



Betonitehtaan monitoimiharjakoneen modernisointi

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)
Kevät 2024
Juri Huotari

Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä Juri Huotari

Työn nimi Betonitehtaan monitoimiharjakoneen modernisointi

Ohjaajat Timo Väisänen (HAMK), Teemu Säteri (Betsset-yhtiöt)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tämän työn tilaajana oli Betsset-yhtiöt, joka on suomalainen betonialan perheyrittäjä. Sen pääaiheena oli ontelo- ja kuorilaatta valumuottien puhdistamiseen, ja raudoitukseen käytettävän monitoimiharjakoneen hydraulikalla toimivan ajon muuttaminen sähkömoottori ja taajuusmuuttaja käyttöiseksi. Tähän liittyen laskettiin muun muassa kuorman liikkeelle saamiseksi vaadittavat voimat ja koneen ajonopeuksia.

Muutoksen tarkoituksena oli, että sähkönkulutusta saataisiin pienennettyä, sekä lisättyä koneen huoltovarmuutta päivittämällä kriittiset komponentit yleisempiin ja helpommin saatavilla oleviin.

Samalla uusittiin koneen sähkökeskus ja kaikki sähkökaapelit, sekä jäljelle jääville liikkeille jätettävän hydraulikkajärjestelmän keskeisimmät komponentit. Myös sähkökuvat piirrettiin kokonaan uusiksi.

Lopputuloksena saatiin kone, joka kuluttaa sähköä noin 90 % vähemmän kuin aikaisemmin, liikkuu melkein kaksi kertaa nopeammin, mutta pysyi kuitenkin käytettävyydeltään samankaltaisena kuin ennen. Samalla koneen kunnossapidettävyyks kasvoi merkittävästi.

Avainsanat Harjakone, hydraulikkaohjaus, sähkömoottori, taajuusmuuttaja

Sivut 33 sivua

The commissioner of this thesis was the company Betset, which is a family business in the concrete industry in Finland. This thesis is about modernization of a multifunction bed cleaner, and the main goal of this thesis has been to change its hydraulic drive to an electric motor and to turn it variable frequency drive controlled.

The larger purpose of this project has been to lower the consumption of electricity via reducing the running time of electric motors and changing both hydraulic and drive motors to a more reasonable size. Also, the machine's drive speed was unnecessarily slow, so when choosing drive components, they were calculated with torque and drive speed in mind.

The electric cabinet, cables and all the key components in the hydraulic system that is used to operate the brush and other hydraulics were also changed. Reliability was improved immensely by using parts that are readily available from distributors. Electric drawings were also completely redrawn.

In conclusion, a machine was produced that consumes almost 90 % less electricity than before but moves nearly twice as fast while retaining similar drive feel for the user. In conjunction with all these changes the machine's maintainability was also increased immensely.

Keywords Electric motor, hydraulic drive, multifunction bed cleaner, variable frequency drive
Pages 33 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Harjakone	1
2.1	Koneen sähkönkulutus.....	3
2.2	Hydrauliikka	4
2.2.1	Aksiaalimäntäpumppu	4
2.2.2	Hammaspyöräpumppu	5
2.2.3	Hydrauliikan muutos	6
2.2.4	Hydrauliikan osien valinta	6
3	Sähkömoottori, taajuusmuuttaja ja jarruvastus	7
3.1	Sähkömoottori.....	7
3.2	Taajuusmuuttaja	7
3.3	Jarruvastus	8
4	Vaihdemoottorin ja taajuusmuuttajan mitoitus	9
4.1	Vaihdemoottorin mitoituksen vaiheet.....	10
4.1.1	Kuorman liikkeelle saaminen	10
4.1.2	Sähkömoottorin teho	10
4.1.3	Ajonopeuden laskeminen	11
4.1.4	Kokonaismomentti ja vaihdemoottorin suurin sallittu pyörimisnopeus	12
4.2	Taajuusmuuttajan mitoitus	13
4.3	Jarruvastuksen mitoitus	13
5	Toteutus.....	14
5.1	Vaihdemoottorin laskenta.....	14
5.1.1	Kuorman liikuttamiseen vaadittavat voimat	15
5.1.2	Ajonopeus	16
5.2	Vaihdemoottorin valinta.....	17
5.3	Vaihdemoottorin asennus	17
5.4	Hydrauliikkakoneikko	18
5.5	Sähköjen uusiminen.....	20
5.5.1	Taajuusmuuttajan valinta.....	21
5.5.2	Jarruvastuksen valinta.....	22
5.5.3	Sähkökuvien piirtäminen.....	22
5.5.4	Keskuksen rakentaminen	23
6	Käyttöönotto.....	27

6.1	Koneen käyttäytyminen.....	27
6.2	Sähkönkulutus uusilla komponenteilla.....	28
7	Yhteenveto.....	29
	Lähteet	32

Kuvat, taulukot ja kaavat

	Kuva 1. Valumuotti valmiina.....	2
	Kuva 2. Harjakoneen sivuprofiili.....	3
	Kuva 3. Harjakoneen hydraulikan sähkömoottori ja pumput.....	4
	Kuva 4. Aksiaalimäntäpumpun toimintaperiaate.....	5
	Kuva 5. Hammaspyöräpumppu.....	6
	Kuva 6. ABB acs-880 taajuusmuuttaja.....	8
	Kuva 7. Jarruvastus.....	9
	Kuva 8. Moottorien ja jarrumoottorien suurimmat sallitut nopeudet.....	13
	Kuva 9. Taulukko 41, jarruvastustyypit.....	14
	Kuva 10. Lieriötappivaihdemoottori.....	17
	Kuva 11. Vaihdemoottori.....	18
	Kuva 12. Koneen runko ennen puhdistusta.....	19
	Kuva 13. Konehuone puhdistettuna ja pohjamaalattuna	19
	Kuva 14. Uusi hydraulikkakoneikko.....	20
	Kuva 15. Vanha sähkökeskus.....	21

Kuva 16. Ohjauspiirikaavio.....	23
Kuva 17. Sähkökeskuksen cadmatic piirustus.....	24
Kuva 18. Uuden keskuksen pohjalevy kalustettuna.	24
Kuva 19. Uusi sähkökeskus paikallaan.	25
Kuva 20. Valmis sähkökeskus.	26
Kuva 21. Vanha ohjauskotelo.	26
Kuva 22. Uusi ohjauskotelo.....	27
Kuva 23. Sähkön hinnat ja säästö.....	29
Kuva 24. Kone valmiina.	31
Kuva 25. Kone toisesta kulmasta.....	31
Kaava 1. Kolmivaihemoottorin ottoteho.....	3
Kaava 2. Vierintävastusvoima.....	10
Kaava 3. Vaihteen ja rullaketjun hyötysuhde.....	10
Kaava 4. Staattinen teho.....	10
Kaava 5. Suurin sallittu kiihtyvyys	11
Kaava 6. Moottorin kokonaisteho	11
Kaava 7. Vaihteen jälkeisten rattaiden välityssuhde.....	11
Kaava 8. Kokonaisvälityssuhde	11
Kaava 9. Renkaan pyörimisnopeus.....	12

Kaava 10. Renkaan kehä.....	12
Kaava 11. Ajonopeus.....	12
Kaava 12. Kokonaismomentti	12

1 Johdanto

Työ tehtiin Betset-yhtiöiden Hämeenlinnan tehtaalle. Betset-yhtiöt ovat suomalainen betonialan perheyrittys, joka on perustettu vuonna 1950 Kyyjärvellä. Se koostuu työn toteutuksen aikaan kymmenestä tehtaasta Suomessa, sekä tytäryhtiö As Ikodorista, joka sijaitsee Virossa. (Betset-yhtiöt, n.d.-a) Betsetin tuotevalikoimaan kuuluu mm. erilaiset betonivalmisteiset laatat, seinät, rungot sekä valmisbetonin valmistus (Betset-yhtiöt, n.d.-b).

Työn tarkoituksena on muuttaa ontelo- ja kuorilaatta valumuotin puhdistamiseen ja raudoitukseen tarkoitetun monitoimiharjakoneen hydraulikalla toimiva ajo, sähkömoottori ja taajuusmuuttaja käyttöiseksi. Samalla kun koneeseen tehdään suuri muutos hydraulikkaan, myös sähkökeskus tullaan uusimaan kokonaan ja sähkökuvat piirretään uudelleen.

Työn idea syntyi, kun tiedusteltiin koneessa olevan ajoa ohjaavan aksiaalimäntäpumpun saatavuutta, jonka toimitusaika vuonna 2018 olisi ollut 21 viikkoa ja hinta noin 5,5 tuhatta euroa. Koska hydraulikkaa käyttävän suuren sähkömoottorin täytyy pyöriä koko ajan, kun laitetta käytetään, on myös sen sähkökulutus tarpeettoman suurta.

Tavoitteena on, että vaihtamalla ajo sähkömoottori ja taajuusmuuttaja käyttöiseksi, saadaan sähkökulutusta pienennettyä merkittävästi sekä samalla parannettua koneen huoltovarmuutta.

2 Harjakone

Tässä työssä muutoksen kohteena ollut harjakone on THK-engineerin vuonna 1998 rakentama laite. Sen käyttö alkaa sillä, että tyhjänä oleva valumuotti sekä sen vieressä oleva oja puhdistetaan koneella harjaamalla jätebetonista ja vedestä. Betoni ja vesi harjataan tässä tapauksessa 100 metriä pitkän valumuotin päässä olevaan ojaan, jossa on kolakuljetin, mikä siirtää jätebetonin pois hallista. Tämän jälkeen muotti kuivataan perään rakennetulla hydraulikalla toimivalla lastalla, jonka jälkeen se on valmis muottiöljyn levitykselle.

Muottiöljy voitelee valumuotin niin, että siihen valettava betoni ei tartu muottiin kiinni. Muottiöljy levitetään suihkuttamalla koneen perässä olevilla viuhkasuuttimilla. Kun öljy on levitetty, voidaan koneella vetää laattaan tulevat teräspunokset muotin päästä päähän, missä ne lukitaan paikoilleen siihen tarkoitetuilla lukoilla. Tämän jälkeen teräspunokset vedetään siihen tarkoitettulla koneella vaadittuun lukemaan.

Harjakoneen takaosassa on myös teräksestä tehdyt kaavaimet, jotka puhdistavat muotin ulkoreunoja betonista aina kun koneella ajetaan. Kuvassa 1 nähdään valumuotti teräspunokset jännitettynä, valmiina odottamassa valun aloittamista.

Kuva 1. Valumuotti valmiina.



Harjakoneessa on sekä hydraulisia, että sähköisiä hallintalaitteita. Sähköiset hallintalaitteet ovat painonappeja sekä vipukytкимиä, joilla muun muassa käynnistetään kone, hydraulikka, koneen edessä olevan kauhan tyhjennykseen tarkoitettu tärymoottori ja muottiöljyn suihkut. Kotelossa on myös hätäseispainike.

Hydraulisia toimintoja ohjataan manuaalisilla vivuilla, jotka ovat venttiilipöydässä kiinni. Näillä ohjataan harjanpyöritystä eteen tai taakse, kauhan ylös, alas ja sivuille siirtämistä, kauhan aukaisua ja sulkemista sekä kuivauslastan ylös ja alas laskua. Ajolle on oma sauvaohjain, jolla ohjataan konetta eteen ja taakse. Kuvassa 2 nähdään koneen yleiskuva sivusta katsottuna.

Kuva 2. Harjakoneen sivuprofiili.



2.1 Koneen sähkönkulutus

Koska työn tarkoituksena on saada samalla koneen sähkönkulutusta pienennettyä, mitattiin ennen työhön ryhtymistä koneen virrankulutus eri tilanteissa. Näihin virta-arvoihin tullaan vertaamaan työn lopussa virrankulutusta uusilla komponenteilla. Tähän tullaan tarvitsemaan kaavaa 1, jolla saadaan laskettua kolmivaihemootorin ottoteho.

Kaava 1. Kolmivaihemootorin ottoteho (SKS Group, n.d.).

$$P_{\text{otto}} = \frac{\sqrt{3} * U * I * \cos\varphi}{1000}$$

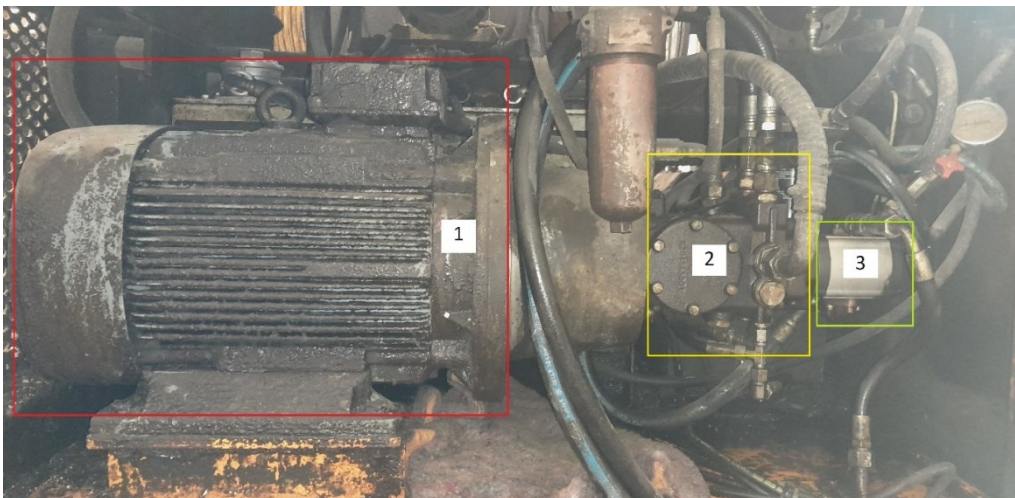
2.2 Hydraulikka

Harjakoneen hydraulikan voimanlähteenä oli 30 kW:n tehoinen sähkömoottori. Moottori tuotti voiman sen perässä olevalle muuttuvatilavuuksiselle aksiaalimäntäpumpulle sekä mäntäpumpun perässä kiinni olevalle hammaspyöräpumpulle. Aksiaalimäntäpumpulla ohjattiin konetta eteen ja taakse, kun taas hammaspyöräpumpulla koneen muita hydraulikkatoimintoja.

Kuvassa 3 näkyy harjakoneen hydraulikan moottori ja sen pumput. Numero 1 on sähkömoottori, numero 2 aksiaalimäntäpumppu ja numero 3 hammaspyöräpumppu.

Yksi hydraulikkamoottorien hyvistä puolista on esimerkiksi suuri voiman tuotto. Toisaalta hydraulijärjestelmät ovat monimutkaisia, vaativat monia eri venttiilejä, ovat tarkkoja huollosta ja vievät paljon tilaa öljysäiliö mukaan luettuna. Pumput ja osat ovat myös monesti kalliita, sekä järjestelmät herkkiä vuotamaan. (Emotorsdirect, 2022)

Kuva 3. Harjakoneen hydraulikan sähkömoottori ja pumput.



2.2.1 Aksiaalimäntäpumppu

Aksiaalimäntäpumpun toiminta perustuu pumpun sisällä olevien mäntien edestakaiseen pumppaavaan liikkeeseen. Liikkeen pituus riippuu pumpun sisällä olevan levyn asennosta. Tämä joko lisää tai vähentää öljyn virtausta, riippuen tässä tapauksessa sauvaohjaimen asennosta, jolla muutetaan levyn asentoa. Tämän takia aksiaalimäntäpumpulla saadaan laitteen ohjaaminen hyvin tarkaksi. (Fluid Finland, 2003, s. 6)

Kuvassa 4 nähdään pumpun toimintaperiaate. Mustia mäntiä vasten olevan levyn asento muuttuu käyttäjän muuttaessa sitä tässä tapauksessa ohjaussauvan asennolla, ja näin öljymäärä joko kasvaa tai vähenee, joka taas vaikuttaa suoraan ajonopeuteen. Levy on paikallaan ja männät pyörivät sitä vasten, joka aiheuttaa mäntien pumppaavan liikkeen. Mäntäpumppujen hyötysuhde on hyvä, jopa lähelle 100 %:a ja niillä on mahdollista saada aikaan korkea paine sekä suuri tuotto (Fluid Finland, 2003, ss. 6–7).

Kuva 4. Aksiaalimäntäpumppun toimintaperiaate (Fluid Finland, 2003, s. 6).

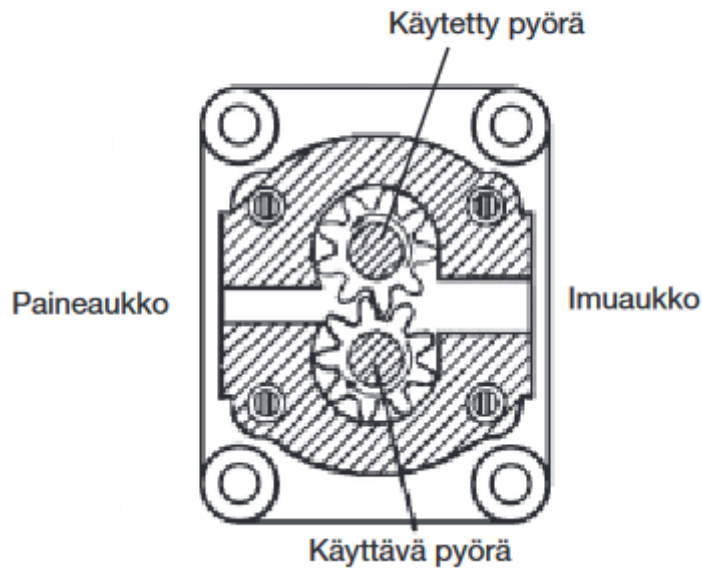


2.2.2 Hammaspyöräpumppu

Hammaspyöräpumppu on toiminnaltaan mäntäpumppua paljon yksinkertaisempi, ja sen tilavuusvirta on suoraan riippuvainen voimanlähteen pyörimisestä. Kuvassa 5 nähdään ulkoryöntöinen hammaspyöräpumppu, jossa käytetyn ja käytettävän pyörän erkanemis kohdassa tilavuus kasvaa ja tuottaa alipaineen, jolla öljy siirtyy säiliöstä pumpun imupuolen kautta painepuolelle ja siitä eteenpäin toimilaitteille. (Fluid Finland, s. 2). Kyseinen pumppumalli on erittäin yleinen teollisuudessa, monikäyttöisyytensä ja edullisuutensa takia (Fluid Finland, 2003, s. 5).

Kuva 5. Hammaspyöräpumppu (Fluid Finland, 2003, s. 2).

HAMMASPYÖRÄPUMPPU



2.2.3 Hydrauliiikan muutos

Koska iso sähkömoottori ja aksiaalimäntäpumppu on tarkoitus vaihtaa, vaihdetaan samalla myös hydrauliiikkaöljysäiliö uuteen. Näin saadaan huomattavan paljon lisätilaa itse ”konehuoneeseen”, ja näin myös takapyörille mahdollisesti tulevaisuudessa tulevalle ajomoottorille sekä sen varusteille saadaan sopiva tila aikaiseksi. Konehuoneeseen tulee siis jäämään alkuperäisiä komponentteja vain muottiöljysäiliö, sen pumppu ja sähkömoottori.

2.2.4 Hydrauliiikan osien valinta

Kun suunnitellaan muutosta jo olemassa olevaan hydrauliiikkajärjestelmään, on hyvä ajatella se kuin oltaisiin rakentamassa kokonaan uutta. Tärkeimpiä asioita ottaa huomioon on oikea mitoitus käyttökohteeseen pumpun ja sähkömoottorin osalta, jotta järjestelmä tuottaa varmasti tarpeeksi voimaa toimilaitteiden käyttämiseksi (Rexroth Bosch Group, 2017, s. 2). Toisaalta huollettavuuskin on erittäin tärkeässä asemassa, koska hydrauliiikka järjestelmät vaativat säännöllisesti esimerkiksi öljyjen ja suodattimien vaihtoja. Jos järjestelmään on hankala päästä käsiksi, vaikeuttaa se kunnossapidon työskentelyä merkittävästi. (Rexroth Bosch Group, 2017, ss. 3–4)

Öljytankin tilavuuden päättäminen on yksi tärkeimpiä asioita järjestelmän suunnittelussa. Tähän käytetään yleensä nyrkkisääntönä sitä, että säiliön nestemäärän pitäisi olla vähintään pumpun tilavuusvirta kerrottuna kolmella (Gannon, 2015). Jos järjestelmässä on paljon letkuja tai niiden tilavuus on suuri, täytyy myös ne ottaa huomioon. Kun säiliö on liian pieni, öljy ei pääse jäähtymään tarpeeksi kiertäessään tankin kautta takaisin järjestelmään. Liian pieni säiliön tilavuus aiheuttaa myös ongelmia, jos on isoja toimilaitteita, jotka vaativat paljon öljyä ja tämän takia säiliön öljyntaso saattaa laskea alemmaksi kuin pumpun imuputki. (Powermotiontech, 2023) Tästä voi seurata pumpun kuivana käyminen ja lopulta rikkoutuminen.

3 Sähkömoottori, taajuusmuuttaja ja jarruvastus

Tässä luvussa kerrotaan yleisesti mitä ja mihin tarkoitukseen ovat sähkömoottori, taajuusmuuttaja ja jarruvastus.

3.1 Sähkömoottori

Teollisuudessa yleisin käytettävä moottori on 3-vaihe oikosulkumoottori, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Sähkömoottorin etuja hydraulikkakäyttöön verrattuna on muun muassa hiljaisuus, huoltovapaus ja hinta. Jos sähkömoottoriin tulee jotain vikaa, on se yleensä laakereiden voitelusta johtuvaa. Ajoissa tehtävällä laakerien vaihdolla tai säännöllisellä voitelulla voidaan edelleen pitkittää moottorin käyttöikä. (Tractian, n.d.) Myös varaosien saatavuus on yleensä hyvä, ellei ole kyse erikoismoottorista. Huonoiksi puoliiksi voidaan luetella esimerkiksi ne, että moottori täytyy yleensä asentaa lähelle käyttökohdetta ja tarvitsee lähes aina vaihteen, jonka avulla pyörimisnopeus voidaan sovittaa oikeaksi (Emotorsdirect, 2022).

3.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja muuttaa nimensä mukaisesti sähkömoottorin taajuutta, minkä avulla voidaan moottorin kiihdytystä, nopeutta, momenttia sekä jarrutusta säätää hallitusti. Sillä pystytään myös sovittamaan laitteen vääntö tarpeiden mukaan, säästää sähköä sekä parantaa laitteen hyötysuhdetta. Siitä on todella iso apu raskaiden sovellusten käynnistämisessä, joiden käynnistämisestä suorakäynnistyksellä aiheutuu suurta mekaanista raskautta. (Danfoss, n.d.) Kuvassa 6 nähdään tyypillinen taajuusmuuttaja.

Kuva 6. ABB acs-880 taajuusmuuttaja (Sonepar Suomi Oy, n.d.-a).



3.3 Jarruvastus

Jarruvastus on komponentti, johon johdetaan taajuusmuuttajan kautta jarrutuksessa syntyvä energia, jonka vastus muuttaa edelleen lämmöksi. Vaihtovirta käytöissä niitä tarvitaan, jos sähkömoottorin nopeus ylittää taajuusmuuttajalle asetetun nopeuden, tai jos tarvitaan nopeaa hidastamista. Jos moottori pyöri nopeammassa tahdissa kuin taajuusmuuttajalla on asetettu, alkaa se käyttäytymään generaattorin tavoin. Tästä ylijäänyt energia syötetään taajuusmuuttajan tasavirtapuolelle ja mitä enemmän energiaa syntyy, sitä enemmän jarruvastuksen täytyy haihduttaa lämpöä. (Eepower, n.d.) Tästä syystä vastuksen oikein mitoitus on tärkeää. Kuvassa 7 nähdään tyypillinen jarruvastus.

Kuva 7. Jarruvastus.



4 Vaihdemoottorin ja taajuusmuuttajan mitoitus

Kun mitoitetaan sähkökäyttöä, tulee ensin tarkastella käyttöolosuhteita. Tämän jälkeen täytyy miettiä itse kohdetta, mitä se vaatii, ja tarvitseeko laite esimerkiksi käynnistysmomenttia. Kun edellä mainitut asiat ovat tiedossa voidaan valita moottori. Koska moottoria tulee pitää momentinlähteenä, täytyy sen kestää prosessissa mahdollisesti esiintyvää ylikuormitusta. (Abb Industry Oy, 2001, s. 7)

Kun edellisessä kappaleessa mainitut asiat on käyty läpi, voidaan valita taajuusmuuttaja ympäristöolosuhteiden ja käytettävän moottorin perusteella.

4.1 Vaihdemootorin mitoituksen vaiheet

Jotta voidaan mitoittaa vaihdemoottori tässä työssä käsiteltävään laitteeseen oikein, tarvitaan luvussa 4.1 esiteltyjä kaavoja.

4.1.1 Kuorman liikkeelle saaminen

Kuorman liikkeelle saamiseksi tärkein tieto on laitteen massa ja mitä kautta laitteen liike välittyy alustaan. Se voidaan laskea alla olevalla kaavalla 2.

Kaava 2. Vierintävastusvoima (Sew-Eurodrive, 2000, s. 66).

$$F_F = m * g * \left(\frac{2}{D} * \left(\mu_L * \frac{d}{2} + f \right) + c \right) = [N]$$

4.1.2 Sähkömootorin teho

Jotta voidaan laskea moottorin staattinen teho, tarvitsee tietää vaihteen ja sen jälkeen olevien välityskomponenttien hyötysuhteet, joista saadaan kokonaishyötysuhde kaavalla 3. Jos vaihdetta ei ole vielä valittu, käytetään kaksi ja kolmivaiheisten vaihdetyyppien hyötysuhteiden keskiarvoa: $\eta_G = 0,95$. Tämän jälkeen tarvitaan rattaat yhdistävän rullaketjun hyötysuhde: $\eta_L = 0,90-0,96$. Jos oikea arvo ei ole tiedossa, tulee käyttää pienintä arvoa. (Sew-Eurodrive, 2000, s. 66)

Kaava 3. Vaihteen ja rullaketjun hyötysuhde (Sew-Eurodrive, 2000, s. 66).

$$\eta_\tau = \eta_G * \eta_L$$

Seuraavaksi lasketaan moottorin staattinen teho kaavalla 4.

Kaava 4. Staattinen teho (Sew-Eurodrive, 2000, s. 66).

$$P_s = \frac{F_F * v}{\eta}$$

Seuraavassa vaiheessa tulee laskea suurin sallittu kiihtyvyys, ennen kuin renkaat alkavat luistaa kaavalla 5.

Kaava 5. Suurin sallittu kiihtyvyys (Sew-Eurodrive, 2000, s. 68).

$$a_p = \frac{1}{2} * g * \mu_0$$

Kun kaikki edellä olevat laskutoimitukset vaiheineen on käyty läpi, voidaan laskea moottorin kokonaisteho kaavalla 6.

Kaava 6. Moottorin kokonaisteho (Sew-Eurodrive, 2000, s. 68).

$$P_{\tau} = \frac{(m * a * v)}{\eta} + F_F$$

4.1.3 Ajonopeuden laskeminen

Halutaan, että kone liikkuu noin 70 metriä minuutissa täydellä vauhdilla, toisin sanoen 1,2 metriä sekunnissa. Tällä hetkellä kone liikkuu noin puolet siitä.

Kaavalla 7 saadaan laskettua akselilta renkaille vaikuttava välityssuhde. Otetaan ylempi vaihteen kanssa samalla akselilla kiinni oleva ratas ja toiseksi osatekijäksi kulkurenkaan halkaisija. Näiden välityssuhde saadaan jakamalla ne keskenään.

Kaava 7. Vaihteen jälkeisten rattaiden välityssuhde (Kammet, n.d. s. 3).

$$\frac{d_2}{d_1}$$

Kun rattaiden välityssuhde on tiedossa, tarvitaan vielä vaihteen välityssuhde.

Kokonaisvälityssuhteeksi pitäisi tulla noin 1:41,5 jotta laitetta vetävä pyörä pyörisi 40 kertaa minuutissa moottorin 50 Hz:n normaalilla käyttötaajuudella. Se saadaan laskettua käyttämällä kaavaa 8.

Kaava 8. Kokonaisvälityssuhde (Wikihow, 2023).

$$x * i_{rattaat} = 41,5$$

Kun halutaan tietää renkaan pyörimisnopeus, jaetaan sähkömoottorin kierrosnopeus kaavasta 8 saadulla tuloksella. Tämä on esitetty kaavassa 9.

Kaava 9. Renkaan pyörimisnopeus (Deziel, 2018).

$$\omega = \frac{n_{moottori}}{i_{vaihte*rattaat}}$$

Kaavalla 10 lasketaan renkaan kehän pituus. Tämä tarvitaan, jotta voidaan laskea laitteen lopullinen ajonopeus.

Kaava 10. Renkaan kehä (Kammet, n.d. s. 6).

$$C = \pi * d$$

Kun tiedetään renkaan kehän pituus, voidaan laskea laitteen lopullinen ajonopeus kaavalla 11.

Kaava 11. Ajonopeus (Kammet, n.d. s. 6).

$$v = C * \omega$$

4.1.4 Kokonaismomentti ja vaihdemoottorin suurin sallittu pyörimisnopeus

Renkaille välittyvä kokonaismomentti saadaan kertomalla vaihteen ulostulomomentti rattaiden välityssuhteella kaavalla 12.

Kaava 12. Kokonaismomentti (Kammet, n.d. s. 3).

$$N_{kok.} = N_{vaihte} * i_{rattaat}$$

Kun sopiva sähkömoottori on valittu ja tiedetään, että sitä halutaan käyttää kaksinkertaisella pyörimisnopeudella, tulee myös jarrun maksimipyörimisnopeus ottaa huomioon.

Tarkastelemalla Sew-Eurodriven vaihtovirtamoottoreiden luettelosta löytyvää taulukkoa kuvasta 8, nähdään moottorien ja jarrujen suurimmat sallitut pyörimisnopeudet.

Kuva 8. Moottorien ja jarrumoottorien suurimmat sallitut nopeudet (Sew-Eurodrive, 2014, s. 145).

Motor size	Mounted brakes	Maximum mechanical speed n_{max} in rpm	
		Motor	Brakemotor
DT56	BMG02	6000	4500
DR 63	BR03	6000	4500
DR.71	BE05 or BE1	6000	4500
DR.80	BE05, BE1 or BE2	6000	4500
DR.90	BE1, BE2 or BE5	6000	4500
DR.100	BE2 or BE5	6000	3600
DR.112	BE5 or BE11	5000	3600
DR.132	BE5 or BE11	5000	3600
DR.160	BE11 or BE20	4500	3600
DR.180	BE20, BE30 or BE32	4500	3600
DR.200	BE30 or BE32	3500	3600
	BE60 or BE62 ¹⁾	2600	2500

4.2 Taajuusmuuttajan mitoitus

Taajuusmuuttajan koko valitaan yleensä käyttökohteen ja käytettävän laitteen tehon mukaan. Jos sovelluksessa tarvitaan muuttuvia nopeuksia, on taajuusmuuttaja yleensä oikea ratkaisu tähän. (Sonepar Suomi Oy, n.d.-b) Koska tämän työn kohteessa tulee myös ajoittaisia ylikuormituksia, tulee se ottaa myös huomioon.

4.3 Jarruvastuksen mitoitus

Jarruvastusta mitoittaessa on tärkeää tietää käyttökohde ja sen jarrutusykli. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, kuinka usein laitetta jarrutetaan täydellä teholla. Tämä voidaan laskea, kun tiedetään kuorman ja moottorin hitausmomentti, moottorin vääntö, nopeuden muutos ja hidastusaika. (KEBAmerica, 2023) Kuvassa 9 nähdään Vaconin suosittelemat jarruvastustyypit.

Kuva 9. Taulukko 41, jarruvastustyypit (Danfoss, 2019, s. 127).

Kokoluokka	Käyttöjakso	Jarruvastuksen tyyppi	Vastus [Ω]
MR4	Kevyt käyttö	BRR 0022 LD 5	63.0
	Raskas käyttö	BRR 0022 HD 5	63.0
MR5	Kevyt käyttö	BRR 0031 LD 5	41.0
	Raskas käyttö	BRR 0031 HD 5	41.0
MR6	Kevyt käyttö	BRR 0045 LD 5	21.0
	Raskas käyttö	BRR 0045 HD 5	21.0
MR7	Kevyt käyttö	BRR 0061 LD 5	14.0
	Raskas käyttö	BRR 0061 HD 5	14.0
MR8	Kevyt käyttö	BRR 0105 LD 5	6.5
	Raskas käyttö	BRR 0105 HD 5	6.5
MR9A	Kevyt käyttö	BRR 0300 LD 5	3.3
	Raskas käyttö	BRR 0300 HD 5	3.3
MR9B	Kevyt käyttö	BRR 0520 LD 5	1.4
	Raskas käyttö	BRR 0520 HD 5	1.4

5 Toteutus

Tässä luvussa käydään läpi työn toteutus vaihe vaiheelta alkaen vaihdemoottorin laskennasta, valinnasta ja asennuksesta. Tämän jälkeen siirrytään hydraulikkoneikon valintaan ja harjakoneen rungon valmisteluun. Hydraulikasta siirrytään sähköjärjestelmän uusimiseen, jossa kerrotaan ensimmäisenä taajuusmuuttajan sekä jarruvastuksen valinnasta. Tämän jälkeen kerrotaan sähkökuvien piirtämisestä, ja lopuksi siirrytään sähkökeskuksen suunnittelusta sen rakentamiseen.

5.1 Vaihdemoottorin laskenta

Koko projekti käynnistyi tästä koska vaihdemoottori piti päättää nopeasti, jotta se saapuisi ajoissa tehtaalte ennen viikkoa, jolloin muutostyö oli tarkoitus tehdä. Tämä vaihe oli myös siinä mielessä tärkeä, että jos laskelmat menisivät pieleen eikä kone ei liikkuisikaan uudella moottorilla hyvin, haittaisi se tuotantoa merkittävästi.

Käyttöolosuhteet ovat harjakonetta käytettäessä suhteellisen hyvät, joten tästä ei aiheutunut merkittäviä muutoksia vaihdemoottorin valintaan. Harjakoneen syöttöjännite on 400 V, virta 63 A ja taajuus 50 Hz. Kohteen kannalta ratkaisevinta on tarpeeksi suuren momentin ja

ajonopeuden saaminen, jotta kone jaksaa liikkua tarpeeksi nopeasti ilman kuormitusta tai kuormitettuna.

5.1.1 Kuorman liikuttamiseen vaadittavat voimat

Ensimmäisenä laskettiin vääntömomentti, joka vaihdemoottorin täytyy tuottaa, jotta kone jaksaa lähteä liikkeelle. Tähän tarvitaan muun muassa koneen oma paino, joka on noin 4000 kg ja että se liikkuu teräspyörien avulla teräskiskoilla. Tähän tarvitsemme kaavaa 2, jolla saatiin laskettua, että koneen liikkeelle saamiseksi tarvittava vääntömomentti on:

$$F_F = 4000 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \left(\frac{2}{290 \text{ mm}} * \left(0,005 * \frac{70 \text{ mm}}{2} + 0,5 \text{ mm} \right) + 0,003 \right) = 300 \text{ NM}$$

Tämän jälkeen laskettiin sähkömoottorin staattinen teho. Koska muut muuttujat olivat tiedossa, tarvittiin enää vaihteen ja rattaiden kokonaishyötysuhde. Se laskettiin kaavalla 3. Näin saatiin kokonaishyötysuhteeksi 0,85, jonka jälkeen voitiin laskea staattinen teho kaavalla 4.

$$P_s = \frac{300 \text{ Nm} * 0,65 \text{ m/s}}{0,85} = 0,23 \text{ kW}$$

Seuraavaksi laskettiin laitteen suurin sallittu kiihtyvyys ennen kuin renkaat alkavat luistaa kaavalla 5. Tässä työssä suurin sallittu kiihtyvyys laskettiin vain, jotta saatiin seuraavaan kaavaan jokin referenssi luku moottorin tehoa ajatellen. Moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla, joten kiihtyvyyteen voidaan vaikuttaa säätämällä sen parametrejä.

$$a_p = \frac{1}{2} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 0,15 = 0,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Kun kaikki tarvittavat tiedot moottorin kokonaistehon laskemiseksi oli saatavilla, laskettiin se käyttämällä kaavaa 6.

$$P_\tau = \frac{4000 \text{ kg} * 0,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,63 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,85} + \frac{300 \text{ N} * 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,85} = 2,5 \text{ kW}$$

Vaikka laskutoimituksella saatiin moottorin kooksi 2,5 kW, valitsimme sähkömoottorin tehoksi yhtä kokoa seuraavan, joka oli 3 kW:n 4 napainen sähkömoottori. Vaihteen

vääntömomentiksi haluttiin vähintään 300 Nm. Seuraavassa luvussa käydään läpi tarkemmin, kuinka sille laskettiin sopiva välityssuhde, jotta saatiin myös haluttu ajonopeus.

5.1.2 Ajonopeus

Ensin laskettiin kaavalla 7 vaihteen jälkeisten komponenttien välityssuhde.

$$\frac{0,290 \text{ m}}{0,117 \text{ m}} = 2,48$$

Kun vaihteen jälkeisten komponenttien välityssuhde tiedettiin, laskettiin kokonaisvälityssuhde kaavalla 8.

$$x * 2,48 = 41,5$$

Näin saatiin x:n arvoksi 16,75. Tätä arvoa ja valitun moottorin tehoa hyväksi käyttäen saatiin Sew-Eurodriven katalogista valittua vaihdemoottori, jonka välityssuhde oli 16,81. Kokonaisvälityssuhteeksi tuli 41,67, joka oli tarpeeksi lähelle haluttua. Tämän jälkeen laskettiin renkaan pyörimisnopeus kaavalla 9.

$$\frac{1450}{41,67} = 34,8 \frac{r}{min}$$

Kun renkaan pyörimisnopeus oli tiedossa, laskettiin kaavalla 10 renkaan kehän pituus.

$$\pi * 0,290 \text{ m} = 0,91 \text{ m}$$

Tämän jälkeen voitiin laskea laitteen lopullinen ajonopeus kaavalla 11, joka jaetaan 60 sekunnilla. Näin saatiin laitteen lopullinen ajonopeus sekunneissa.

$$\frac{0,91 \text{ m} * 34,8 \frac{r}{min}}{60 \text{ s}} = 0,53 \frac{m}{s}$$

Nostamalla taajuus taajuusmuuttajalla noin 100 hertsiin, jolloin moottorin pyörimisnopeus on 2900 r/min, saatiin laskettua kaavalla 6 ajonopeudeksi 1,05 m/s. Tämä oli riittävä nopeus, mutta vielä piti varmistaa valmistajan määrittelemät moottorin ja jarrun maksimi kierrosnopeudet. Ne käydään läpi seuraavassa luvussa.

5.2 Vaihdemoottorin valinta

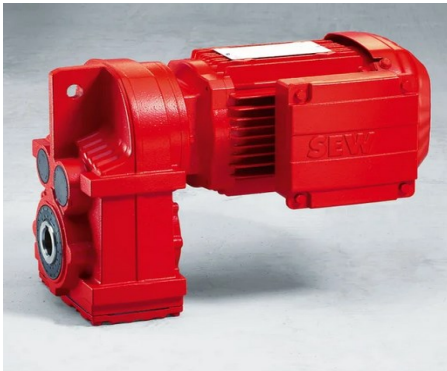
Kun kaikki tarvittava tieto oli laskettu, valittiin sopivan moottori Sew-Eurodriven tuotekatalogista. Valitun moottorin kierrosnopeus oli 1456 rpm ja toisiomomentti 330 Nm. Renkaille välittyvä kokonaismomentti saatiin kertomalla vaihteen ulostulomomentti rattaiden välityssuhteella kaavalla 12, josta saatiin tulokseksi 818,5 Nm.

Moottorin sähkömekaanisen jarrun malli oli BE5. Koska moottoria haluttiin käyttää kaksinkertaisella nimellisnopeudella, täytyi tarkistaa valmistajan sivuilta, onko se mahdollista.

Valitun moottorin malliksi tuli DR. 100 joka on 4 napainen. Tarkastellaan vaihtovirtamoottoreiden luettelosta löytyvää taulukkoa kuvasta 8, josta näemme, että moottorin suurin sallittu nopeus on 6000 rpm ja jarrullisena 3600 rpm. Näin voitiin todeta moottorin olevan tarkoitukseen sopiva.

Työssä päädyttiin tappivaihdemoottoriin, koska kyseisen vaihdetyypin asennustavan takia se mahtuu hyvin suunnitellulle paikalleen, eikä koneen rungolle tarvitse tehdä suuria muutoksia. Näin myös välitys akseli ja sen laakerit pysyvät samoina kuin aikaisemmin. Kuvassa 10 nähdään tyypillinen lieriötappivaihdemoottori.

Kuva 10. Lieriötappivaihdemoottori (Sew-Eurodrive, n.d.).



5.3 Vaihdemoottorin asennus

Uuden vaihdemoottorin asentaminen oli suhteellisen yksinkertainen prosessi. Ensimmäisenä poistettiin vanha hydraulinen vetomoottori, vanha vetoakseli ja renkaiden ketjut. Seuraavaksi sovitettiin uusi vaihdemoottori uuden vetoakselin ja laakereiden kanssa paikoilleen.

Kun laakereiden kiinnityspultit oli laitettu paikoilleen mutta jätetty löysälle, voitiin uudet rullaketjut pujottaa paikoilleen ja tämän jälkeen kiristää nostamalla vetoakselia. Kun ketjut olivat sopivalla kireydellä, kiristettiin laakerien pultit ja akselin laakerien pidätinruuvit. Tämän jälkeen vaihteen momenttituen paikka mitattiin ja hitsattiin kiinni, minkä jälkeen ajoon liittyvät mekaaniset komponentit olivat paikoillaan.

Mekaanisen asennuksen jälkeen kytkettiin taajuusmuuttajalta tuodut syöttö- ja jarrukaapelit moottoriin. Kuvassa 11 nähdään vaihdemoottori paikoillaan noin viikon käytössä olleena.

Kuva 11. Vaihdemoottori.



5.4 Hydraulikkakoneikko

Uutta hydraulikkakoneikkoa suunnitellessa kaikkein järkevimmäksi vaihtoehdoksi katsottiin tilata uusi kompakti koneikko oikean kokoisella pumpulla. Näin "konehuoneen" tila saataisiin käytettyä mahdollisimman tehokkaasti ja päästäisiin eroon lähes kaikista vanhoista hydraulikan osista.

Koneikko valittiin luvun 2.2.4 kuvattujen menetelmien mukaisesti, jolloin vanhan pumpun tilavuusvirran avulla päädyttiin uuden pumpun tilavuusvirtaan, joka on 32,2 l/min.

Sähkömoottori valittiin haluttavan maksimipaineen mukaisesti, jolloin päädyttiin 11 kW:n tehoiseen ja 1400 rpm sähkömoottoriin. Hydraulikkasäiliön koko saatiin laskemalla tilavuusvirta kerrottuna kolmella, jolloin päädyttiin 100 litran öljysäiliöön. Tästä seuraava koko olisi ollut 150 litraa, ja se olisi taas vienyt liikaa tilaa konehuoneesta.

Työn alkaessa ensimmäisenä runko valmisteltiin purkamalla kaikki vanhat hydraulikkaan liittyvät osat koneen takaosasta, joka näkyy kuvassa 12.

Kuva 12. Koneen runko ennen puhdistusta.



Seuraavaksi runko pestiin ja kuivattiin, jonka jälkeen vuosien saatossa kerääntyneet likakerrostumat puhdistettiin hiomalla mekaanisesti kulmahiomakoneella ja paineilmakäyttöisellä teräsharjalla. Tämä työvaihe oli odotettua pidempi ja se kesti lähes kaksi työpäivää. Kuvassa 13 konehuone pesun, hionnan ja karkean pohjamaalauksen jälkeen.

Kuva 13. Konehuone puhdistettuna ja pohjamaalattuna



Kun koneikolle löydettiin sopiva paikka, tehtiin sille uudet kiinnitysreiät ja asennettiin paikoilleen. Kuvassa 14 koneikko kiinnitettynä lopulliselle paikalleen ilman letkuja ja muita komponentteja. Hydraulikkaletkut ja painesuodatin asennettiin vasta kun sähkökeskus ja kaikki sähkökaapelit olivat paikoillaan.

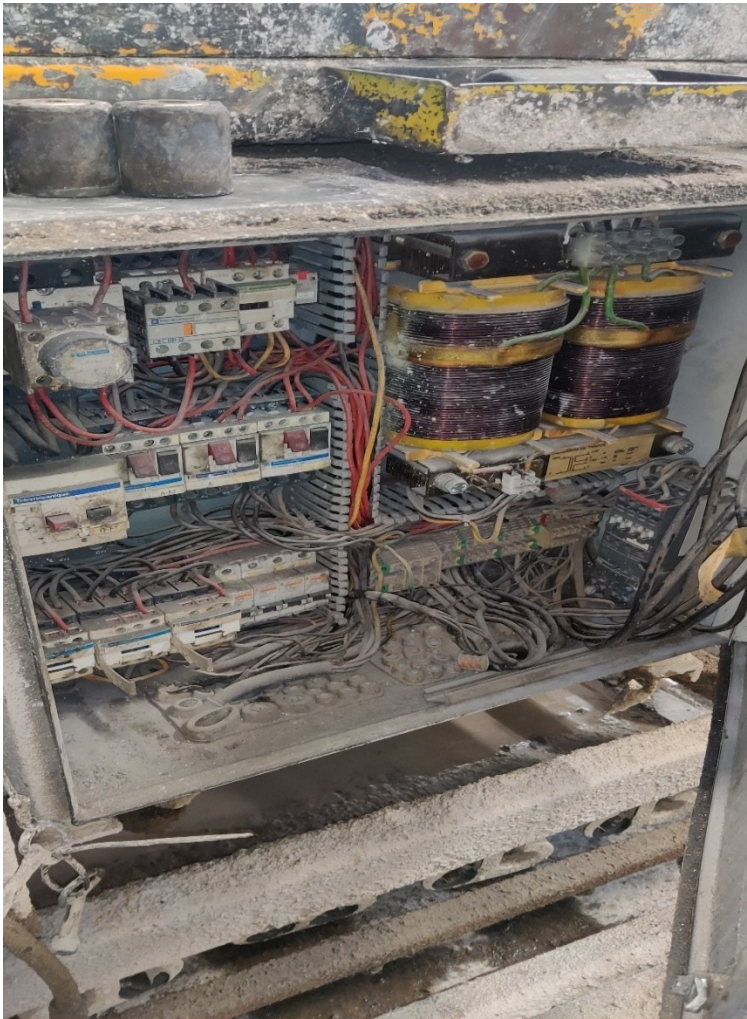
Kuva 14. Uusi hydraulikkakoneikko.



5.5 Sähköjen uusiminen

Koska kuvassa 15 näkyvä vanha sähkökeskus oli pieni, huonokuntoinen ja komponentit vaativat päivitystä, päätettiin se vaihtaa kokonaan uuteen. Taajuusmuuttajalle tuli asentaa suojakotelo, joten isommalla keskuksella saatiin myös se onnistumaan.

Kuva 15. Vanha sähkökeskus.



5.5.1 Taajuusmuuttajan valinta

Tässä työssä, kun sähkömoottorin teho on 3 kW ja varauduttiin siihen, että tulevaisuudessa asennettaisiin myös toinen samanlainen, valittaisiin taajuusmuuttaja 6 kW:n kokonaistehon perusteella. Edellä mainitusta syystä 7,5 kW:n tehoinen taajuusmuuttaja olisi oikea vaihtoehto. Työssä päädyttiin Vacon merkikseen taajuusmuuttajaan, koska niistä oli jo ennestään hyviä kokemuksia. Meille oli jäänyt sattumalta toisesta projektista ylimääräiseksi Vaconin 11 kW:n taajuusmuuttaja, joten sitä päätettiin hyödyntää, vaikka se onkin suurempi kuin olisi tarve.

5.5.2 Jarruvastuksen valinta

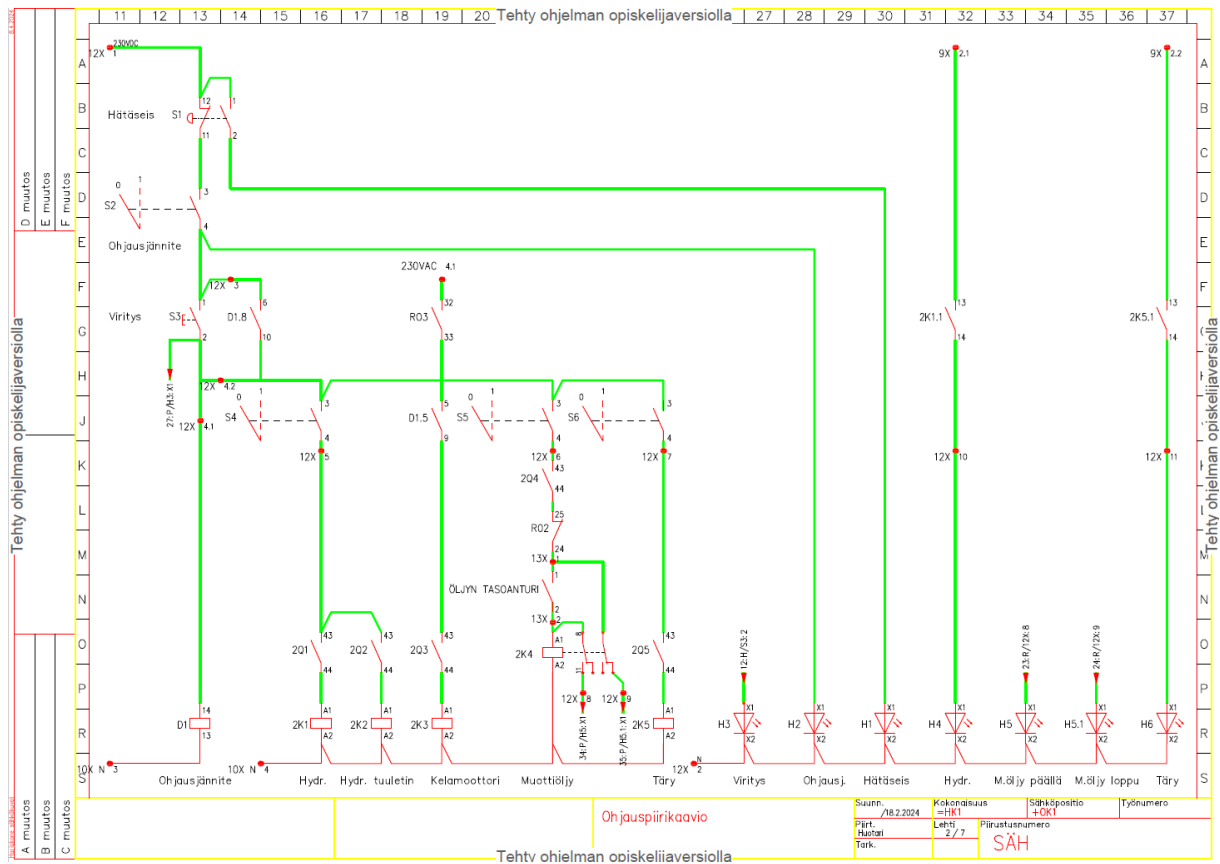
Vastus valittiin Vacon 100 seinään kiinnitettävät taajuusmuuttajat käyttöoppaan suosituksen mukaisesti. Luvun 4.3 kuvassa 9 nähdään oppaan taulukko 41, josta tarkastettiin suositeltu jarruvastustyyppi valitulle kokoluokan MR5 taajuusmuuttajan raskaalle käytölle, joka on BRR 0031 HD 5.

5.5.3 Sähkökuvien piirtäminen

Koska koneen vanhat sähkökuvat olivat puutteelliset jo ennen muutosta, päivitettiin myös ne ajan tasalle. Kun uudet kuvat olivat lähes valmiit, käytettiin niitä apuna itse keskuksen rakentamisessa. Kuvat helpottivat keskuksen komponenttien johtojen kytkemisessä, eikä tarvinnut toimia muistin varassa työtä tehdessä. Kuvassa 16 nähdään kuvakaappaus ohjauspiirikaaviosta.

Keskusta rakennettaessa ja johtoja kytkiessä tuli kuitenkin eteen asioita, mitä ei osattu ennakoida tai ollut huomioitu kuvia piirtäessä. Tästä syystä kaikki muutokset tulisi merkitä joko tulosteisiin, tai suoraan tietokoneohjelmaan. Näin toimimalla välttyttäisiin epäselvyyksiltä työn edetessä. Tässä työssä keskuksen ollessa suhteellisen pieni, oli epäselvät kohdat kuitenkin helposti tarkistettavissa jälkikäteen.

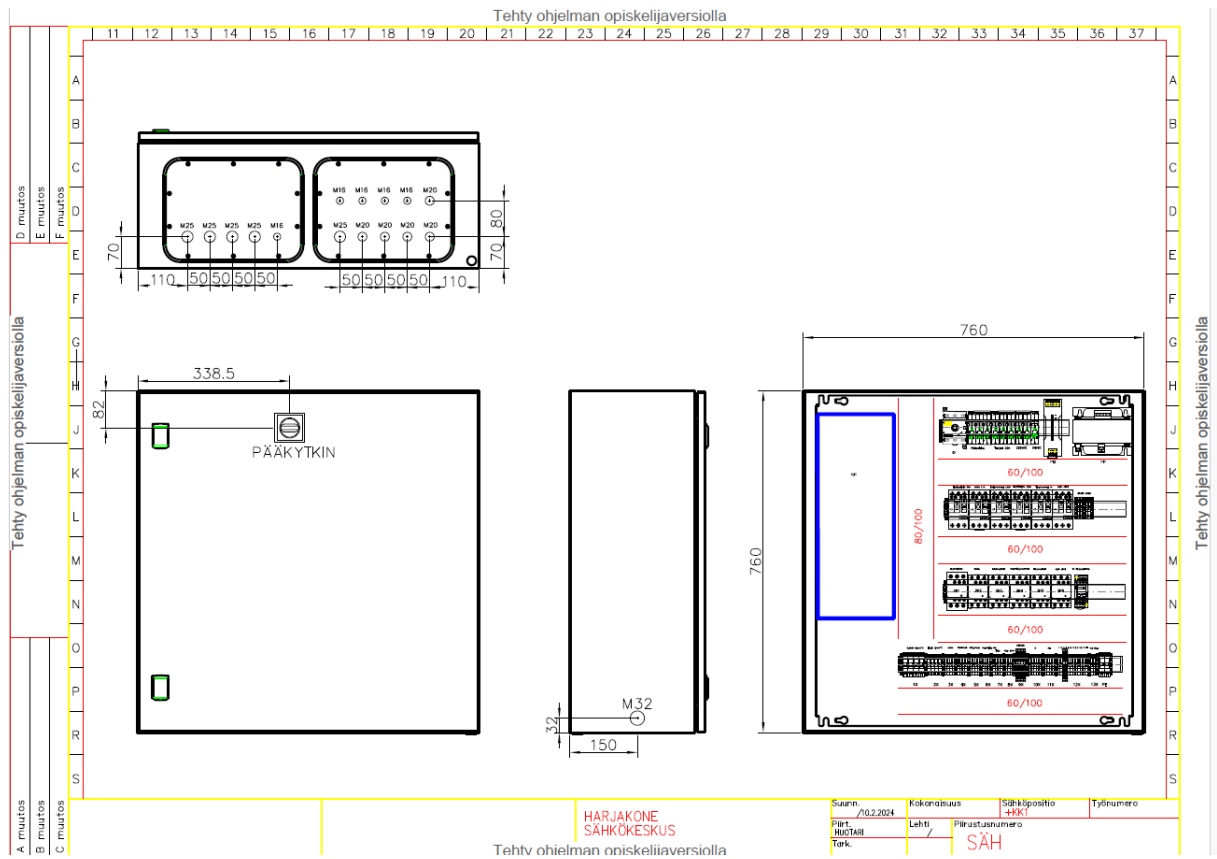
Kuva 16. Ohjauspiirikaavio.



5.5.4 Keskukseen rakentaminen

Uusi keskus suunniteltiin piirtämällä ja mitoittamalla se ensin Cadmatic ohjelmalla, jolloin komponentit oli helppo asentaa suoraan oikeille paikoilleen. Tätä helpotti se, että monien valmistajien sivuilta voi ladata komponenttien kuvat oikeassa mittakaavassa. Kaikista komponenteista ei kuvia ollut kuitenkaan saatavissa, joten komponenttia kuvaava piirros oli näissä tilanteissa tehtävä itse. Puuttuvien komponenttikuvien piirtäminen käsin, ilman saatavilla olevaa kirjastoa aiemmista vastaavista luonnoksista, oli aikaa vievää työtä. Kuvassa 17 on sähkökeskus cadmatic ohjelmalla piirretty.

Kuva 17. Sähkökeskuksen cadmatic piirustus.



Kuvassa 18 näkyy uuden keskuksen komponentit asennettuna valmiiksi pohjalevyille, joka voidaan nostaa suoraan varusteltuna keskuksen sisään.

Kuva 18. Uuden keskuksen pohjalevy kalustettuna.



Koska uusi keskus oli vanhaa jonkin verran isompi, päätettiin se sijoittaa koneen sivulle, josta siihen pääsee myös tarvittaessa paremmin käsiksi. Kuvassa 19 sähkökeskus omalla paikallaan odottamassa kaapelointia.

Kuva 19. Uusi sähkökeskus paikallaan.



Uusille kaapeleille tehtiin samalla uudet reitit, mutta määrän ollessa pieni siitä aiheutunut työn määrä oli kohtuullinen.

Kuvassa 20 keskus kokonaan valmiina, kun kone on ollut käytössä noin viikon verran. Erona kahteen aikaisempaan kuvaan on muun muassa oikealla ylhäällä suojaerotusmuuntajan vieressä näkyvä 24 voltin tasavirtalähde, joka jouduttiin lisäämään taajuusmuuttajan oman apujännitelähdön virran ollessa riittämätön sauvaohjaimen ohjauksiin. Laite toimi ilman edellä mainittua virtalähdettä, mutta taajuusmuuttaja hälytti apujännitelähdön ylivirtaa ajoittain, joten sen lisääminen koettiin tarpeelliseksi.

Kuva 20. Valmis sähkökeskus.



Kuvassa 21 näkyy koneen vanha, käynnistyksen, pysäytyksen ja lisätoiminnot sisältävä ohjauskotelo, joka uusittiin samalla kertaa.

Kuva 21. Vanha ohjauskotelo.



Kuvassa 22 nähdään uusi ohjauskotelo.

Kuva 22. Uusi ohjauskotelo.



6 Käyttöönotto

Tässä luvussa kerrotaan ensin, miten kone toimi uusilla komponenteilla. Tämän jälkeen vertaillaan vanhan ja uuden järjestelmän sähkönkulutusta, sekä sähkönlaskujen suuruuksia excel taulukon avulla.

6.1 Koneen käyttäytyminen

Kun kaikki tarvittava oli saatu kiinni ja kytkettyä, oli aika asettaa taajuusmuuttajan parametrit ja testata konetta käytännössä. Vacon taajuusmuuttajan parametrien asettaminen oli helppoa, ja käyttökieleksi voi valita myös suomen. Käytännössä laitteelle annetaan vain sähkömoottorin teho, käyttöjännite, virta ja tehokerroin. Tämän jälkeen asetetaan haluttu ohjauspaikka, -tapa, sekä minimi- ja maksimitaajuudet.

Laitetta oli tarkoitus käyttää sauvaohjaimella, jossa on potentiometri, jonka avulla voidaan ohjata taajuutta taajuusmuuttajan analogitulon kautta 0–10 voltin jännitteellä. Edellä mainittuun jouduttiin kuitenkin tekemään vielä hieman muutoksia ja sen takia jouduttiinkin käyttämään normaalia kahdella kärjellä varustettua sauvaohjainta. Haittapuolena tässä oli

se, että kyseisellä ohjaussauvalla käytössä ei ollut kuin yksi nopeus, jonka kiihdytystä ja hidastusta pystyttiin muuttamaan pelkästään taajuusmuuttajan ramppi asetuksia säätämällä.

Ensi käynnistyksellä kaikki hydrauliiikan toiminnot toimivat heti oikein, mutta ajon kanssa ilmeni ongelmia. Taajuusmuuttaja antoi ajaa konetta vain muutaman metrin kumpaankin suuntaan, mutta hälytti sen jälkeen saman tien joko ylivirtaa tai moottorin ylikuumentumista. Hetken asetusten muuttelun jälkeen tultiin lopputulokseen, että taajuusmuuttaja on rikki. Tästä oli epäily jo aikaisemman projektin aikana, missä sama taajuusmuuttaja oli ollut käytössä. Silloin kyseessä ollut laite oireili lähes samalla tavalla, minkä takia silloinkin ostettiin uusi. Oli kuitenkin pieni epäily, että oireilu olisi saattanut johtua aiemmin muusta syystä, minkä takia päätettiin koittaa kyseistä taajuusmuuttajaa vielä tässä projektissa. Seuraavana päivänä kun uusi taajuusmuuttaja saatiin asennettua paikalleen, alkoi kone toimimaan heti.

Muutaman päivän koneella ajon jälkeen saatiin laitettua alun perin haluttu ohjaussauva paikalleen, jonka jälkeen koneen käyttäytyminen oli todella lähellä alkuperäistä. Alun perin koneessa kiinni olleelle hydrauliiikkaöljyn lauhduttimellekaan ei ollut enää tarvetta, koska hydrauliiikan käyttöaika lyheni ja tankki on suhteessa isompi tilavuusvirtaan nähden kuin aikaisemmin. Näin ollen öljyn lämpötilan pysyessä kurissa, voitiin lauhdutin jättää pois.

6.2 Sähkönkulutus uusilla komponenteilla

Koneen sähkönkulutus laskettiin arvioimalla ensin, monta teräspunoksien vetoa on keskimäärin valmisteltaessa valumuottia. Tämän jälkeen laskettiin, kuinka paljon muotin valmisteluun menee aikaa. Lopuksi laskettiin koneen ajonopeuksien avulla, kuinka kauan se on käynnissä vuodessa. Tässä otettiin huomioon myös se, että vanhalla järjestelmällä hydrauliikkamoottori pyöri koko ajan, kun kone seisoj esimerkiksi teräspunoksien lukkojen kiinnityksen ajan.

Kun tiedettiin koneen käyttöaika vuodessa ennen ja jälkeen muutoksen, pystyttiin virrankulutuksien mittausten perusteella laskea koneen vuosittainen sähkönkulutus käyttäen apuna kaavaa 1.

Ennen muutosta paikallaan käyvä kone kulutti virtaa 22 ampeeria. Ajettaessa valumuotin päästä päähän tyhjänä, virran käyttö oli 30 ampeeria. Muottia harjatessa keskiarvo oli noin 43 ampeeria. Uuden järjestelmän virran kulutus oli muottia harjatessa noin 16 ampeeria, konetta liikutettaessa 4 ja paikallaan ollessaan lähes 0 ampeeria.

Kun vanhalla järjestelmällä sähkömoottorien keskiarvo sähkön ottoteho oli noin 17,5 kW, oli se uudella järjestelmällä 3,7 kW.

Uusilla komponenteilla sähkönkulutus tippui vuositasolla noin 7860kW/h verrattuna vanhaan hydraulikkakäyttöön, joka tarkoittaa sitä, että nykyisellä sähkösopimuksella kone säästää pelkästään sähkön kulutuksen pienentymisen ansiosta noin 1180 euroa vuodessa.

Kuvassa 23 on laskelmat vanhan ja uuden järjestelmän sähkönkulutuksella.

Kuva 23. Sähkön hinnat ja säästö.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2													
3													
4	Ennen muutosta			Kumulatiivinen sähkön hinta (euroa)									
5	Sähkön hinta ja siirto (euroa/kwh)	0,15		1. Vuosi	2. Vuosi	3. Vuosi	4. Vuosi	5. Vuosi	6. Vuosi	7. Vuosi	8. Vuosi	9. Vuosi	10. Vuosi
6	Käyttöaika tunneissa/vuosi	495		1303,09	2606	3909	5212	6515	7819	9122	10425	11728	13031
7	Koneen mitattu keskiarvo sähkönteho (kW)	17,55											
8	Sähkölasku vuodessa	1303,09											
9													
10	Muutoksen jälkeen			Kumulatiivinen säästö (euroa)									
11	Sähkön hinta ja siirto (euroa/kwh)	0,15		1. Vuosi	2. Vuosi	3. Vuosi	4. Vuosi	5. Vuosi	6. Vuosi	7. Vuosi	8. Vuosi	9. Vuosi	10. Vuosi
12	Käyttöaika tunneissa/vuosi	225		1178,55	2357	3536	4714	5893	7071	8250	9428	10607	11786
13	Koneen mitattu keskiarvo sähkönteho (kW)	3,69											
14	Sähkölasku vuodessa	124,54											

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön päätavoite oli muuttaa harjakoneen hydraulikalla toimiva ajo sähkömoottori ja taajuusmuuttaja käyttöiseksi. Samalla koneen sähkökeskus, hydraulikkakoneikko ja sähkökaapelit oli tarkoitus uusita. Muutoksen tarkoitus oli, että koneen huoltovarmuutta saataisiin lisättyä merkittävästi sekä vähennettyä kokonaissähkönkulutusta.

Työ meni pääpiirteittäin niin kuin oli suunniteltu, ja kaikki paitsi taajuusmuuttaja toimi heti niin kuin pitikin. Vaihdemootorin vääntömomentti oli riittävä koneen liikuttamiseen ja muuhun koneella tehtävään työhön. Koneen ajon käyttäytymistä pystyy nyt myös säätämään helpommin taajuusmuuttajan ansiosta.

Nyt kun koneen hydraulijärjestelmän komponenttien määrä on laskenut vanhaan järjestelmään verrattuna merkittävästi, on myös öljyvuojojen todennäköisyys paljon pienempi ja kone on helpompi pitää puhtaana.

Sähkökeskus rakennettiin kokonaan uudelleen ja samalla kaikki sähkökaapelit uusittiin. Tämän ansiosta sähkövikojen todennäköisyys on vähäinen, mutta jos sellainen ilmenee, on se merkittävästi helpompi selvittää ajan tasalla olevien sähkökuvien ansiosta.

Keskuksen rakentamisessa olisi voinut käyttää muutamissa kohdissa hieman kapeampia johtokouruja, jolloin keskuksessa olisi ollut vielä enemmän tilaa. Joidenkin komponenttien toimitusajat olivat odotettua pidempiä, vaikka komponentit olivat kuitenkin yleisesti teollisuudessa käytössä olevia.

Koneen sähkönkulutus laski vanhaan hydraulikalla toimivaan järjestelmään verrattuna noin 90 %, mikä nykyisellä sähkösovimuksella tuo säästöä vuodessa noin 1180 euroa. Nyt kun kone kulkee lähes kaksi kertaa nopeammin kuin ennen, on oleellista huomioida myös se, että tuotantokin tehostui koneen liikkeessä nopeammin koska muotit saadaan nopeammin valukuntoon.

Valumuotin valmisteluun liittyvä koneen käyttöaika lyheni keskimäärin noin kymmenellä minuutilla. Tämä kerrottuna viidellä valumuotilla päivässä, viitenä päivänä viikossa, neljänä viikkona kuukaudessa ja yhdellätoista kuukaudella vuodessa on valumuotin esivalmistelussa säästetty aika noin 183 tuntia. Tästä tulee säästöä vuodessa 2745 euroa, jos työntekijän tuntipalkkana on esimerkiksi 15 euroa. Näin ollen sähkönkulutuksessa kertynyt säästö lisättyinä yllä olevaan, saadaan laskettua, että kone maksaisi tuolla tuntipalkalla, valumäärillä ja sähkön hinnalla kaikki tässä työssä uusitut komponentit takaisin noin kolmessa vuodessa.

Itse toteutukseen meni työtunteja seitsemän päivän aikana noin 98, viikonloppu mukaan lukien, joten hieman piti työpäivän pituutta kasvattaa.

Kaiken kaikkiaan työ oli todella monipuolinen ja opin sen aikana aina sähkökäytön mitoitukselta keskuksien suunnitteluun, sekä sähkökuvien piirtämisestä projektin toteutukseen.

Kuvassa 24 nähdään kone valmiina.

Kuva 24. Kone valmiina.



Kuvassa 25 kone valmiina oikeasta takakulmasta kuvattuna.

Kuva 25. Kone toisesta kulmasta.



Lähteet

ABB Industry Oy. (2001). *Tekninen opas numero 7*.

<https://tinyurl.com/8nxanrmu>

Betset-yhtiöt. (n.d.-a). *Yritys*.

<https://betset.fi/yritys/>

Betset-yhtiöt. (n.d.-b). *Tuotteet*. Haettu 14.2.2024 osoitteesta

<https://betset.fi/tuotteet/>

Rexroth Bosch Group. (2017).

7 tips for designing or specifying the right hydraulic power unit.

<https://tinyurl.com/mwjkj5a4>

Danfoss. (2019). *Taulukko 41, jarruvastustyypit* [kuva].

<http://tinyurl.com/4buurwvz>

Danfoss. (n.d.). *What is a variable frequency drive?*

<https://tinyurl.com/46pra43k>

Deziel, C. (2018). *Rack and pinion gear ratio*.

<https://sciencing.com/rackandpinion-gear-ratio-7308536.html>

Eepower. (n.d.). *Resistor applications*.

<https://eepower.com/resistor-guide/resistor-applications/braking-resistor/#>

Emotorsdirect. (2022). *What is more efficient: hydraulic or electric motors?*

<http://tinyurl.com/nbdx3mut>

Fluid Finland. (2003). *Hammaspyörä- ja mäntäpumput*.

<https://salhydro.fi/files/PDF/3.hammaspyora-ja-mantapumput.pdf>

Gannon, M. (2015). *Hydraulic reservoir design considerations*.

<https://fluidpowerworld.com/understanding-hydraulic-reservoir-designs/>

Kammet, J. (n.d.). *Exploring robotics*.

https://www.sci.brooklyn.cuny.edu/~kammet/gear_notes.pdf

KEBAmerica. (2023). *When and how should I select a braking resistor?*

<https://www.kebamerica.com/blog/when-and-how-should-i-select-a-braking-resistor/>

Powermotiontech. (2023). *Fundamentals of hydraulic reservoirs*.

<https://tinyurl.com/eu53wkh8>

Sew-Eurodrive. (2024). *Moottorien ja jarrumoottorien suurimmat sallitut nopeudet* [kuva].

https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf_u/19290411.pdf

Sew-Eurodrive. (n.d.). *Lieriötappivaihdemoottori* [kuva].

<https://tinyurl.com/3paz3yyh>

Sew-Eurodrive. (2001). *Project planning of drives*.

<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/10522913.pdf>

SKS Group. (n.d.). *Kolmivaihemoottorin teho*.

<https://www.sks.fi/suunnittelijalle/laskurit/kolmivaihemoottorin-teho>

Sonepar Suomi Oy. (n.d.-a). *Taajuusmuuttaja* [kuva]. Haettu 21.3.2024 osoitteesta

<https://tinyurl.com/yc79etzx>

Sonepar Suomi Oy. (n.d.-b). *Tamu vai pehmo, käyttötarkoitus ratkaisee*.

<https://ideat.sonepar.fi/tamu-vai-pehmo-kayttotarkoitus-ratkaisee/>

Tractian. (n.d.). *Induction motors revolutionizing the industry*.

<https://traction.com/en/blog/induction-motors-revolutionizing-the-industry>

Wikihow. (2023). *How to determine gear ratio*.

<https://www.wikihow.com/Determine-Gear-Ratio>