhdyskuntajätejakeen koostumus on eriteltyinä kuvassa 3.2.



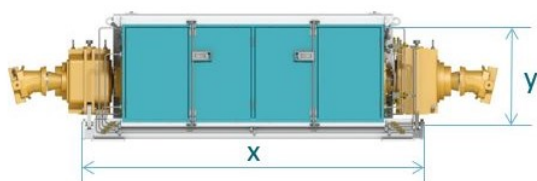
Kuva 3.2 Sekajätteen koostumus (Yhteiskuntajätteen materiaalikierrätyksen lisääminen. n.d., 5)

Kyseinen murskain on tarkoitettu vaikeisiin olosuhteisiin ja tämän vuoksi alkuperäisenä käyttövoimana hydraulikka on ollut sopiva ratkaisu. Yrityksessä kokemusta pidemmältä ajalta hydraulikkakäyttöisistä murskaimista. Hydraulikan valmistajana toimii toimittaja A.

Murskainta on kolme eri leveysvarianttia, mallinumeron viimeinen numero kertoo vastateräkasettien määrän per roottori. T8805 murskaimen tyypillinen kapasiteetti on noin 45–55 tonnia tunnissa, kun jätteen ominaispaino on noin 300 kg tunnissa.

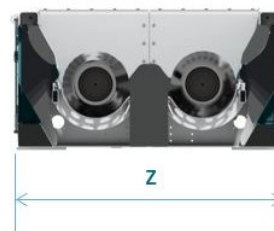
Taulukko 1 T880X yleiset tiedot

T880X GENERAL INFORMATION



MAIN FEATURES

Model	T8804	T8805	T8806
Length X [mm]	3600	4150	4700
Height Y [mm]	1560	1560	1560
Width Z [mm]	3120	3120	3120
Active shredding area [m]	2.2*2.1	2.7*2.1	3.2*2.1
Weight with gearbox [t]	22	25	28



TECHNICAL DATA

Model	T8804	T8805	T8806
Power transmission	Hydraulic		
Rotor speed [rpm]	0-58		
Rotor diameter [mm]	750		
Power [kW]	2*132	2*160	2*200
Rotor knives	2*22	2*28	2*34
Counter knife cassettes	2*4	2*5	2*6

Subject to changes without notice

Murskaimen ominaisuuksiin kuuluu kaksinopeustoiminto, jolloin roottoria voidaan pyörittää kahdella eri momentilla ja nopeudella. Vakioasetuksena murskainta ajetaan hydraulikkamoottorin pienemmällä tilavuudella, jolloin käytössä on suurempi kierrosnopeus ja pienempi momentti. Roottorin mennessä jumitilanteeseen, DCS eli ohjausjärjestelmä antaa peruutuskäskyn ja roottori yrittää lähteä kolme kertaa liikkeelle. Jollei tämä onnistu, siirtyy ohjelma suuremmalle momentille ja pienemmälle

pyörimisnopeudelle. Tämä tapahtuu muuttamalla käytössä olevan kaksinopeus hydraulikkamoottorin tilavuus suuremmaksi. Automaatioon on rakennettu myös puhdistusohjelma, joka tietyin aikaväleihin pyöräyttää roottoreja takaperin. Kumpikin roottori on itsenäinen yksikkö, joten jumitilanne toisessa ei vaikuta kuin kyseisen roottorin toimintaan. Murskaimen kidan täyttöastetta seurataan radiometrisellä pinnanmittauksella ja ohjelma valvoo kuormaa roottoreilla hydrauliiikan paineesta.

Murskaimen roottorin käyttövoima saadaan hydraulikkakoneikolta (kuva 3.3), joka on sijoitettu omaan hydraulikkahuoneeseen. Koneikon pääpumppuina toimivat 355cc:n pumput, joita on yksi per roottori. Pumppuja pyörittävät 160 kW sähkömoottorit, joiden nimellisyörimisnopeudella 1450rpm pystytään tuottamaan noin 510 l/min tilavuusvirta. Tilavuusvirta kuvaa kuinka paljon hydraulikkaöljyä virtaa minuutin aikana tietyn kohdan läpi. Tilavuusvirta määrittelee hydraulikassa toimilaitteen nopeuden ja paine kuinka paljon kuormaa pystytään käsittelemään. (Hydrauliikan perusteet 2002, 4) Koneikon maksimipaine on asetettu painerajoitusventtiileihin 260 bariin tasolle. Paineen ylittäessä asetetun arvon painerajoitusventtiili purkaa paineen säiliöön. Pääpumpun kanssa samalle akselille on asennettu 80 cc latauspumppu. Latauspumpun tarkoitus on täyttää suljettua roottorin hydraulikkapiiriä, koska vajetta syntyy mm. moottorien kotelovuotolinjoissa. Latauspumppu kierrättää myös öljyä painesuodattimen sekä lauhduttimen kautta.



Kuva 3.3 Hydraulikkakoneikko

Hydrauliöljyä varten on 2000 litran säiliö. Pumppujen tuottama paine ja tilavuusvirta siirretään ulkoista putkistoa pitkin hydrauliikkahuoneesta murskaimelle. Murskaimella hydrauliikkamoottori muuttaa hydraulisen energian roottorin pyörimisliikkeeksi.

4 SÄHKÖISEN KÄYTTÖLAITTEEN MÄÄRITTELY

Sähköisen käyttölaitteen määrittelyn aloitin keräämällä mahdollisimman kattavasti lähtötietoja hydrauliikkakäyttöisestä murskaimesta. Nämä tiedot antaisivat suuntaviivoja siihen, mihin suuntaan sähkökäyttöisen määrittely tulisi viedä, mitä ominaisuuksia menetetään ja mitä vastaavasti saavutetaan. Koska toimitettujen laitteiden määrä on pieni ja tiedot ovat hajanaisesti ympäri eri järjestelmiä ja sähköposteja, aiheutti tämä vaihe erityisen paljon työtä. Haastattelin henkilöitä, jotka ovat olleet murskaimen testiajoissa ja käyttöönotossa, sekä etsin testiajopöytäkirjoja ja mittadataa. Lisäksi automaatio – ja sähköosaston avulla sain tietoa murskaimen ohjaamisen käytetystä logiikkaohjelmasta. Ohjelmasta selvisi, miten murskainta on ohjattu mm. nopeustiedon osalta.

4.1 Pyörimisnopeudet ja momentit

Seuraava selvitettävä osa-alue oli roottorin pyörimisnopeus sekä hydrauliikkakäytöllä saavutettavat momentit. Selvitystyön aikana kävi ilmi, että laitteeseen tilattujen vaihdelaatikoiden välityssuhde on todellisuudessa eri kuin alkuperäisessä suunnitteluvaiheessa määriteltä. Tämä virhe johtuu PDM järjestelmässä olevasta ristiriitaisesta nimiketiedosta, jota ei aiemmin ollut huomattu. Tämän tiedon löytyminen valaisi miksi teoreettiset lasketut pyörimisnopeudet eivät täysin täsmänneet.

Nettokierrostilavuus on tilavuus, joka tarvitaan roottorin pyörittämiseen yhden kierroksen verran. Kyseessä olevan moottorin kierrostilavuus on 355cc. Tämä on yhtä moottorin akselin kierrosta varten vaadittava tilavuus. Kun tämä kerrotaan vaihdelaatikon välityssuhteella, saadaan roottorin yhtä kierrosta vastaava nestetilavuus, joka on 15975cc. Jaetaan koneikon tuottama 510 l/min = 510000 cc/min tilavuusvirta moottorin kierrostilavuudella, saadaan moottorin kierrosnopeudeksi noin 1450rpm. Saatu kierrosnopeus jaetaan vaihdelaatikon välityssuhteella, jotta saadaan roottorin teoreettinen pyörimisnopeus. Tämä on noin 32rpm suurimmalla moottorin tilavuudella. Suurimmalla tilavuudella saadaan aikaiseksi myös suurin vääntömomentti. Murskaimen kehitysvaiheen jälkeisten koeajojen hydrauliiikan käyttöönottoraportista löysin tiedon, että suurin roottorin pyörimisnopeus noin 51 rpm:ään. Välityssuhteella 45 hydrauliiikkamoottorin akselin kierrosluku on siis 2295 rpm. Hydrauliiikan nopeuden kaavasta ratkaisin pienemmän momentin ja suuremman nopeuden säätötilavuuden. Kaavassa q_v on tilavuusvirta litroina per minuutti ja η_v volymetrinen hyötysuhde.

$$v_g = \frac{q_v \cdot 1000 \cdot \eta_v}{n} = \frac{510 \cdot 1000 \cdot 0,95}{2295} = 211 \text{cc}$$

Laskelmien perusteella kierrostilavuus v_g oli asetettu noin 210cc.

Roottorilla saavutettava maksimimomentti T saadaan laskettua alla olevasta hydrauliiikan vääntömomentin kaavasta. Kaavassa V_g on moottorin kierrostilavuus kuutiosentteinä, Δp paine-ero bareina ja η_{mh} hydraulismekaaninen hyötysuhde. Paine-eron tapauksessa järjestelmän maksimipaineesta 260 barista pitää vähentää latauspumpun paine, joka on 15 bar.

$$T = \frac{v_g \cdot \Delta p \cdot \eta_{mh}}{20\pi} = \frac{355 \cdot 245 \cdot 0,95}{20 \cdot \pi} = 1315 \text{ Nm}$$

Tämä momentti kasvaa vaihdelaatikon välityssuhteen mukaisesti 45-kertaiseksi toisioakselille, jolloin teoreettinen maksimimomentti on 59175 Nm.

4.2 Ylikuormakytkin

Yrityksessä on sisäiseen käyttöön tehty ohjelma, jonka avulla voidaan arvioida roottorikäyttöjä erilaisten kuormien osalta. Ohjelman käyttämiseksi tarvitaan lähtötietoja, kuten roottorin pysäytysaika. T8805-murskaimen pysäytysaikoja on mitattu alkupe-
räisissä koeajoissa venymäliuskamittauksella. Mittausdatasta voidaan katsoa tietyn mittapisteen venymään liittynyt ajanjakso. Testitilanteessa murskaimen keskipalkin venymän nousuaika maksimiin kuvaa aikaa, jossa roottori pysähtyy. Mittaukset on tehty murtotapilla sekä yhdyskuntajätteellä. Mittausdatat liitteessä 1.

Ohjelmaan syötettäviä arvoja ovat roottorin hitausmomentti ja pyörimisnopeus, moottorin hitausmomentti ja vääntömomentti sekä vaihdelaatikon välityssuhde. Roottoria on revisioitu ja vaihdelaatikon välityssuhde on eri, joten laskin hydraulikkakäyttöisen murskaimen tiedot uudelleen. Todellisen pysähtymisajan ollessa tiedossa, voidaan ohjelmalla hakea teoreettinen kuorman momentti vastaamaan pysähdysaikaa. Lisäksi ohjelma ilmoittaa pysähtymisen jälkeisen loppukulman, joka vastaa momenttituelta tarvittavaa joustoa. Loppukulman muuttaminen liikematkaksi onnistuu, kun etäisyys akselin keskipisteestä momenttituen kiinnityspisteeseen on tiedossa. SolidWorksillä mallista mitaamani säde oli noin 1150 mm, josta saadaan laskettua ympyrän kehän mitta kaavalla $C=2\pi r$. Jakamalla tuloksen 360:lla saadaan yhtä astetta vastaava liike-
matka. Kyseisellä vaihteella joustomatka on 20 mm yhtä astetta kohden.

Vakion pysäytysajan tuloksista näkee kuinka kuorman momentti kasvaa yli 9 kertaiseksi oikosulkumoottorilla verratessa hydraulikkamoottoriin. Tahtireluktanssimoottorilla kuorman momentti nousee noin 2.2 kertaiseksi. Vakion kuorman momentin tuloksista näkee, että kuorman momentin pysyessä samana tarvittaisiin oikosulkumoottorilla yli 800 mm joustomatka momenttituelta ja tahtireluktanssimoottorilta vastaavasti noin 140 mm joustomatka. Tarkat tulokset on esitetty liitteessä 1.

Tulosten perusteella on pääteltävissä, että sähkökäyttöisessä murskaimessa on oltava ylikuormakytkin jumitilanteiden varalta. Roottorin pysähtyessä täydestä nopeudestaan ilman ylikuormakytkintä tai tarvittavaa joustoa momenttituessa hajoaa vaihdelaatikon ensiöpuoli, tai vaihdelaatikko halkeaa. Yleisesti käytetyn oikosulkumoottorin inertia esimerkkilaskuissa on 35ertainen verrattuna hydraulikkamoottorin inertiaan. Inertia

eli hitausmomentti kuvaa kappaleen kykyä vastustaa pyörimisliikkeen muutosta. (Hitausmomentti n.d.,1) Projektiin valikoitunut ylikuormakytkin esitellään liitteessä 2.

4.3 Sähkömoottori ja vaihdelaatikko

Sähkökäytön komponentteja valitessa on hyvä ottaa huomioon mahdollisuus käyttää samoja komponentteja useammassa laitteessa. Tämä johtaa siihen, että hintoja saadaan yleensä alas volyymin kasvaessa, ja mahdollisia varaosia varastoidessa ei tarvitse olla useita eri nimikkeitä vaan pärjätään vähemmällä.

Käyttölaitteen osalta kyseessä on prototyyppi, joten varsinkin sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan mitoituksessa olisi hyvä ylimääräistä reserviä. Esimerkiksi tilanne, jossa moottori ja taajuusmuuntaja on valittu tietylle momentille. Kyseinen momentti on jo valmiiksi käyttöalueen aivan yläpäässä. Murskain käyttöön otettaessa toimivat moottori ja taajuusmuuntaja jo täydellä kuormituksella, mutta voima ei riitäkään murskaamiseen. Tämänkaltaisessa tilanteessa voitaisiin esimerkiksi virtarajoja nostaa suuremman momentin aikaan saamiseksi, kunhan komponenttien mitoituksessa on varaa. Jos taas käytännön kokemus jatkossa osoittaa, ettei ylimitoitukselle ole tarvetta, voidaan komponentteja arvioida uudelleen ja pienentää. Moottorin väännön rajoituksena on ylikuormakytkimen pitokyky, jolloin huippuväännön pitää pysyä alle tämän arvon.

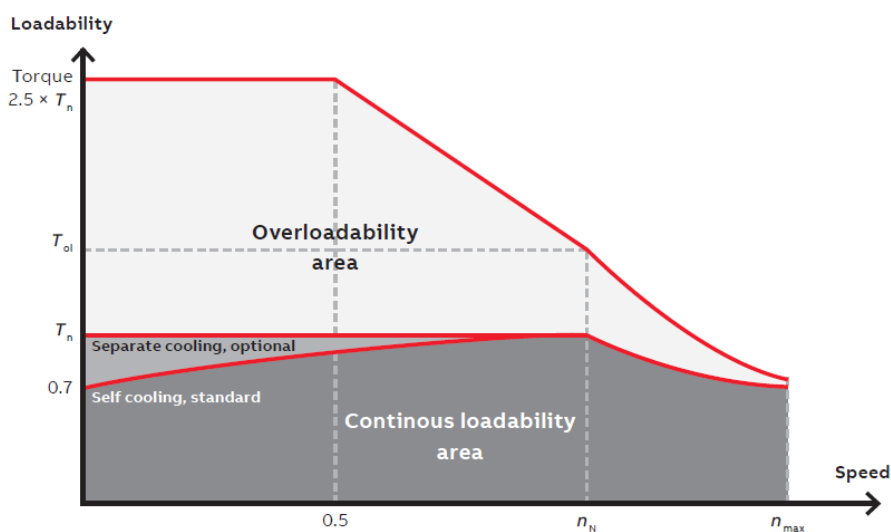
Koostin toimittajille yhteenvedon, joka koostui eri komponenttien hitausmassoista, pyörimisnopeuksista sekä välityssuhteesta. Hitausmassat on kerätty SolidWorksin Mass properties-välilehdeltä sekä toimittajien datalehdistä. Moottorin pyörimisnopeus on teoreettinen alue, jolla murskatessa toimitaan. Lähtötietoihin onkin täsmennetty hydraulikkakoneikon suorituskyvyistä lasketut nopeudet kummallakin momenttialueella. Lisäksi lähtötiedoissa oli liitteenä kapasiteettiajoista tallennettu painejakauma, josta pystyy arvioimaan kuormitusta todellisessa käytössä. Muunsin painearvot 50 bariin välein momenteiksi. Yhteenvedon tiedot liitteessä 3.

4.4 Toimittajien tarjoukset

Sähkökäyttöratkaisut on suunniteltu perustuvan liitteessä 2 esitellyn ylikuormakyt-
men ympärille, joka on jo otettu käyttöön. Kyseinen konsepti on tuttu toimittajille,
joilta tarjousta kyseltiin.

Toimittaja B:n kanssa käydyissä Teams-palavereissa keskustelimme erilaisista moot-
toreista ja niiden mitoituksista kyseiseen sovellukseen, ja siitä onko kaksinopeus toi-
minto mahdollista tai järkevää toteuttaa sähköisesti. Ylikuormakytintä käyttäviin so-
velluksiin paras vaihtoehto inertian suhteen on tahtireluktanssimoottori, jonka inertia
on huomattavasti oikosulkusulkumoottoria pienempi. Tahtireluktanssimoottorin
huono puoli on oikosulkumoottoria pienempi tehokerroin, minkä vuoksi se vaatii oi-
kosulkumoottoria enemmän virtaa.

Sähkömoottorille on mahdollista tehdä taajuusmuuntajaan portaaton momentinsäätö,
joka seuraa moottorin kuormaa mittaamalla sen virtaa. Tämä toiminto laskee mootto-
rin kierroksia ja tätä myöden mahdollistaa suuremmalla ylimomentilla kuormittami-
sen. Ylimomentin määrään vaikuttaa merkittävästi taajuusmuuntajan virtaraja ja ky-
seiseen sovellukseen mietittiin kolmea eri mallia. Näistä suurin ei ole merkittävästi
kalliimpi kuin pienemmät versiot, mutta tarjoaa huomattavasti suuremman virtarajan.
Kuormitettavuuskäyrä (kuva 4.1) kuvaa tahtireluktanssimoottorin käyttäytymistä.
Vaaleanharmaa ylikuormitettavuusalue tarjoaa jopa yli 2.5 kertaa nimellismomentin
kierrosluvun laskiessa.



Kuva 4.1 Tahtireluktanssimoottorin kuormitettavuus (IE4 SynRM motor-drive packages 2018, 5)

Toimittaja B:n moottorin kanssa oli suunniteltu käytettävän toimittaja C:n vaihdelaatikkoo. Toimittaja C:n kanssa käytyjen keskustelujen perusteella heidän ehdotuksensa käyttölaitteeseen oli vaihdelaatikko, joka on jo käytössä biopuolen ylitemurskaimissa. T8805-sovelluksessa on suurempi moottori, joten vaihdelaatikkoon on lisätty öljynlauhdutin. Öljynlauhduttimen kanssa lämpötila saadaan pysymään kaikissa käyttötilanteissa kurissa.

Toimittaja D:n kanssa asiaa käytiin lävitse sähköpostitse. Toimittaja D:n toimitussältöön kuuluu sekä moottori että vaihdelaatikko. Lähtötietojen lisäksi täytin heidän lisätietokyselynsä, joka toimi heidän suunnittelunsa pohjana.

5 SÄHKÖISEN KÄYTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU

Käyttölaitteen suunnittelu pääsi alkuun, kun tarvittavat komponentit oli saatu määritettyä ja niistä oli saatu tarjoukset sekä 3D-mallit. Käyttölaitteen suunnittelussa huomioon otettavia asioita on roottorin akselin sovittaminen käyttölaitteeseen sopivaksi sekä momenttitukiratkaisun suunnitteleminen vaihdelaatikolle. Momenttituen tarkoitus on kiinnittää vaihdelaatikko kiinni murskaimen runkoon ja estää sen kiertyminen akselin mukana. Momenttituessa olevat joustoelementit vaimentavat iskuja ja ovat tärkeä osa momenttituen toimintaa. Seuraavat kappaleet kuvaavat toimittajien B ja C komponenteista koostuvan käyttölaitteen suunnittelua. Heidän tarjouksensa oli ensimmäisenä valmiina jatkotyöstöä varten. Työn laajuudesta ja samankaltaisuudesta johdettua ei vaihtoehtoisia käyttölaitteita käsitellä suunnittelun osalta.

5.1 Akselin ja laakeroinnin suunnittelu

Akselin ja laipan materiaalina käytetään S355J2G3:sta, joka on rakenneteräs. Sen myötölujuus on 355 N/mm^2 ja murtolujuus vähintään 510 N/mm^2 . Iskusitkeys on 27 joulea. Vääntömomentin aiheuttama maksimi leikkausjännitys saadaan laskettua alla olevalla kaavalla, jossa T = vääntömomentti ja W_v vääntövastus. Akselin halkaisija

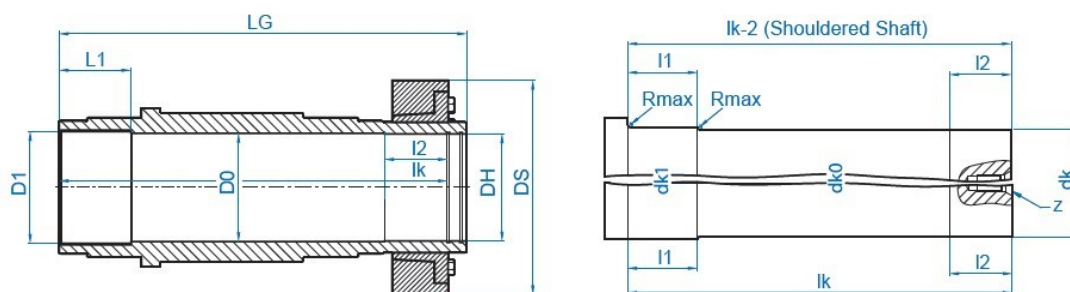
pienimmillään on 190 mm. Käyttämällä pienintä halkaisijaa saadaan laskettua suurin leikkausjännitys. Vääntömomentin arvona on käytetty täyspysähdyksen kuorman momenttia N/mm^2 :nä.

$$\tau = \frac{T}{w_v} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 150132 \cdot 10^3}{\pi \cdot 190^3} = 111.5 \text{ N/mm}^2$$

Tuloksesta nähdään, että materiaalin kestävyys on riittävä sovellutukseen. Dynaamisesti kuormitetuissa hitsatuissa rakenteissa lujien terästen käytöstä ei ole vastaavaa hyötyä, koska hitsatun rakenteen väsymislujuus on riippumaton teräksen lujuudesta. Hitsaamattomissa rakenneosissa väsymislujuus on verrannollinen teräksen murtolujuuteen, joten lujien terästen käyttö näissä tapauksissa on jälleen edullista. (Björk ym. 2014, 94)

Roottorin käyttöpään akselin suunnittelu oli hyvin suoraviivainen, sillä tarvittavat mitoitustiedot löytyvät valmistajien datalehdistä (kuva 5.1).

AS - Shrink Disc Hollow Shaft



Kuva 5.1 Esimerkki akselin mitoitustiedoista (MaxxdriveTM Large Industrial Gear Units. n.d., 157)

5.1.1 Akselin ja navan puristusliitos

Akseli kiinnittyy napaan puristusliitoksella ja se muodostaa kitkasulkeisen liitoksen. Kitkasulkeisissa liitoksissa liitoselementin tehtävänä on aikaansaada ja varmistaa navan ja akselin välille niin suuri säteen suuntainen pintapaine, että momentin siirto tapahtuu kitkavoimien avulla. (Blom ym. 1999, 93) Standardissa SFS 5595 esitetään laskukaavat puristusliitoksen vääntömomentin siirtokykyyn. Päätin tarkistaa kyseisen

liitoksen momentin siirtokyvyn, vaikka suunnitteluperusteena oli jo käytössä todetut momentit.

Laskennassa tarvittavia kaavoja on halkaisijasuhteen Q_A kaava, jossa D_aA on navan ulkohalkaisija ja D_F liitoksen nimellishalkaisija millimetreinä:

$$Q_A = \frac{DF}{DaA} = \frac{290}{540} = 0.537$$

Suhteellisen tehollisen ahdistuksen ξ_w kaava, jossa P_w on liitoksen ahdistus millimetreinä. Sovitepari on akselilla t6 ja laipalla H6 Ahdistus saadaan vähentämällä askelin t6 soviteen alarajamitasta laipan H6 soviteen ylärajamitta. Näin valituilla arvoilla saadaan laskettua kyseisten sovitteiden heikoin momentin siirtokyky.

$$\xi_w = \frac{|P_w|}{D_F} = \frac{0,240-0,032}{290} = 0.0007172414$$

Suhteellisen tehollisen ahdistuksen avulla kyetään ratkaisemaan pintapaine p standardin kaavalla 25. Kyseistä kaavaa käytetään, kun akselin ja navan kimmokertoimet ovat yhtä suuret. E_A on kimmomoduuli, joka on teräksellä 210000 MPa.

$$p = \frac{1 - Q_A^2}{2} \cdot E \cdot \xi_w = \frac{1 - 0.537^2}{2} \cdot 210000 \cdot 0.0007172414$$

$$= 53.593$$

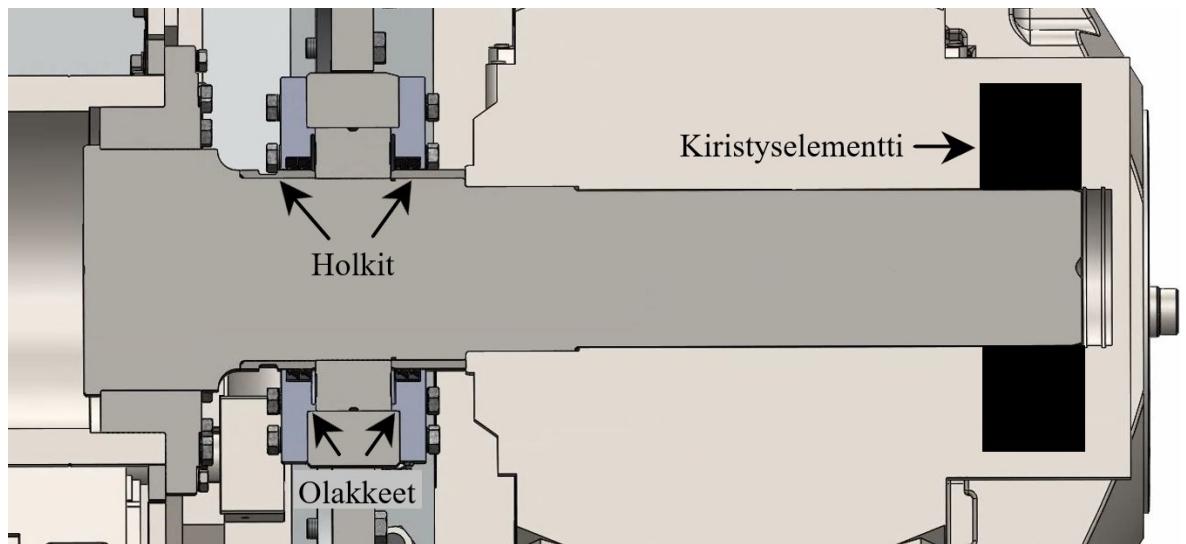
Lopuksi pintapaineen avulla voidaan ratkaista vääntömomentin siirtokyky T kaavasta, jossa l_F laipan paksuus millimetreinä, v_{ru} tartuntakerroin ja S_r varmuusluku liukumiseen nähden. Varmuusluvuksi valitsin arvon 1. Tartuntakertoimeksi valitsin standardissa esitetystä taulukosta teräs - teräs materiaaliparille normaalin paineöljyliitoksen liitetynä mineraaliöljyllä. Tartuntakertoimen arvoksi tuli 0,12.

$$T = \frac{\pi}{2} D_F^2 l_F v_{ru} \frac{p}{S_r} = \frac{\pi}{2} \cdot 290^2 \cdot 120 \cdot \frac{53.593}{1}$$

$$= 849\,581\,775 \text{ Nmm}$$

Liitoksen vääntömomentin siirtokyky on noin 850kNm. Murtotapilla pysäytetystä roottorista laskettu kuorman momentti hydraulikkakäyttöisessä murskaimessa oli noin 150kNm, joten varmuuskerroin on 5,6.

Akselin mitat pysyivät samana sekä laakeroinnin että laakeripesän kannen tiivistyspintojen suhteen. Pyörivää koneen osaa varten pitää olla laakerointi. Roottorin käyttöpään laakeri suunnitellaan ohjaavaksi (kuva 5.2) ja se ohjaa roottoria myös aksiaalisesti. (SKF bearing maintenance book 2011, 30) Jotta kyseinen käyttöpään laakeri saadaan ohjaavaksi, pitää itse laakeri sekä roottorin akseli saada kiinnitettyä. Laakeripesän sekä pesän kannen olakkeet pitävät laakerin paikallaan pesään nähden.



Kuva 5.2 Ohjaavan laakeroinnin rakenne

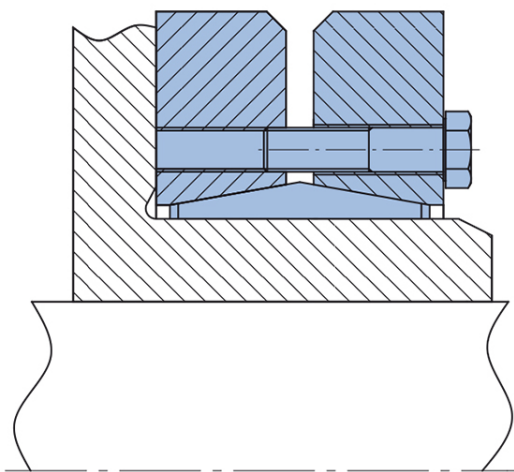
Roottorin akselille asennetaan holkit, joista taaempi paikoittaa laakeripesän oikealle etäisyydelle runkoon ja roottoriin nähden. Taaempi holkki tukeutuu akselin olakkeeseen laakerin sisärenkaaseen. Etummainen holkki paikoittaa vaihdelaatikon kohdalleen momenttitukeen nähden ja se tukeutuu laakerin sisärenkaaseen ja vaihdelaatikon holkkiakseliin. Akselin ja vaihdelaatikon mitoituksen muututtua tarvitsi pesän etupuolinen holkki suunnitella uusiksi.

Laakerit pysyivät samoina koska niiden kuormitukset eivät ole muuttuneet. Täysin uuden laitteen laakeroinnin suunnittelussa hyvänä apuna toimivat laakerivalmistajien opaat. SKF:llä on laakerin valintaan kahdeksan portainen ohjelma (kuva 5.3)



Kuva 5.3 Laakerin valinta prosessi (SKF www-sivut 2021)

Vaihdelaatikon kiinnitys akselille tapahtuu kiristyslementin avulla. Kiristyslementin pultit kiristetään valmistajan ilmoittamaan momenttiin, ja kiristyslementin sisäinen kiilamainen rakenne muodostaa vaihdelaatikon holkin ja akselin välille purettavissa olevan puristusliitoksen (kuva 5.4). Vaihdetta asennettaessa koko paketti kiristetään kierretangon ja hydraulikkakäyttöisen reikäsylinterin avulla välyksettömäksi. Kiristyslementin kiinnittämisen jälkeen liitos aksiaalisuunnassa välyksetön ja erittäin pitävä aksiaalisesti ja radiaalisesti. Liitos on myös tarvittaessa purettavissa huollon yhteydessä. Kiristyslementti on pääasiallinen roottorin akselien yhdistämistapa vaihdelaatikoihin BMH:n murskaimissa. Vapaan pään laakeri ei ole olakkein lukittu laakeripesään, mikä mahdollistaa aksiaalisen liikkeen esimerkiksi lämpölaajenemisen vuoksi.



Kuva 5.4 Kiristyslementin rakenne (Ringfeder www-sivut 2021)

5.2 Momenttituen suunnittelu

Koolle kutsumassani palaverissa pohdimme momenttitukeen liittyviä teknisiä ratkaisuja. Palaverin osallistajat koostuivat BMH:n murskaryhmän jäsenistä sekä tuotekehityspäälliköstä. Pohdintojen aiheena oli käytettävien joustoelementtien tyyppi, käytetäänkö esimerkiksi uretaanipuslia vai lautasjousia. Muita käsiteltäviä aiheita listalla oli erityyppiset kiinnitysratkaisut.

Joustoelementtien valinta kallistui hyvin nopeasti lautasjousien puolelle, niistä on hyviä kokemuksia BMH:n isoimmista biomurskista. Näissä kumi- ja uretaanipuslat eivät ole kestäneet. Joustoelementteihin liittyen keskusteltiin myös lautasjousien sijoittamista kummallekin puolelle momenttivartta. Murskaus T8805:llä tapahtuu vain yhteen suuntaan, joten joustoa ei välttämättä tarvittaisi molempiin suuntiin. Käytössä on jo toimivia malleja kyseisellä ratkaisulla, eikä joustosta kahteen suuntaan ole haittaa, päädyttiin ratkaisuun yrittää hyödyntää jo olemassa olevia komponentteja.

Hydraulisessa versiossa momenttituki on kiinnittynyt murskaimen kannatusrakenteeseen, jossa on kiinni myös hoitotasoja ja rappusia. Koska kyseistä laitetta on tarkoitus myydä laitetoimituksena, kyseisen kaltaiset pukit tulevat usein asiakkaalta itseltään säästöjen vuoksi. Palaverin tuloksena päätimme, että momenttituki olisi hyvä saada kiinnitettyä laitteen runkoon. Laitteen rakenteesta johtuen momenttituen kiinnitys suoraan runkoon olisi haastava, joten ratkaisua lähdettiin hakemaan momenttikohdasta. Vastaavanlaista konstruktiota käytetään pienemmissä murskaimissa, joissa ei ole tilaa muunlaisille kiinnityksille.

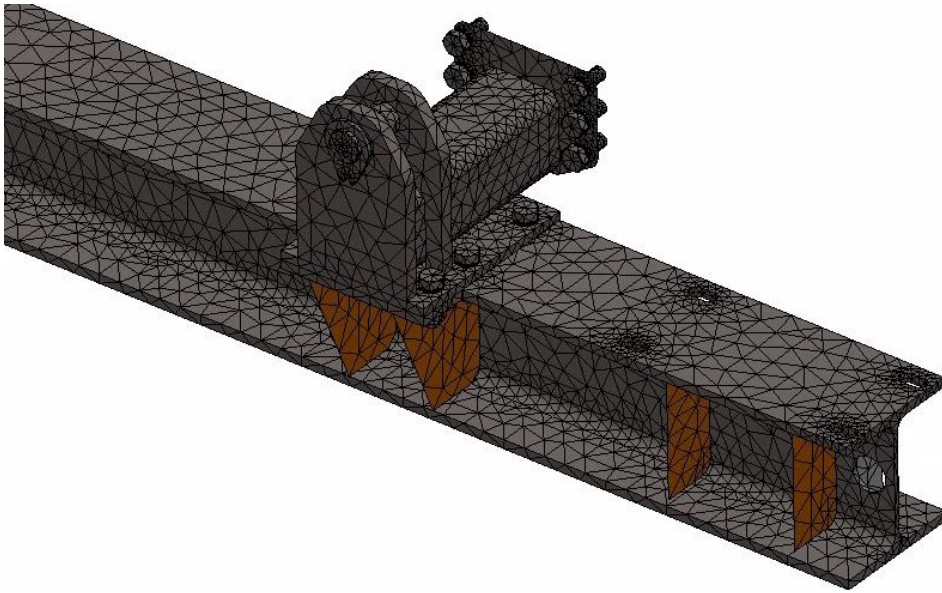
Itse momenttituen tapauksessa ratkaisuksi valikoitui mieluummin sovittaa jo aiemmin toimivaksi todettuja ratkaisuja. Toimittaja B:n vaihdelaatikkoa on jo käytetty BMH:n murskainsovelluksessa ja siihen on suunniteltu momenttituki. Kyseinen momenttituki on jatkojalostettu versio edellisestä mallista, nykyinen on ideoitu ja suunniteltu omien kokoonpanokokemusten sekä työmaalta saadun palautteen perusteella. Momenttituen momenttivarsi on varustettu lautasjousin kummallakin puolella kiinnityspistettä ja se voi ottaa vastaan sekä veto - että työntökuormitusta. Momenttivarren rakenne on esitelty liitteessä 4.

Momenttikehän perustaksi valikoitui HEB 320-palkki, joka sopi kooltaan murskaimen omiin jalkalappuihin täydellisesti. Palkin ja siihen hitsattavien osien materiaalina on myös aiemmin käsitelty S355J2. HEB-palkki on eurooppalaisen standardin mukainen B-tyypin leveälappainen palkki. HEB-palkin uuma ja laipat ovat paksumpia kuin HEA-palkissa. HEB-palkeilla on suurempi jäykkyys sekä pitkittäin, että aksiaalisesti kuin HEA-palkeilla ja ne kestävät näin paremmin taivutusta. (Tibnor www-sivut 2021) Momenttivarren kiinnityspiste tuli lähelle toisen roottorin vapaan pään laakeria ja se on huoltotoimien tiellä. Jotta huoltotoimet olisi mahdollista suorittaa sujuvasti ilman kiinteiden rakenteiden irti leikkaamisia, piti laakeripesän eteen tuleva osuus saada irrotettavaksi.

Tämä toteutettiin pulttikiinnityksellä sekä HEB palkkiin, että murskaimen runkoon. Palkkiin lisätiin myös polviot momenttituen kohdalle sekä murskaimen jalkalappujen kohdalle lisätiin jäykisteet palkin uumaan.

5.2.1 Momenttikehän FEM-analyysi

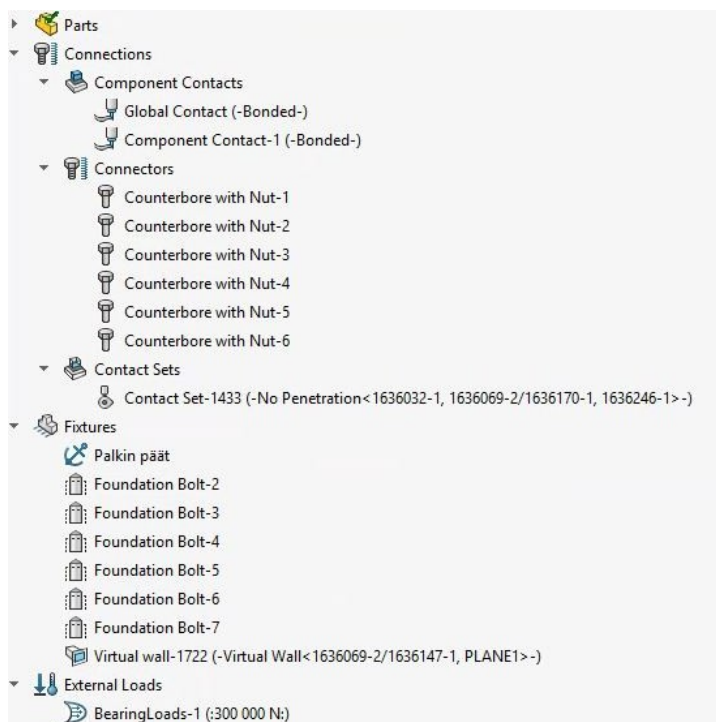
Momenttikehän palkin taipumaa ja lujuutta arvioin SolidWorksin FEM-analyysillä. FEM on lyhenne sanoista Finite Element Method, josta suomenkielisenä terminä käytetään elementtimenetelmää. Elementtimenetelmässä kappaleeseen tehdään elementti-verkotus (kuva 5.5), joka jakaa geometrisesti mutkikkaan kappaleen äärellisiin osiin. Vierekkäiset elementit liittyvät toisiinsa solmuissa. Solmuihin liittyy lujuuslaskennan kannalta kiinnostavat siirtymä- ja voimasuureet. Laskelmien tulokset perustuvat solmusuureiden ratkaisuun ja lujuusopin perusteorioihin. (Lähtenmäki, n.d., 2)



Kuva 5.5 Momenttikehän elementtiverkotus

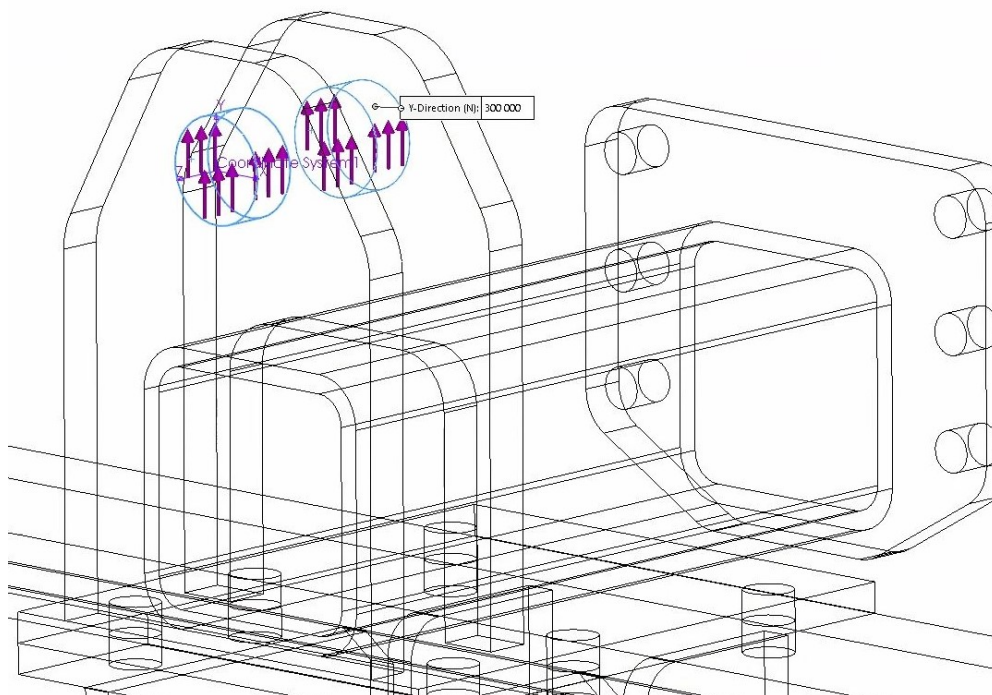
Palkin päihin tein split line-työkalulla murskaimen kiinnityslappujen kokoiset alueet sekä ylä- ja alapuolelle, josta palkki simulaatiossa kiinnitettiin Fixed-toiminnolla. Tämä vastaa tosielämän tilannetta, jossa palkki on kiinni murskaimessa ja siitä alaspäin jatkuu kannatusrakenne.

Irrotettava korvake kiinnitettiin palkkiin simulaatiossa M30 pulteilla ja muttereilla. Kiritysmomenttina käytettiin M30 8.8 pultin maksimikivistys momenttia, joka on 1480 Nm. Murskaimen runkoon kiinnitettävään päähän simuloitiin vastaavat peruspultit, jotka mallintavat kiinnitystä runkoon Muut osat kiinnitettiin simulaatiossa Global Contact Bonded-toiminnolla. Tämä simuloi osien kiinnittämistä riittävällä hitsaus-saumalla oikeassa tilanteessa.



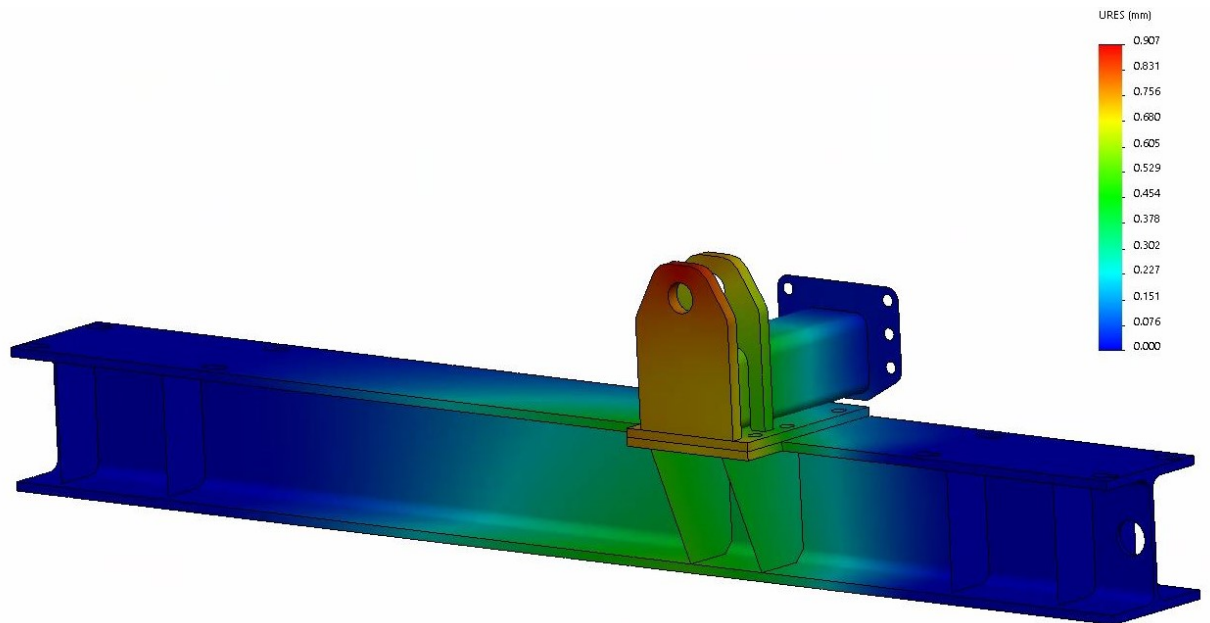
Kuva 5.6 Simulaation rakenne

Momenttituen korvalle tulevaksi kuormitukseksi annoin yläkanttiin olevan 300 kNm, ja tämä toteutettiin Bearing load-toiminnolla, jotta kuorma käyttäytyisi todellisen käyttötilanteen mukaisesti. Tätä varten piti reiälle määrittellä oma koordinaattijärjestelmä (kuva 5.7). Kuormitus tulee koko reiän alueelle, jos kuorman asettaa suoraan reikään. Se ei vastaa todellista tilannetta, jossa vetokuormitus kohdistuu suoraan ylöspäin.



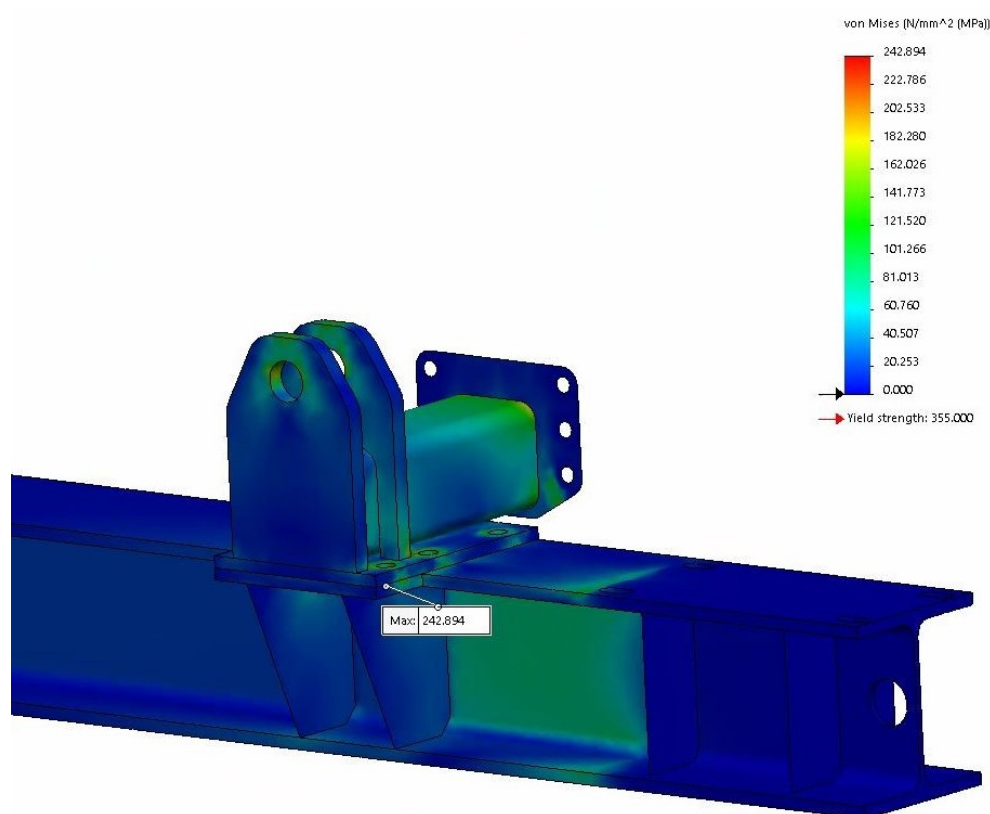
Kuva 5.7 Korvakkeen koordinaattijärjestelmä

Simulaation tulokseksi sain siirtymän osalta maksimissaan 0,907 mm:ä etummaisena korvakkeen yläosasta (kuva 5.8).



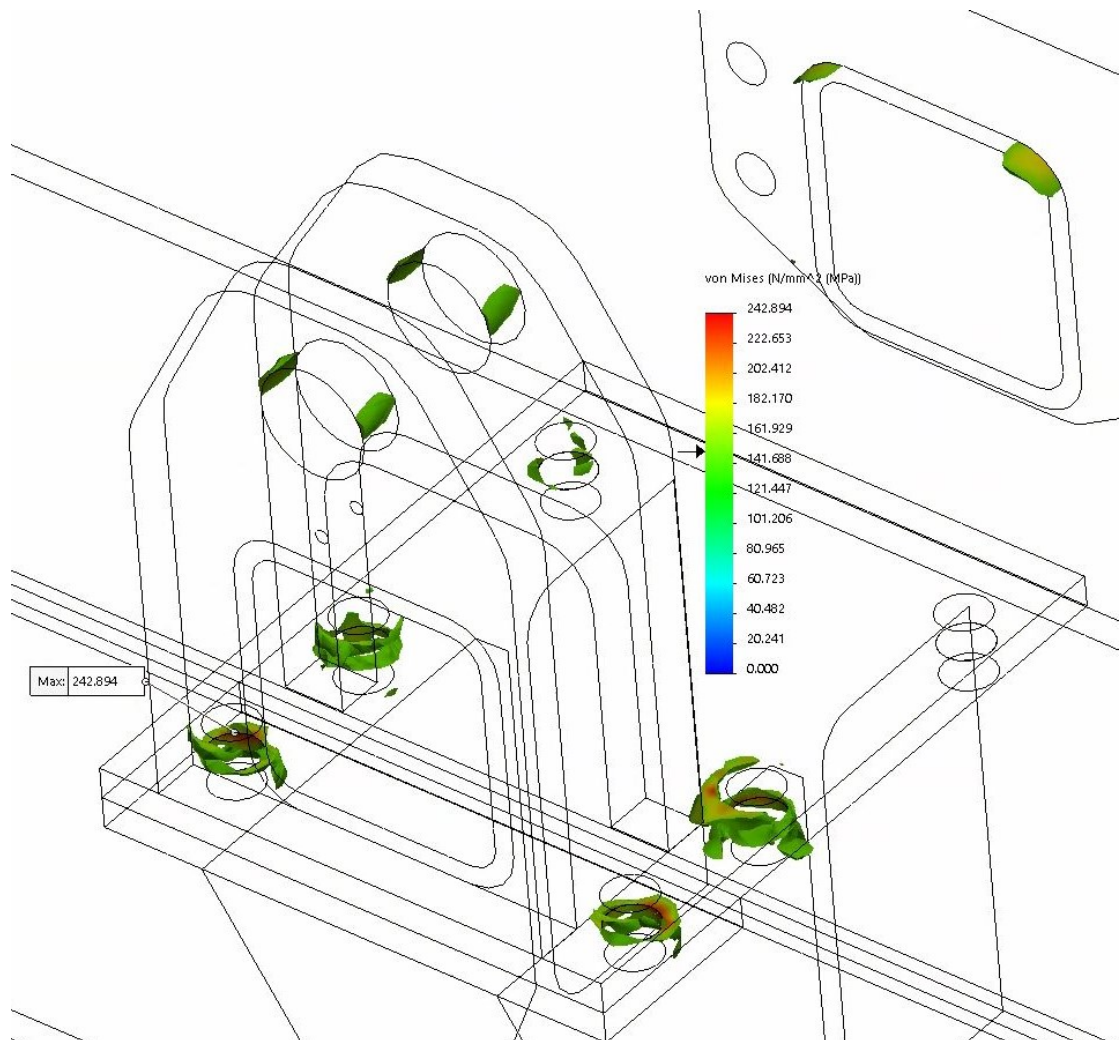
Kuva 5.8 Palkin siirtymä

Maksimi Von Mises jännitykseksi sain 243N/mm² (kuva 5.9).



Kuva 5.9 Maksimirasitus

Kuva 5.10 esittää paikat, joissa Von Mises jännitykset ylittävät arvon 150N/mm^2 . Huiput osuvat kiinnityspulttien reiän reunoille sekä runkoon tulevan palkin ylänurkissa. Jännityshuiput reikien reunoilla ja palkin nurkissa eivät vastaa täysin todellisuutta, vaan luultavimmin johtuvat elementtiverkosta ja sen virheistä kulmissa sekä reikien reunoilla.



Kuva 5.10 Yli 150N/mm^2 rasitukset

5.2.2 Hitsaussauman määrittely

Momenttituen korvakkeen hitsaussaumojen mitoituksen tarkasteluun käytin SFS-EN 1993-1-8 standardissa esitettyä yksinkertaistettua menetelmää pienahitsien kestävyysmäärittämiseksi. Menetelmän mukaan pienahitsin kestävyys voidaan olettaa riittäväksi, jos hitsin jokaisessa pisteessä sen pituudella hitsiin kohdistuva kaikkien voimien resultantti yksikköpituutta kohti täyttää ehdon $F_{w,Ed}$ on pienempi tai yhtä suuri kuin $F_{w,Rd}$. $F_{w,Ed}$ on hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvo ja

$F_{w,Rd}$ hitsin kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti. (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 47)

Hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvo lasketaan jakamalla hitsisaumaan vaikuttava voima hitsisauman pituudella. Mitoitus-arvona käytetään 300kN:ä ja korvakkeen hitsisauman yhteismitaksi muodostuu 1530 mm: ä. Standardin mukaan alle 50 mm pitkiä pienahitsejä ei oteta huomioon.

$$F_{w,Ed} = \frac{300000}{1530} = 196.1 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Seuraavaksi ratkaistava arvo $f_{vw.d}$ on hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo. Leikkauslujuuden mitoitusarvo saadaan ratkaistua alla olevasta kaavasta, jossa osavarmuusluku γ_{M2} , sekä korrelaatiokerroin β_w ovat taulukkoarvoja, f_u heikoimman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo N/mm^2 ja l pienahitsien pituus millimetreinä.

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0.9 \cdot 1.25} = 261.7 \text{ N/mm}^2$$

Hitsin kestävyuden mitoitusarvo saadaan laskettua seuraavalla kaavalla jossa a on hitsisauman nimellismitta millimetreinä:

$$F_{w,Rd} = f_{vw.d} a = 261.7 \cdot 6 = 1570 \text{ N/mm}^2$$

Standardissa määritelty ehto $F_{w,Ed}$ on pienempi tai yhtä suuri kuin $F_{w,Rd}$ täyttyy varmuuskertoimella 8 hitsisauman ollessa a -mitaltaan 6 mm:ä.

5.3 Moottorin, vaihdelaatikon ja ylikuomakytkimen osakokoonpano

Käyttölaitepaketista tein erillisen osakokoonpanon, johon sisältyy vaihdelaatikko, moottori sekä ylikuomakytkin. Lisäksi osakokoonpanoon kuuluu tarvittavat lisäosat kuten adapteri joustoelementille, tukilaakerointi adapterille, takometrit ja pyrometrit sekä erillinen suoja-adapteri ylikuormakytkimen ympärille. Ylikuorma kytkin kiinnittyy moottorin akselille kiristys-elementillä. Joustoelementin adapterilaippa kiinnittyy pulteilla ja adapterin tukilaakerointi akselimutterilla.

Tämä osakokoonpano liitetään varsinaisen pääkokoonpanon osaksi. Kokoonpanoon lisättävistä ostokomponenteista on valmistajilta saadut yksityiskohtaiset 3D mallit. Jotta nämä saadaan ajettua sisään PDM järjestelmään, pitää niille avata oma nimike. Nimikkeelle linkitetään vähintään datalehti, josta löytyy tilaukseen tarvittavat tiedot sekä 3D malli

Osien liittäminen toisiinsa tapahtuu SolidWorksissä erilaisilla mate-komennoilla, eli sidoksilla. Erilaisia sidostyyppejä ovat esimerkiksi samankeskinen, kohtisuora, yhdensuuntainen tai tangentiaalinen sidos. Sidoksia voidaan määrittää myös erilaisten etäisyyksien, kulmien ja tasojen kautta.

5.4 Osien sovittaminen yhteen SolidWorksissä ja viimeistelytyöt

Murskaimen pääkokoonpanoon oli jo tuotu päivitetty akseli sekä laakerointi. Viimeisenä etappina oli käyttölaitteen osakokoonpanon sekä momenttikehän osakokoonpanon liittäminen murskaimeen. Tämä oli suhteellisen nopea työvaihe, sillä osat sopivat paikalleen eikä niitä enää tarvinnut alkaa muokkaamaan. Pääkokoonpano tekeminen muodostuu samalla tavalla kuin alikokoonpanoissakin, eli erilaisista sidoksista. Murskaimen kokoonpano on esitelty liitteessä 10.

Viimeinen työvaihe sisältää valmistuspiirustusten tekemisen ja viimeistelyn. Levyosista muodostetaan polttomallit ja koneistettavista osista tehdään koneistuspiirustukset. Koneistuspiirustukseen merkitään tarvittavat mitat, toleranssit ja pinnanlaatuvaatimukset. Hitsauskokoonpanoihin hitsattavat osat mitoitetaan paikoilleen ja lisätään hitsausaumojen merkinnät mahdollisine lisämäärittelyineen. Lisämäärittelyjä on esimerkiksi käytettävä hitsausmenetelmä tai lisääine. Kokoonpanopiirustuksiin lisätään tarvittavat kiinnitystarvikkeet ja mahdolliset tarkentavat tekstit, jos esimerkiksi kokoonpanojärjestystä ei pelkän piirustuksen avulla pysty näyttämään.

6 ERI RATKAISUT JA NIIDEN VERTAILU

6.1 Hydrauliiikka

T8805 murskainta on opinnäytetyön kirjoitushetkellä tarjousputkessa hydrauliiikkakäyttöisenä, joten vertailuun on otettu mukaan myös toimittaja E:n tuotteet. Tämä avaa mahdollisuuden verrata kahta erilaista hydraulista ratkaisua keskenään ja lisäksi näiden vertaamisen sähkökäyttöjä vastaan.

6.1.1 Toimittaja A

Nykyinen toimittaja A:n toimittama hydrauliikkakoneikko on perusrakenteeltaan sama kuin muissa yrityksen murskaimissa ja on sen puolesta tuttu ja turvallinen. Kyseisessä ratkaisussa on toimittaja F:n toimittamat vaihdelaatikot. Tuotelinjan yhtenäistämisen vuoksi olisi järkevää harkita myös toimittaja C:n vaihdelaatikkoa tähän ratkaisuun. Kustannustasoltaan tämä ratkaisu on kaikkein kallein vaihtoehto.

6.1.2 Toimittaja E

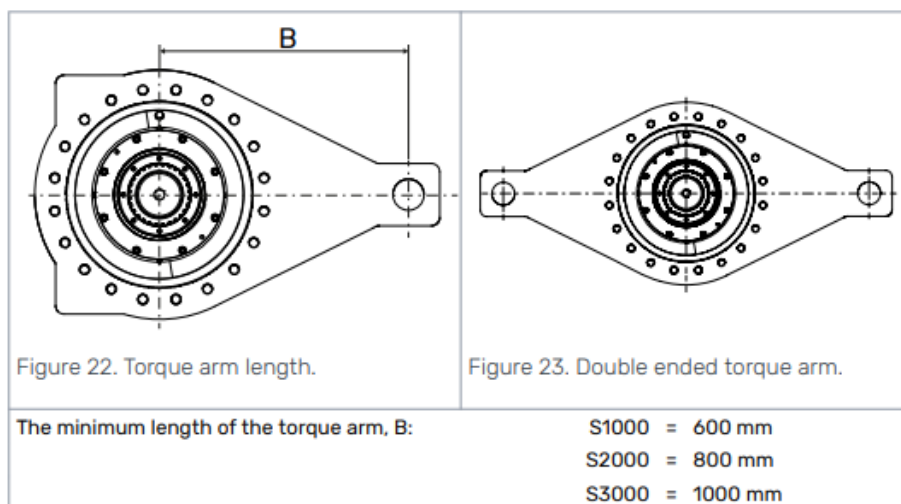
Toimittaja E:n tarjoamat moottorit ovat suoravetoisia nokkarengas tyyppinen moottoreita. Moottorit pyörivät hitaasti ja tuottavat suuren momentin. Nykyisessä ratkaisussa hydrauliikkamoottorin pyörimisnopeutta vähennetään ja momenttia kasvatetaan vaihdelaatikolla. Suoravetoisen moottorin etuna on vaihdelaatikosta eroon pääseminen ja kustannusten alentaminen.

Toimittajan E:n valikoimasta löytyy vastaavan kokoluokan suoravetoista moottoria eri kierrostilavuuksilla ja myös kaksinopeus versiona. Liitteen 5 suorituskyky vertailussa verrokkina on käytetty kaksinopeusversiota.



Kuva 6.1 Suoravetoinen hydraulimoottori (Black Bruin S-Series n.d., 13.)

Moottorin sovittaminen nykyisen hydraulimoottori + vaihdelaatikkoyhdistelmän tilalle vaatii jonkun verran suunnittelutunteja. Roottorin käyttöakseli pitää suunnitella kyseiselle moottorille sopivaksi, toimittaja E tarjoaa kahta erilaista kiinnitysmekanismeja. Toinen kiinnitys on booriakseli ja toinen on kiristyslementti. Kiristyslementin etuina on, ettei akselin valmistus vaadi mitään erikoistyövaiheita verrattuna boorilliseen akseliin. Mahdollisen vikaantumisen sattuessa kiristyslementti on helpompi ratkaisu huollon kannalta. Kiristyslementtiä käytetäänkin lähes poikkeuksetta BMH:n murskaimissa. Myös ohjaavan laakerin holkit pitää suunnitella uusiksi. Moottori vaatii oman momenttivartensa suoravetoisuuden takia. Tämä olisi mahdollista pienin muutoksin toteuttaa aiemmin suunniteltuun sähkökäyttöisen murskaimen momenttikehään.



Kuva 6.2 Momenttivarren malleja (Black Bruin Product Manual Series, n.d.,19)

Moottorin asennustavasta johtuen jää pyörivää akselia näkyville melko paljon, joten konedirektiivien mukaan se pitää suojata. Halkaistava pulttikiinnitteinen suojakotelo on helppo ja toimiva ratkaisu akselin suojaukseen.

6.1.3 Erot hydrauliikkaratkaisujen välillä

Nykyisen ja vaihtoehdoisen hydrauliikkaratkaisun erona on vaihdelaatikon tarve sekä hydrauliikkamoottorin koko. Laitteeseen on saatu yksi mahdollisesti vikaantuva komponentti vähemmän. Suorituskykyä vertaillessa ei momenteissa eikä pyörimisnopeuksissa ole mainittavaa eroa. Hydrauliikkakäyttöjen suorituskykyvertailu liitteessä 5.

Kustannuserot ratkaisujen välillä syntyvät moottorien ja vaihdelaatikkojen hinnoista. Edellisen toimitetun hydraulisen murskaimen toimituksesta on jo kulunut aikaa, joten keräsin tarvittavat tiedot PDM järjestelmästä. Pyysin osto-osastolta päivitetty hinnat hydrauliikkalle, putkistolle ja vaihdelaatikoille. Tällöin vertailu sähköiseen käyttölaitteeseen on mielekästä. Samalla tein erittelyn myös sähkökäyttöisen murskaimen apukoneikosta, joka tarvitaan seulaverkkojen ja huoltoluukkujen käyttämiseen. Kustannukset pienenevät noin 30000 euroa vaihtoehdoisella hydrauliikkakäytöllä. Hydrauliikkakäyttöjen erittelyt kustannukset liitteessä 7.

6.2 Sähköiset käyttölaitteet

Sähköisten käyttölaitteiden väliset erot ovat kustannuksien lisäksi sähkömoottorin tyypissä sekä vaihdelaatikon mitoituksessa. Toimittaja B ja C:n ratkaisu sisältää SLS eli Safely limited speed toiminnon. SLS on tarpeellinen murskaimen huoltoajon toteuttamiseen. Toimittaja C:llä on vaihtoehto SLS:n kanssa ja ilman. Toimittaja C:n vaihdelaatikon tarkka välityssuhde on 34,71 ja toimittaja D:n 29,41. Koska sähkömoottorien nimellisyörimisnopeudet ovat identtiset, saadaan toimittaja D:n ratkaisulla roottorin maksimikierrosluvuksi 18 % enemmän.

Vaihdelaatikon käyttökerroin oli toimittaja C:llä noin 25 % isompi ja se on täten mitoitettu järeämmin kuin toimittaja D:n vaihdelaatikko. Käyttökerroin kuvaa minkälaiseen käyttöön vaihde soveltuu. Tyypillisissä sovelluksissa käyttökerroin on välillä 1,0–2,0. (Vaihteen valinta – moottori - taajuusmuuttaja 2013, 9) Eroa oli myös toisioakselin holkin halkaisijassa, toimittaja C:n akselin holkin ollessa suurempi halkaisijaltaan. Suurempi halkaisija tarkoittaa vahvempaa roottorin käyttöakselia ja täten se kestää raskaampaa käyttöä. Lisäksi eroa oli IEC-sovitelaipassa. Sähkökäyttöjen suoritusarvot liitteessä 5 ja eriteltyt kustannukset liitteessä 8.

6.2.1 Toimittajat B ja C

Tämä sähkökäyttöratkaisu perustuu toimittaja B:n moottoriin ja toimittaja C:n vaihdelaatikkoon. Toimittaja C:n kanssa käytyjen keskusteluiden sekä lähtötietojen perusteella he päätyivät suosittelemaan sähkökäytölle liitteen 6 laitelistauksen mukaista vaihdelaatikkoa. Kyseinen vaihdelaatikko on käytössä jo tuotelinjan ylitemurskaimissa. Tästä johtuen voidaan samoja osia varastoida ja käyttää useassa laitteessa. Toimittaja B:n moottorivalikoimasta suositukseksi valikoitui tahtireluktanssimoottori, jonka tiedot löytyvät liitteen 6 laitelistauksesta. Tahtireluktanssimoottorin etuihin kuuluu tarkasti säädettävä kierrosluku, korkea ylikuormitettavuuden kesto sekä premiumluokan hyötysuhde.

IEC laipan suhteen toimittajien B ja C sähkömoottorin ja vaihdelaatikon välille on suunniteltu oma suoja-adapteri, jonka sisälle ylikuormakytkin asennetaan. Suoja-adapterissa on myös paikat lämpötilan mittaukseen käytettäville pyrometreille.

Ylikuormakytkimen lisäksi vaihdelaatikon ensiöakselilla on joustoelementti vaimentamassa ylikuormakytkimestä tulevia mikrovärähtelyjä ja kuormapiikkejä vaihteen suuntaan.

Taulukko 2 Toimittaja B ja C hyödyt ja haitat

Hyödyt	Haitat
Tahtireluktanssimoottori teknisesti parempi	Kalliimpi kuin toimittaja D
Moottori vaatii taajuusmuuntajan, myyntiargumentti suurempaan toimintuskokonaisuuteen	Toimitus eri toimittajilta
Joustoelementin toiminta testattu muissa sovelluksissa	Moottori vaatii taajuusmuuntajan
SLS eli Safely Limited Speed sisältyy hintaan	Pienempi tehokerroin
Ohjelma ylikuormakytkintä varten valmiina	Pienempi roottorin maksimipyörimisnopeus
Mahdollisuus rakentaa portaaton automaattinen momentin säätö	
Pienempi inertia kuin oikosulkumoottorissa, suojaa ylikuormakytkintä	
Parempi hyötysuhde moottorissa, suurempi ylikuormitettavuus	
Samat komponentit käytössä jo muissa murskainsovelluksissa	
Suurempi käyttökerroin	
Saman tehoinen moottori runkokokoa pienempi, pienempi tilantarve	
Suurempi maksimimomentti	

6.2.2 Toimittaja D

Toimittaja D:n tarjoama käyttöratkaisu sisältää vaihdelaatikon sekä perinteisemmän oikosulkumoottorin. Näiden tiedot löytyvät liitteestä 6. Vaihdelaatikon ja moottorin väliin tulee myös aiemmin esitelty ylikuormakytkin. Toimittaja D:n ratkaisun tullessa yhtenäisenä pakettina, on komponentit heidän puolestaan sovitettu yhteen. IEC-laippa sisältää tilan ylikuormakytkimelle. Tämä ratkaisu vaatii jatkosuunnittelua, jotta ylikuormakytkimen asennus olisi mahdollista ilman ongelmia. Lisäksi lämpötilaa mittaavat pyrometrit pitäisi saada sijoitettua paikalleen.

Vaihdelaatikko on lieriövaihte, joka voidaan varustaa suodatetulla öljynlauhduttimella lisähinnasta. Toimittaja C:n toimitussisältöön tämä lauhdutin kuuluu. Mahdollisia lisävarusteita ovat myös tuplasuodatus ja partikkelilaskuri. Näiden tuottama lisäarvo laitteeseen ei ole lisääntyneiden kustannusten arvoinen.

Taulukko 3 Toimittaja D hyödyt ja haitat

Hyödyt	Haitat
Hinta ilman SLS toimintoa halvempi kuin toimittajien B ja C	Oikosulkumoottori vanhaa tekniikkaa, suuri inertia
Koko paketti yhdeltä toimittajalta	Vaihteen käyttökerroin pienempi
Myyntivolyyymilla voidaan komponentteja varastoida myös Suomessa	Adapteri vaatii mietintää, onko ylikuormakytkin mahdollista kasata, pyrometrien kiinnitykset
Moottoria voidaan ajaa ilman taajuusmuuttajaa	SLS toiminnolla kalliimpi kuin toimittaja C
Suurempi roottorin pyörimisnopeus	

6.3 Hydraulikkakäytön vertailu sähkökäyttöön

Momenteja verratessa tulee ottaa huomioon, että hydraulikkakäyttöinen versio toimii kahdella eri nopeus ja momenttialueella. Sähkökäytön nimellismomentti vastaa hyvin hydraulikkakäytön suuremman tilavuuden nimellismomenttia. Maksimimomentissa

sähkökäytön momentti on suurempi, mutta hydraulikkakäyttöisellä momenttia voidaan ylläpitää käytännössä rajattomasti. Sähkökäytöllä maksimimomentin ylläpidossa vastaan tulee moottorin nouseva lämpötila. Hydrauliiikan maksimimomenttia rajoittaa koneikon pumppujen moottoriteho. Maksimimomenttia olisi mahdollista nostaa vaihtamalla tehokkaammat moottorit pumpuille. Maksimi pyörimisnopeudessa toimittaja C:n sähkökäyttö häviää noin 18 %, mutta todellinen vaikutus murskaimen kapasiteettiin on huomattavasti pienempi. Tarkat suorituskykyvertailut on esitetty liitteessä 5.

Kustannuksia verratessa huomataan, että nykyisen hydraulikkakäytön ja kalleimman sähkökäytön välinen hintaero on noin 68 %. Tämän suuruusluokan kustannussäästöt avaavat uusia markkinoita murskaimen myyntihinnan pienentyessä, ilman että toiminnallisuudesta juurikaan tingitään. Vaihtoehtoisen hydrauliikkaratkaisun ja kalleimman sähkökäyttöratkaisun välinen kustannusero on noin 40 %. Kokonaiskustannukset on esitetty liitteessä 9.

Sähkökäyttölaitteen etuna on myös laitteen kokoonpanon jälkeisen koeajon suoritus. Normaalisti murskaimen hydraulikkakoneikkoja ei toimiteta murskaimia kokoonpaneville konepajoille vaan ne lähetetään suoraan työmaalle. Koeajo ja hydraulisten toimintojen kuten ovien säätäminen tehdään väliaikaisilla hydraulikkayrityksiltä vuokratuilla koneikoilla. Näiden kapasiteetti ei riitä koneen täysimääräiseen testaamiseen ja tilavuusvirrat jäävät pieniksi. Tämä vähentää osaltaan myös kokoonpanon kustannuksia, koska laitteistoa ja hydrauliiikan asiantuntijoita ei tarvitse hankkia paikalle. Sähkökäyttöisen murskaimen koeajaminen on yksinkertaisempaa ja pienellä hydraulikka-apukoneikoilla kyetään ajamaan aputoiminnot läpi. Sähkömoottorin ja taajuusmuuntajan kytkentään menee huomattavasti vähemmän aikaa kuin vastaavan hydrauliiikan kytkemisessä.

6.4 Sähkökäytön haitat ja hyödyt käyttöönoton ja työmaatoiminnan kannalta

Käyttöönotto on helpompaa, koska työmaalle saapuu lähes käyttövalmis murskain, vain sähkönsyöttö ja taajuusmuuttaja pitää asentaa murskaimen lisäksi. Sähkömoottori vaatii ylikuormakytkimen jumitilanteita varten, ilman sitä sähkömoottorin inertia vahingoittaa vaihdelaatikon ensiöpuolta ja pahimmassa tapauksessa vaihdelaatikko

halkeaa. Sähkömoottorin rikkoutuessa hajoaa vain yksittäinen komponentti ja sen korvaaminen uudella mahdollistaa laitteen käyttämisen. Vianetsintä ja rajaaminen on helpompaa kuin hydraulikkakäyttöisessä. Varaosien kannalta sähkökäyttö on helpompi ratkaisu. Asiakas voi ostaa varastoonsa sähkömoottorin, ylikuormakytkimen ja vaihdelaatikon varaosina, jolloin mahdollisessa ongelmatilanteessa tuotannon jatkaminen onnistuu nopeasti.

Valitun ylikuormakytkimen asennus vaatii asiantuntemusta, eikä sitä voi irrottaa tai kiinnittää likaisissa olosuhteissa. Moottorikeskus ja taajuusmuuttaja voidaan asentaa sähköhuoneeseen.

6.5 Hydraulikkakäytön haitat ja hyödyt käyttöönoton ja työmaatoiminnan kannalta

Hydrauliikka vaatii käyttöönotossa alan asiantuntijan ja laitteiston. Murskaimen lisäksi työmaalla pitää asentaa hydraulikkakoneikko sekä putkisto näiden välille. Koneikon moottoreille pitää asentaa sähkönsyöttö.

Käyttöönotossa tehtäviä töitä on esimerkiksi putkiston huuhtelu, jonka tarkoituksena on poistaa valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen aikana putkistoon ja komponentteihin päätyneet epäpuhtaudet. Hydraulikkajärjestelmän huuhtelulla saavutettaviin etuihin kuuluu järjestelmän käytettävyyssasteen paraneminen, pidempi komponenttien käyttöikä sekä likaantumisen aiheuttavien vikojen poistuminen. (STH-Service www-sivut 2021) Putkistoon kiinnitetään huuhtelukoneikko ja sen läpi pumpataan paineella hydraulijäykkä. Öljy kiertää koneikolta lähtiessä painesuodattimien kautta ja palautetaan koneikolle palusuodattimien kautta. Öljyn puhtautta tarkkaillaan hiukkasantureilla. Öljyn saavuttaessa halutun puhtaustason, kytketään putkisto käyttökuntoon. Hydraulikan rikkoutuessa öljyä leviää ympäristöön, samoin remonttien aikana. Öljy aiheuttaa mm. liukastumisriskin, joka voi johtaa vakavaan onnettomuuteen. Käyttöönotossa tarkistetaan myös paineakkujen täytöt, painerajojen toiminnat ja muut vastaavat säätötööt.

Hydrauliikka on huomattavasti monimutkaisempi kokonaisuus, joka vaatii erikoisosaamista myös huollon kannalta. Rikkoutuessaan hydraulikassa on vaara, että

partikkeleita lähtee kiertoon putkistoon ja rikkoo muutakin. Rikkoutumistapauksessa pitää suorittaa jälleen huuhtelu ja puhdistaa komponentit. Vianhaku voi olla haastavaa, esimerkiksi yksi vuotava suuntaventtiili voi aiheuttaa yllättävää lämmön nousua. Järjestelmän monimutkaisuudesta johtuen vain tiettyjä komponentteja kannattaa varastoida varaosana.

Hydrauliikkamoottori on huomattavasti pienempi kuin samankokoinen sähkömoottori, ahtaissa layouteissa voi tilavarauksilla olla merkitystä. Hydrauliikkakoneikko tarvitsee oman huoneensa. Hydrauliikkaputkitus on kallista verrattuna sähkömoottorien kaapelointiin. Hydrauliikka kestää likaisia olosuhteita paremmin. Ympäristön lämpötilalla on merkitys hydrauliikalle, kylmissä olosuhteissa pitää hydrauliikkaöljyä lämmittää lämmitysajolla. Kylmän öljyn viskositeetti on korkea ja se voi vahingoittaa esimerkiksi moottorien tiivisteitä.

7 LOPPUTULOS

Jos laitetta myydään hydrauliikkakäyttöisenä, moottori ja vaihdelaatikko vaihtoehtoina on toimittaja A:n ja F:n ratkaisu, tai toimittaja E:n ratkaisu. Ensin mainittu ratkaisu on jo ollut käytössä ja se on niin sanotusti varma ratkaisu. Tämä vuoksi se sopii nopean aikataulun toimitukseen. Toimittaja E:n ratkaisu on suositeltava vaihtoehto, jos tavoitteena on saada kustannuksia alemmaksi ja komponenttimäärää pienemmäksi. Tällöin murskainta ja sen käytännön toimintaa ja suorituskykyä olisi hyvä saada testattua ennen laitteen myyntiä. Liitteessä 5 esitetyn suorituskykyvertailun perusteella ratkaisut ovat lähes identtiset.

Toimittaja A:n hydrauliikkaa käytettäessä vaihdelaatikkotoimittajan yhtenäistämisen voisi olla hyvä asia kustannustehokkuuden kannalta. Muita huomioon otettavia asioita on laitemyynnin nopea ”kierto”. Nykyisen hydrauliikkaratkaisun vaihdelaatikon toimitusaika toimittajalta F on kirjoitushetkellä 20 viikkoa. Toimitusajan kasvaessa vielä tästä voi muodostua ongelma. Toimittaja E:n moottorin toimitusaika on

ylikuumenneista markkinoista johtuen kirjoitushetkellä 17 viikkoa, kun taas normaalissa markkinatilanteessa puhutaan 10 viikosta.

Sähkökäyttöisen murskaimen suurimpana etuna on alempi kustannustaso käyttölaitteiden osalta ja samalla vastaaminen asiakaskunnan toiveisiin. Murskaimen asennus ja käyttöönotto on huomattavasti suoraviivaisempaa ja helpompaa kuin hydrauliiikkakäyttöisen. Suurimmat syyt tähän ovat, ettei työmaalle tarvitse erikseen hankkia erikoiskalustoa ja miehitystä, putkistoasennukset jäävät pois, kuten myös käyttöönoton aikaiset hydrauliiikan säädöt.

Molempien sähkökäyttöratkaisujen kustannukset olivat identtisillä toiminoilla 3 % sisällä. Suorituskykyä vertaillen toimittaja B:n ja C:n ratkaisulla roottorin maksimipyörimisnopeus jää noin 18 % pienemmäksi. Nimellismomentit ratkaisuilla ovat lähes identtiset, mutta toimittaja B:n ja C:n ratkaisun maksimimomentti on noin 60 % suurempi. Tällä on suurempi vaikutus käytännön suorituskykyyn kuin roottorin pyörimisnopeudella. Toimittaja B:n sähkömoottorin inertia on myös yli kaksi kertaa pienempi kuin toimittaja D:n. Huomioonotettava asia on myös aiemmat hyvät kokemukset ja kehitystyö toimittaja B:n ja C:n vastaavista komponenteista muissa murskainsovelluksissa. Toimittaja B:n moottori on kyseiseen käyttöön paremmin soveltuva ja toimittaja C:n vaihdelaatikko mitoitukseltaan järeämpi. Kustannuksissa tai suorituskyvyssä ei ollut eroa toimittaja D:n hyväksi, joten näiden perusteella on toimittaja B:n ja C:n sähköinen käyttölaite suositeltava valinta.

Riskeinä on ensimmäisen sähkökäyttöisen murskaimen myyminen lyhyellä aikataululla, jolloin murskaimen suorituskyvyn arviointi ja koeajo siirtyy työmaalle. Laitteen koeajoon ja testaamiseen pitäisi varata aikaa, jotta koeajot pystyttäisiin suorittamaan huolellisesti. Samalla pystytään suorittamaan murskaimen logiikkaohjauksen optimointia ja täten oltaisiin askel lähempänä plug-’n play-tyyppistä laitetta alusta asti. Koeajoissa olisi mahdollista myös korjata mahdolliset havaitut suunnittelun virheet ja puutteet.

Murskaimen saattaminen käyttökuntoon sisältää vielä työtä sähköautomaation ja dokumentaation suhteen. Laitetta varten pitää tehdä toiminnankuvaus ja riskianalyysi. Nämä toimivat pohjana, kun laitetta ohjaava logiikkaohjelma kirjoitetaan.

Hydrauliikkakäyttöisestä murskaimesta on vanhoja dokumentteja, jotka toimivat apuna uuden muotoisten dokumenttien tekemisessä.

8 YHTEENVETO

Olen työskennellyt BMH:n murskaimien parissa yli kymmenen vuotta tehden kokoonpano, korjaus- ja asennustöitä. Isot murskaimet ovat aina olleet hydrauliikalla toimivia, ja tämän vuoksi ajatus sähkökäyttöisestä murskaimesta oli muodostunut joko tehottomaksi tai vaihtoehtoisesti se olisi varustettu pienen auton kokoisella moottorilla. Työn edetessä ennakkoluulot hälvenivät, ja viimeistään laskelmat osoittivat, että tämän kokoluokan murskaimen toteuttaminen sähkökäyttöisenä on järkevä ja kustannustehokas ratkaisu. Työn tekeminen syvensi huomattavasti tuntemustani sähkömoottoreista sekä niiden mukanaan tuomistaan mahdollisuuksista.

Mahdollista jatkokehitystä varten on tulevaisuudessa syytä miettiä ja mahdollisesti tutkia mahdollistavatko matalalla inertialla olevat moottoritekniikat ylikuormakytkimen pois jättämisen. Myös kestopagnetoidut moottorit voisivat olla tutkimisen arvoinen kohde. Murskainten tuotelinjojen yhtenäistäminen moottori- ja vaihdelaatikkotoimittajien osalta olisi mielestäni myös vakavasti harkittava asia. Riippumatta onko kyseessä sähkö- tai hydrauliikkakäyttöinen murskain.

Kahden erilaisen hydrauliikkaratkaisun vertailu osoitti, että suoravetoisissa hydrauliikkamoottoreissa on potentiaalia korvata hydrauliikkamoottori ja vaihdelaatikkoyhdistelmiä. Tämä johtaa pienempään komponenttimäärään ja alentuneeseen kustannustasoon. Hydrauliikkakoneikkojen kilpailuttaminen useamman toimittajan kesken voisi myös tuoda kustannuksia alaspäin. Riskinä kummassakin vaihtoehdossa on, ettei uudet komponentit toimikaan halutulla tavalla.

LÄHTEET

Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen & J., Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: SanomaPro Oy

BlackBruin S-Series. n.d. BlackBruin. Viitattu 2.5.2021 <https://www.blackbruin.com/media/black-bruin-s-series-industrial-hydraulic-motors-en.pdf>

BlackBruin Product Manual S Series. n.d. BlackBruin. Viitattu 2.5.2021 <https://www.blackbruin.com/media/black-bruin-s-series-industrial-hydraulic-motors-product-manual-en.pdf>

Blom, S., Lahtinen P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P., Suosara, E. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita Oy

BMH Technology www-sivut 2021. Viitattu 13.3.2021 <http://www.bmh.fi>

Hitausmomentti. n.d. Siikalatvan lukio. Viitattu 11.4. <https://peda.net/siikalatva/siikalatvan-lukio/oppiaineet/fysiikka/fy5/mappi/hitausmomentti-pdf:file/download/3e01322ef64bed233059a4d5e4e1fed9ecfb58aa/Hitausmomentti.pdf>

Hydrauliikan perusteet. 2002. Fluid Finland. Viitattu 10.4.2021 <https://www.salhydro.fi/files/PDF/8.hydrauliikan-perusteet.pdf>

IE4 SynRM motor-drive packages. 2018. Viitattu 3.4.2021 <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentId=3AUA0000132610&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Lähteenmäki, M. n.d. Elementtimenetelmän perusteet. Viitattu 17.5.2021 https://mlahten.fi/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf

Maxxdrive™ Large Industrial Gear Units. n.d. Nord Drivesystems. Viitattu 15.4.2021 https://www.nord.com/media/documents/bw/g1050_global_5060hz_en_0621.pdf

Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy

Ringfeder www-sivut 2021. Viitattu 22.5.2021. <https://www.ringfeder.com/products/shrink-discs/rfn-4071/>

SFS-EN 1993-1-8. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus. 2005. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

SKF bearing maintenance book. 2011. SKF Group. Viitattu 15.4.2021 [https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d1968013be94-SKF-bearing-maintenance-handbook---10001_1-EN\(1\)_tcm_12-463040.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d1968013be94-SKF-bearing-maintenance-handbook---10001_1-EN(1)_tcm_12-463040.pdf)

SKF www-sivut 2021. Viitattu 21.5.2021. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process>

STH-Service www-sivut 2021. Viitattu 16.5.2021 <https://www.sthservice.fi/palvelut/jarjestelmien-huuhtelu/>

Tibnor www-sivut 2021. Viitattu 2.5.2021 https://www.tibnor.fi/fi_FI/tuotteet/palkit

Vaihteen valinta – moottori - taajuusmuuttaja. 2013. Vem Motors Finland Oy. Viitattu 9.5.2021 <https://docplayer.fi/7205843-Vaihteen-valinta-moottori-taajuusmuuttaja.html>

Yhteiskuntajätteen materiaalikierrätyksen lisääminen. n.d. Jouni Havukainen Viitattu 1.5.2021 <http://www.cleansoil.fi/download/noname/%7BC15BCB0B-D818-4DD5-A758-F11B3900E198%7D/113050>