



GEN1 voiteluyksikön integrointi MC- vaihdesarjaan

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, Riihimäen kampus

Kevät, 2024

Olli Nieminen

Konetekniikka

Tekijä Olli Nieminen

Työn nimi GEN1 voiteluysikön integrointi MC- vaihdesarjaan

Ohjaaja Teppo Syrjäaho (HAMK), Tarmo Räisänen (SEW)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö tehtiin SEW Industrial Gears Oy:n toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli uuden GEN1- voiteluysikkösarjan integroiminen yrityksen vanhaan MC- vaihdesarjaan. GEN1- voiteluysiköt on alunperin suunniteltu X- vaihdesarjaan.

GEN1- voiteluysiköiden yhteensopivuutta MC- vaihteisiin arvioitiin kahdella kriteerillä: pumpun tuottaman tilavuusvirran suhteella vaihteen öljymäärään sekä jäähdytystehon tarvetta vaihteella suhteessa voiteluysiköiden jäähdytystehoon. Tiedot kerättiin ja taulukoitiin, jolloin saatiin listaus kaikista yhteensopivista vaihdetyypeistä ja voiteluysiköistä.

Kun yhteensopivuudet saatiin selvitettyä, seuraava tavoite oli suunnitella täydellinen 3D- malli yhdestä vaihdekoosta kaikilla voiteluysikkövariaatioilla. Kyseiselle vaihdetoolle suunniteltiin kolme konfiguroituvaa mallia. Vesijäähdytteiselle voiteluysikölle suunniteltiin mallit vaaka- sekä vertikaaliasentoisille vaihteille. Ilmajäähdytteinen voiteluysikkö suunniteltiin vaaka- asenteiselle vaihteelle. Mallien konfiguraatioihin suunniteltiin kyseiselle vaihdetoolle sopivat voiteluysikkökoot sekä kaikki eri variaatiot.

Suunnittelun pohjaksi otettiin X- sarjaan suunnitellut voiteluysikkökokoonpanot. Voiteluysiköiden osakokoonpanojen kiinnitystä varten suunniteltiin uudet kiinnityslevyt sekä imu- ja paineletkuille omat osakokoonpanonsa. X- sarjassa imu- ja paineliitäntä on suunniteltu putkilla mutta tahtotilana MC- vaihdesarjan kanssa oli suunnitella nämä letkuilla.

Tehtyjen 3D- mallien avulla suunniteltiin geneeriset kokoonpanokuvat vesi- ja ilmajäähdytteisille voiteluysiköille, kun vaihde on asennettu vaaka- asentoon. Lisäksi vertikaaliasentoon asennetulle vaihteelle suunniteltiin kokoonpanokuva vesijäähdytteisellä voiteluysiköllä. Kokoonpanokuvista selviää kaikkien osien osanumerot sekä asennuspaikat. Voiteluysikköä kokoonpantaessa, osaluettelon ja kokoonpanokuvan avulla jokainen vakioito voiteluysikkövariaatio saadaan kokoonpantua. Kokoonpanokuvista tehtiin myös asiakasversiot, josta asiakas näkee jokaisen osanumeron paikan ja pystyy näin tilaamaan oikeita varaosia.

Kun voiteluysiköiden kokoonpanojen osille määritettiin osanumerointi, pystyttiin alkamaan luomaan tuotestandardia. Tuotestandardin tarkoituksena on listata kokoonpanoon tarvittavat osat nimiketasolla, jolloin listaa lukemalla pystytään luomaan osaluettelo voiteluysikölle kaikilla sen vakiovarusteilla. Tuotestandardiin lisättiin tehdyn 06- kokoisen vaihteen kaikkien voiteluysikkö variaatioiden kokoonpanoon tarvittavat osat. Kun muita kokoja saadaan valmiiksi, lisätään osat tuotestandardiin ja lopullisessa muodossa tuotestandardin tiedot saadaan siirrettyä suoraan tuote konfiguraattoriin.

Avainsanat voiteluysikkö, teollisuusvaihde, jäähdytys

Sivut 57 sivua ja liitteitä 24 sivua

The thesis was commissioned by SEW Industrial Gears Oy. The purpose of the work was to integrate the new GEN1 lubrication unit series into the company's old MC gear unit series. The GEN1 lubrication units are originally designed for the X series gear units.

The compatibility of GEN1 lubrication units with MC gear units was evaluated with two criteria: the ratio of the oil flow produced by the pump to the amount of oil in the gear unit, and the need for cooling power in the gear in relation to the cooling power of the lubrication units. The data was collected and tabulated, resulting in a listing of all compatible gear types and lubrication units.

After the compatibility has been established, the next goal was to design complete 3D models of one gear unit size with all lubrication unit variations. Three configurable models were designed for this gear size. Models for horizontal and vertical gear units were designed for the water-cooled lubrication unit. The air-cooled lubrication unit was designed for a gear unit mounted horizontally.

The design was based on the lubrication unit configurations designed for the X series. New mounting plates were designed for attaching the subassemblies of the lubrication units, as well as subassemblies for the suction and pressure hoses. In the X series, the suction and pressure connections are designed with pipes, but with the MC gear series, the intention was to design these with hoses.

With the help of the designed 3D models, generic assembly drawings were designed for water- and air-cooled lubrication units, when the gear unit is installed in a horizontal position. In addition, an assembly drawing with a water-cooled lubrication unit was designed for the gear unit mounted in a vertical position. The assembly drawings show the part numbers and installation locations of all parts. When assembling the lubrication unit, each standardized lubrication unit variation can be assembled with the help of the parts list and assembly drawing. Customer versions were also made of the assembly drawings, from which the customer can see the location of each part number.

When part numbering was determined for the parts of the lubrication unit assemblies, it was possible to start creating a product standard. The purpose of the product standard is to list the parts needed for the assembly at item level, so by reading the list it is possible to create a parts list for the lubrication unit with all its standard equipment. The parts needed for the assembly of all lubrication unit variations of the made 06 size gear units were added to the product standard. When other sizes are completed, parts are added to the product standard and in the final form, the product standard information can be transferred directly to the product configurator.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teollisuusvaihteet	2
2.1	MC- vaihdesarja.....	4
2.1.1	Käyttö.....	6
2.1.2	Teho.....	7
2.1.3	Asennusasennot.....	9
2.1.4	Modulaarisuus	11
3	Teollisuusvaihteen voitelu	12
3.1	Roiskevoitelu	13
3.2	Kylpyvoitelu.....	14
3.3	Painevoitelu	14
3.4	Voitelu MC- vaihdesarjassa	15
4	Gen1 voiteluyksiköt.....	15
4.1	ONP1.....	17
4.2	OAC1/OAP1	20
4.3	OWC1/OWP1	23
5	Voiteluyksikön valinta.....	25
5.1	OAC1 valinta MC- vaihteisiin	26
5.2	OWC1 valinta MC- vaihteisiin.....	28
5.3	Voiteluyksikön valinnan yhteenveto	30
6	Suunnittelu.....	31
6.1	Imuliitäntä	32
6.2	Paineliitäntä	34
6.3	Vaihteeseen kiinnitettävä OAC1.....	39
6.4	Vaihteeseen kiinnitettävä OWC1.....	44
6.5	Tuotestandardi.....	50
7	Yhteenveto.....	52
7.1	Lopputulos	53
7.2	Oma arvio	56
	Lähteet	57

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Kartiohammaspyöräpari (Björk, ym., 2014).	3
Kuva 2. Lieriöhammaspyöräpari (Björk, ym., 2014).....	3
Kuva 3. Vierintälieriöt (Airila, ym., 1985).	4
Kuva 4. MC- vaihteiden nimeäminen (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 17).....	5
Kuva 5. Tyyppikilpi (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 17).....	6
Kuva 6. MC- vaihde sekoitinkäytössä (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 53).....	7
Kuva 7. Ympäristön lämpötila kerroin (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 47).....	8
Kuva 8. Korkeus merenpinnasta kerroin (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 48).	9
Kuva 9. MC- vaihteiden asennusasennot (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 14).....	9
Kuva 10. MC- vaihteiden asennuspinnat (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 23).....	10
Kuva 11. EBD- vaihde (SEW-EURODRIVE, 2006, s. 8).....	11
Kuva 12. ONP1 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 13).....	16
Kuva 13. Ilma- ja vesijäähdytin (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 12).....	17
Kuva 14. ONP1 pumppukoot ja tuotot (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 65).....	18
Kuva 15. ONP1 asennusasento M1 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 66).	19
Kuva 16. ONP1 asennusasento M5 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 67).	19
Kuva 17. OAC1 suunnitellut pumppukoot (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 28).....	20
Kuva 18. OAC1 ilmalämmönvaihto yksikkö (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 28).....	21
Kuva 19. OAC1 jäähdytyskapasiteetti (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 28).	21

Kuva 20. OAC1 asennettuna vaihteeseen kiinni (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 21). ...	22
Kuva 21. OAC1 erilliselle alustalle asennettuna (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 30).	22
Kuva 22. OWC1 tietotaulukko (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 50).....	23
Kuva 23. OWC1 asennusasento M1 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 43).....	24
Kuva 24. OWC1 asennusasento M5 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 44).....	24
Kuva 25. OWC1 erilliselle alustalle asennettuna (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 45). ...	25
Kuva 26. Imuliitäntä M1- asennusasento.	32
Kuva 27. Imuliitäntä M5- asennusasento.	33
Kuva 28. Paineliitäntä OWC1 M1- asennusasento.....	35
Kuva 29. Paineliitäntä OAC1.....	36
Kuva 30. Jakotukki OAC1 voiteluyksikössä.....	37
Kuva 31. Jakotukki OWC1 voiteluyksikössä.....	37
Kuva 32. Paineliitäntä MCR vertikaalivaihteissa.....	38
Kuva 33. Paineliitäntä MCP vertikaalivaihteissa.....	39
Kuva 34. OAC1 asennus MC- vaihteeseen.....	40
Kuva 35. Pumpun ja suodattimen osakokoonpanon kiinnityslevy OAC1.	41
Kuva 36. Pumpun ja suodattimen kiinnityslevyn toinen versio.....	42
Kuva 37. Jäähdytinsyksikön kiinnitysrauta OAC1.	43
Kuva 38. Pumpun kiinnitys taustalevyyn.	44
Kuva 39. Vesijäähdyttimen kiinnitys taustalevyyn.	45

Kuva 40. Pumpun ja jäähdytynyksikön kiinnityslevy OWC1.	46
Kuva 41. Pumpun ja jäähdytynyksikön kiinnityslevyn toinen versio.	47
Kuva 42. OWC1 osakokoonpano tupla suodattimella.	48
Kuva 43. OWC1 kokoonpano vertikaalivaihteessa.	49
Kuva 44. Esimerkki tuotestandardin rakenteesta.	51
Kaava 1. Väliytysuhteen laskenta (Airila, ym., 1985).	3
Kaava 2. Koko vaihteen väliytysuhde.	4
Kaava 3. Nimellistehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 42).	7
Kaava 4. Käyttötehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 42).	8
Kaava 5. Termisen tehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 47).	8
Kaava 6. Käyttötehon ja termisen tehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 42).	9
Kaava 7. Absoluuttinen viskositeetti (Kivioja;Kivivuori;& Salonen, 2007, s. 172).	13
Kaava 8. Kinemaattinen viskositeetti (Kivioja;Kivivuori;& Salonen, 2007, s. 172).	13

Liitteet

- Liite 1. OAC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M1- asennusasennossa suurimmalla käytöllä
- Liite 2. OAC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M1- asennusasennossa normaali käytöllä
- Liite 3. OAC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M1- asennusasennossa korotetulla öljytasolla
- Liite 4. OAC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M5- asennusasennossa normaali käytöllä
- Liite 5. OAC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M4- asennusasennossa normaali käytöllä
- Liite 6. OWC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M1- asennusasennossa normaali käytöllä
- Liite 7. OWC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M1- asennusasennossa korotetulla öljytasolla
- Liite 8. OWC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M5- asennusasennossa normaali käytöllä
- Liite 9. OWC1 yhdistäminen MC- vaihdesarjaan M4- asennusasennossa normaali käytöllä
- Liite 10. OAC1 geneerinen kokoonpanokuva
- Liite 11. OWC1 geneerinen kokoonpanokuva vaihteen M1- asennusasennossa
- Liite 12. OWC1 geneerinen kokoonpanokuva vaihteen M5- asennusasennossa

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli integroida Gen1 voiteluyksikkösarja osaksi MC-vaihdesarjaa. Gen1 on SEW:n oma voiteluyksikkösarja, joka alunperin on suunniteltu X-vaihdesarjan voiteluyksiköksi mutta sen on tarkoitus korvata myös muissa vaihdesarjoissa ennen käytetyt yrityksen ulkopuolelta ostetut voiteluyksiköt.

SEW Industrial Gears Oy on yhtiö, jonka toimeksiannosta tämä opinnäytetyö tehdään. Yhtiö sijaitsee Karkkilassa. Karkkilassa suunnitellaan, valmistetaan ja kokoonpannaan lieriö- ja kartiolieriövaihteita. (SEW-EURODRIVE, n.d.-a)

SEW Industrial Gears Oy:n omistaa SEW-EURODRIVE –konserni, joka on Saksalainen perheyritys. SEW:n liikevaihto on 4,2 mrd euroa (2022) ja se on yksi maailman johtavista voimansiirtoratkaisuiden tuottajista. (SEW-EURODRIVE, n.d.-b)

Gen1 voiteluyksiköitä käytetään jo pääsääntöisesti X –ja M1N vaihdesarjojen voiteluyksiköinä, joten toiminnan tehostamisen näkökulmasta loogisena jatkumona voidaan pitää voiteluyksikön integroimista myös MC- vaihdesarjaan.

MC- vaihdesarja on suunniteltu alunperin jo 90- luvulla ja GEN1 voiteluyksikkösarja on suunniteltu eri vaihdesarjaa varten, joten näiden kahden järkevä yhdistäminen on tämän opinnäytetyön haastavin osuus. Alkuoletus on, että yhdistämisessä joudutaan tekemään tiettyjä kompromisseja ja työlle rajauksia. Ensimmäisenä tavoitteena on luoda myyntiorganisaatiolle listaus mahdollisista voiteluyksikkö ja vaihdekoko yhdistelmistä. Suunnittelua yhdenmukaistamaan sekä sujuvoittamaan on tarkoitus luoda 3D- mallit vastaamaan aiemmin mainittuja yhdistelmiä sekä vähintään yksi valmis kokoonpanokuvineen esimerkiksi tulevaisuudessa tehtäviä yhdistelmiä varten.

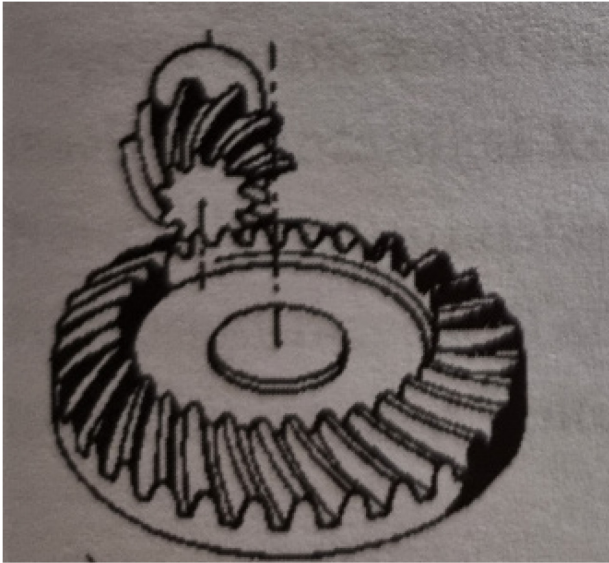
Yhdistämisprosessissa tulee huomioida vaihteiden eri käyttöjen tarpeet sekä voiteluyksiköiden resurssit. Itse suunnittelussa huomioidaan voiteluyksikön kiinnitykset vaihteeseen sekä öljyn imu- ja painepuolen liitännät sekä laskennat.

2 Teollisuusvaihteet

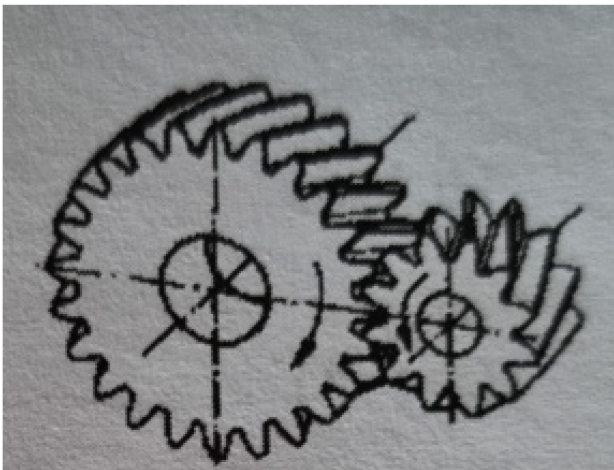
Teollisuusvaihteen käyttötarkoitus on siirtää tehoa, sekä muuttaa pyörimisnopeutta ja momenttia. Yleensä teollisuusvaihteissa puhutaan alennusvaihteista, joissa ensiöakselia pyöritetään kovalla nopeudella ja välitysosien ansiosta toisio akseli pyörii hitaammin mahdollistaen suuremman momentin. Tällöin vaihteen välityssuhde on yli yksi (Airila, ym., 1985, s. 238). Yleensä vaihteen ensiöakselia pyörittää sähkömoottori. Sähkömoottori pyörii vakio nopeudella, jolloin toisioakseli pyörii hitaammin välityssuhteen mukaisesti. Hitaammin pyörivä toisioakseli pyörittää käyttölaitetta suuremmalla momentilla. Kaikessa yksinkertaisuudessaan saatiin sähkömoottorin suuri pyörimisnopeus muunnettua suureksi momentiksi.

Teollisuusvaihteita käytetään monilla teollisuuden aloilla aina autoteollisuudesta terästeollisuuteen sekä nostokäyttöistä kuljetuskäyttöihin (SEW-EURODRIVE, n.d.-c). Teollisuuden aloja on lukuisia ja käyttöjä vielä enemmän. Siksi myös teollisuusvaihteista löytyy monenlaisia variaatioita. Tässä opinnäytetyössä keskitytään lieriö- ja kartiolieriövaihteisiin. Kartiolieriövaihteissa esiintyy sekä kartio- että lieriöhammaspyöräpareja (Kuva 1). Lieriövaihteessa kaikki hammaspyöräparit ovat lieriöhammaspyöräpareja (Kuva 2).

Kuva 1. Kartiohammaspyöräpari (Björk, ym., 2014).



Kuva 2. Lieriöhammaspyöräpari (Björk, ym., 2014).



Vaihteilla voi olla yksi tai useampi hammaspyöräpari, joilla pyörimisnopeutta muutetaan. Hammapyöräparia kutsutaan yleensä vaihteen portaaksi. Jos puhutaan 1- portaisesta vaihteesta, koko vaihteen välitys saadaan laskemalla tämän yhden portaan välityssuhde (Kaava 1). Jos vaihteessa on useampi porras, saadaan koko vaihteen välityssuhde (i_n) kertomalla jokaisen portaan välityssuhde keskenään (Kaava 2). Useampi portaisia vaihteita käytetään yleensä tilanteissa, joissa tarvitaan suurta välityssuhdetta.

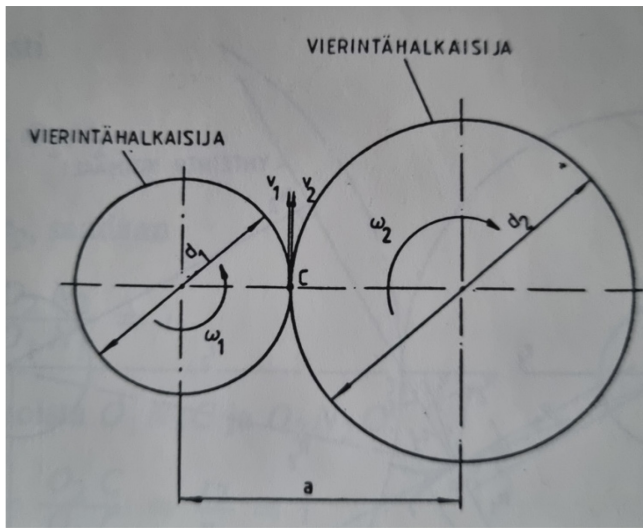
Kaava 1. Välityssuhteen laskenta (Airila, ym., 1985).

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

Välityssuhteen laskenta kaavassa (Kaava 1) alaindeksi yksi tarkoittaa käytävää pyörää ja alaindeksi kaksi käytettävää pyörää. Hammaspyöräparin välityssuhde (i) on kulmanopeuksien (ω) ja pyörimisnopeuksien (n) suhde. Toisaalta välityssuhde saadaan laskettua myös vierintähalkaisijoiden (d) tai hammaslukujen suhteena (z).

Hammaspyöräparia voidaan ajatella kahden toisiaan sivuavan sylinterin avulla, joita kutsutaan vierintälieriöiksi. Näiden lieriöiden halkaisijoita kutsutaan vierintähalkaisijoiksi (Kuva 3). (Airila, ym., 1985)

Kuva 3. Vierintälieriöt (Airila, ym., 1985).



Kaava 2. Koko vaihteen välityssuhde.

$$i_n = i_1 \times i_2 \times i_3 \dots$$

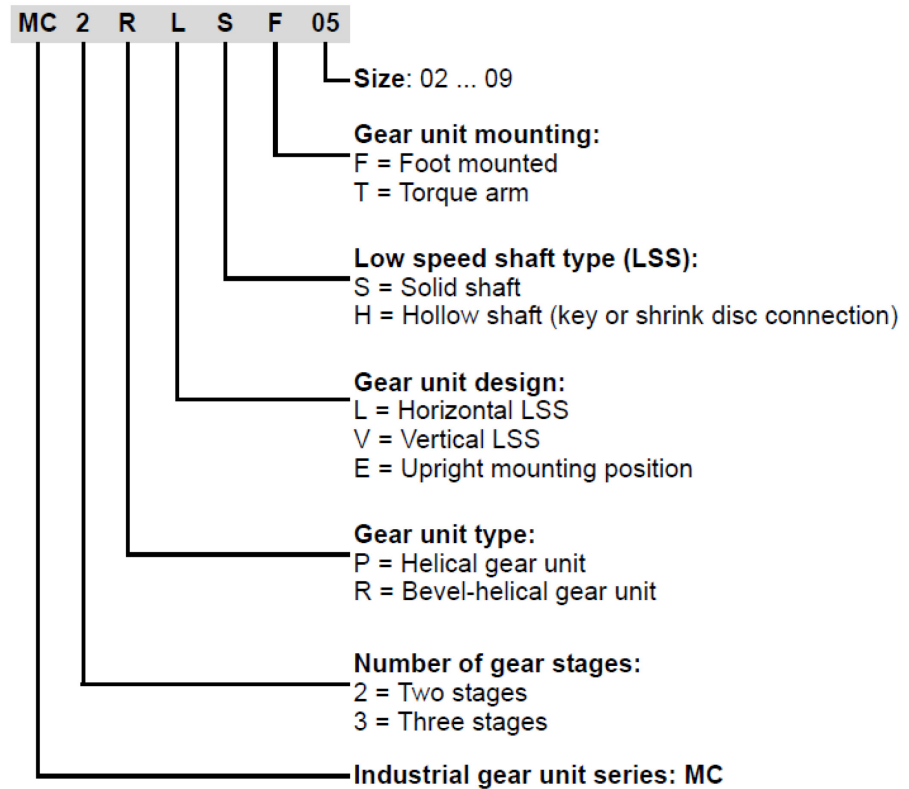
2.1 MC- vaihdesarja

MC- vaihdesarjaan kuuluu kartiolieriöhammasvaihteita (MC.R) sekä lieriöhammasvaihteita (MC.P). Molempia vaihtoehtoja löytyy kaksi- ja kolmiportaisina, joiden nimellisvälitys (i_N) asettuu välille 7.1...112. Toiso akseli vaihtoehtoina löytyy kiilaurallinen umpiakseli, kiilaurallinen putkiakseli sekä puristuskiekollinen putkiakseli. Kokovaihtoehtoja on kahdeksan kaikilla variaatioilla. Koot menevät MC- vaihdesarjassa 02...09.

Kuva 4. MC- vaihteiden nimeäminen (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 17).

2.3 Unit designation for gear units

Sample unit designation



MC- vaihteen nimeämisestä selviää vaihteen porrasluku, vaihteen tyyppi, asennusasento, toisioakselin tyyppi, asennustyyppi sekä vaihteen koko (Kuva 4). Esimerkiksi MC3PVHT05 on kolme portainen lieriövaihte, joka on asennettu vertikaalisesti. Tässä vaihteessa olisi lisäksi joko kiilaurallinen tai puristuskiekollinen putkiakseli sekä momenttituki. Vaihteen koko olisi 05.

Standardi nimeäminen auttaa vaihteen tunnistamisessa. Valmiiseen vaihteeseen tulee lisäksi tyyppikilpi, jossa yksilöidään vaihte. Tyyppikilvestä selviää vaihdetyypin lisäksi yksilöllinen sarjanumero, käyttöteho (P_e), käyttökerroin (F_s), toisioakselin nimellismomentti (MN_2), paino, välityssuhde (i), akselien pyörimisnopeudet (n), laskettu öljymäärä, öljyalaatu sekä valmistusvuosi (Kuva 5).

Kuva 5. Tyyppikilpi (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 17).

SEW-EURODRIVE		Bruchsal/Germany	
Typ	MC3RLHF07		
Nr. 1	01.3115835301.0001.02	Nr. 2	T34567
Pe kW	55	MN2 kNm	35.6
Fs	1.6	kg	780
i 1:	61.883 : 1	Year	2004
n r/min	1480/23.9		
Lubricant	CLP 220 Miner..Oil/ca. 33 liter4		
Number of greasing points:	4	Made by SEW	

1332 359 8.10

Jokaisella vaihdekoolla on omat valuraudasta tehdyt monoblokki kotelot. Kotelo on yksiosainen eikä siinä ole erillistä jakotasoja. Kaksi- ja kolmiportaiset kartiolieriövaihteet sekä kaksiportainen lieriövaihteet käyttävät lähtökohtaisesti samaa valukoteloja. Kolmiportaiselle lieriövaihteelle on oma, pidemmän mallinen valukotelo.

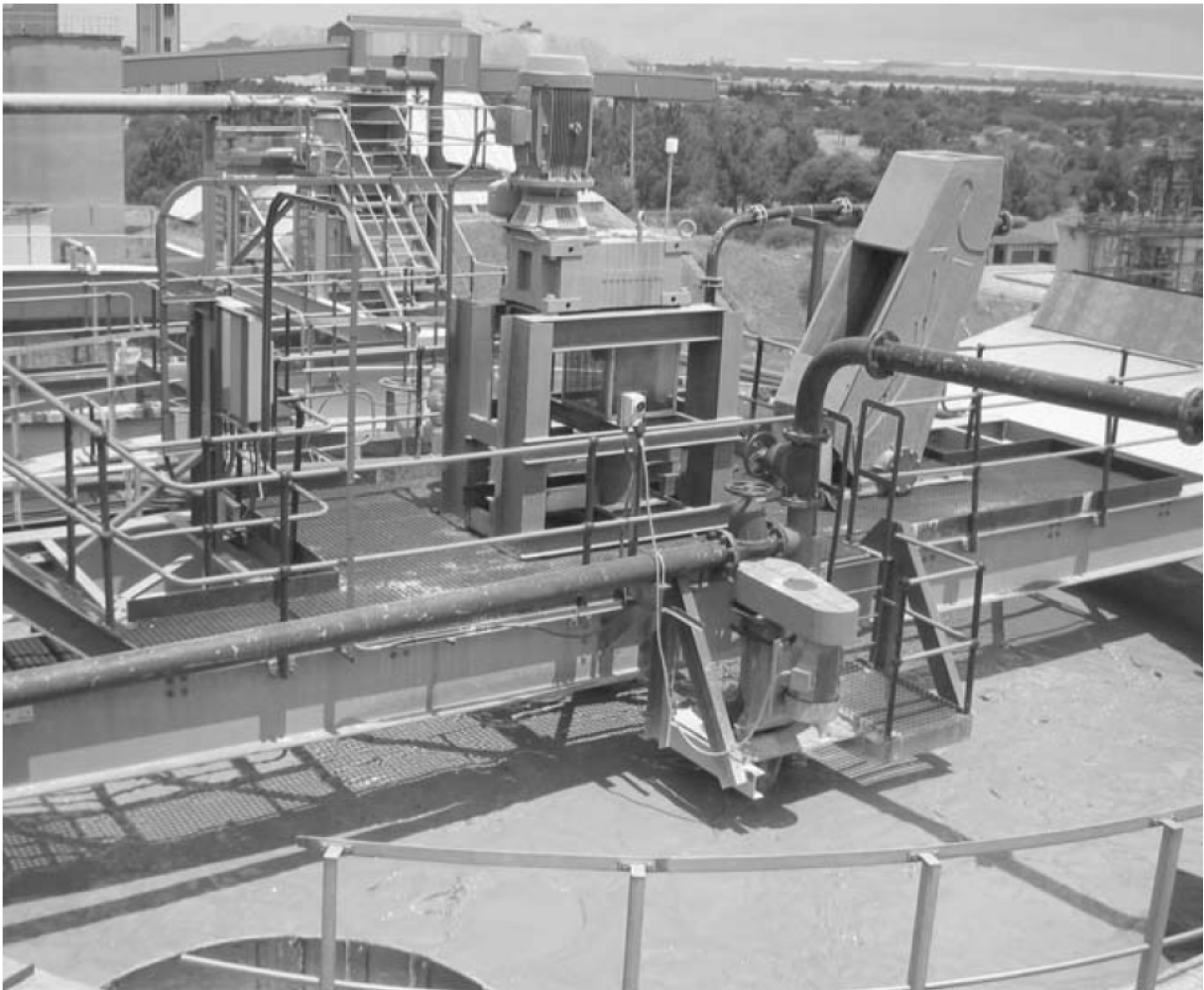
2.1.1 Käyttö

MC- sarja on suunniteltu erityisen vahvaksi keskisuurella välitysalueella. Vaihdesarjan suunniteltu vääntömomenttialue on 6- 65 kNm. Yleisimpiä käyttökohteita MC- vaihteille ovat:

- rakennus-, raaka-aine-, kemian-, elintarviketeollisuuden kuljettimet
- ympäristöteollisuuden kuljettimet ja murskaimet
- puunjalostuksen kuljettimet
- paperiteollisuuden kelaimet

Suuren muunneltavuutensa ansiosta vaihteet sopivat myös moneen muuhun käyttökohteeseen. Esimerkiksi teollisuuden sekoitusprosesseissa käytetään MC- vaihdesarjaa, koska se on suunniteltu vakiona kestämaan suuria säteis- ja aksiaalivoimia (Kuva 6). Lisäksi toisioakselin laakeroinnille on standardoitu EBD-konsepti (Extended Bearing Distance), jossa pidennetyllä laakerietäisyydellä saadaan laakerit kestämaan vielä suurempia voimia. (SEW-EURODRIVE, n.d.-d)

Kuva 6. MC- vaihde sekoitinkäytössä (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 53).



2.1.2 Teho

Nimellisteholla (P_{N1}) tarkoitetaan sellaista tehoa, jonka vaihde on suunniteltu kestävänsä tasaisessa käytössä. Tehoa, jolla vaihdetta todellisuudessa käytetään, sanotaan käyttötehoksi (P_{K1}). Lisäksi käyttösovelluksille on laskettu käyttökerroin (F_S), jolla pyritään huomioimaan eri sovellusten kuormien ja olosuhteiden vaihtelut. Kun tiedetään käyttöteho ja käyttökerroin, voidaan valita vaihdekoko nimellistehon perusteella (Kaava 3). (SEW-EURODRIVE, 2005)

Kaava 3. Nimellistehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 42).

$$P_{N1} \geq P_{K1} \times F_S$$

Vaihteen tarvittava käyttöteho (P_{K1}) saadaan käytettävän laitteen käyttömomentin (M_{K2}) sekä pyörimisnopeuden (n_2) avulla (Kaava 4).

Kaava 4. Käyttötehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 42).

$$P_{K1} = \frac{M_{K2} \times n_2}{9.550 \times \eta}$$

Hyötysuhde (η) on kaksi portaisissa MC- vaihteissa 0.97 ja kolmiportaisissa 0.955 (SEW-EURODRIVE, 2005).

Vaihteen terminen teho (P_T) on teho, jonka vaihde pystyy välittämään ylittämättä tiettyä öljyn lämpötilaa jatkuvassa käytössä. Termiseen tehoon vaikuttaa öljytyyppi, ympäristön lämpötila, vaihteen välityssuhde, tuulettimen käyttö, vaihteen sijainti merenpintaan nähden sekä voitelumenetelmä. Terminen teho voidaan laskea eri käyttöolosuhteissa erilaisten kertoimien avulla, sillä jokaiselle vaihteelle on laskettu terminen teho ennalta määrätyissä olosuhteissa (P_{TH}) (Kaava 5). (SEW-EURODRIVE, 2005, ss. 46-47)

Kaava 5. Termisen tehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 47).

$$P_T = P_{TH} \times f_1 \times f_2 \times f_L \times f_T$$

Laskennallinen terminen teho (P_{TH}) on taulukoitu kaikille vaihteille ympäristölämpötiloille 20°C ja 40°C ilman tuuletinta sekä tuulettimen kanssa. Ympäristön lämpötila kerroin (f_T) (Kuva 7) sekä korkeus merenpinnasta kerroin (f_1) (Kuva 8) ovat myös taulukoituina. Kerroin f_2 tarkoittaa asennusta momenttituella tai ilman. Momenttituella kerroin on 1,07 ja muutoin 1. Kerroin f_L tarkoittaa voitelumenetelmää. Painevoitelussa kerroin on 1,1 ja muulloin 1.

Kuva 7. Ympäristön lämpötila kerroin (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 47).

**Ambient
temperature
factor f_T**

Ambient temperature	20°C	30°C	40°C	50°C
f_T	1.0 ¹⁾	1.0 ^{1), 2)}	1.0 ¹⁾	Contact SEW-EURODRIVE

Kuva 8. Korkeus merenpinnasta kerroin (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 48).

Altitude factor f_1

	Altitude H [m above sea level]				
	0	1000	2000	3000	4000
$f_1^{(1)}$	1.00	0.95	0.91	0.87	0.83

Vaihteen käyttötehon ensiöakselilla (P_{K1}) tulee olla enintään yhtä suuri kuin vaihteen termien teho (P_T) (Kaava 6).

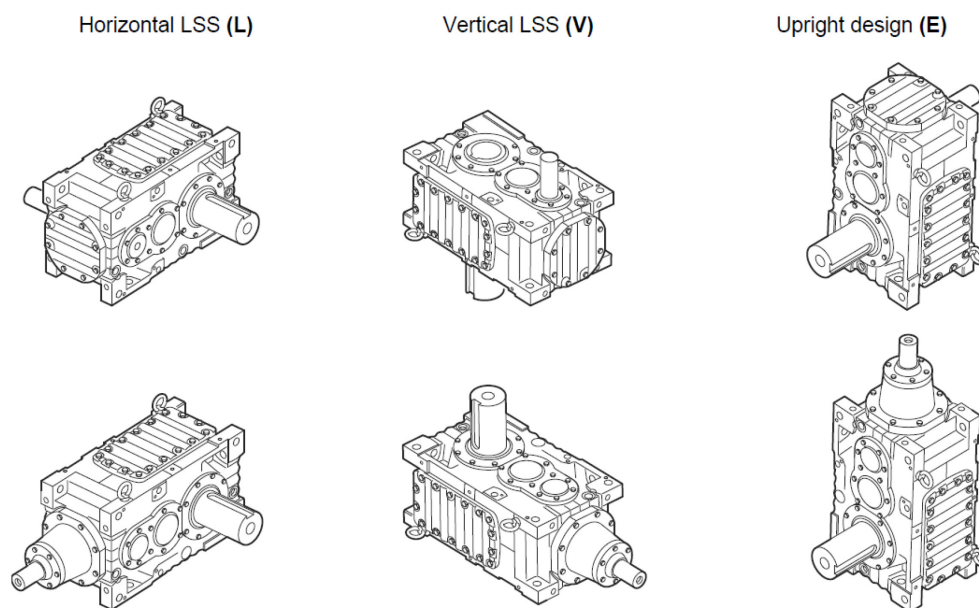
Kaava 6. Käyttötehon ja termisen tehon kaava (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 42).

$$P_{K1} \leq P_T$$

2.1.3 Asennusasennot

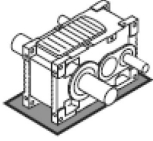
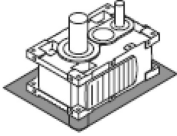
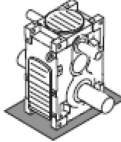
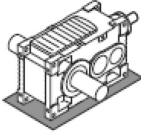
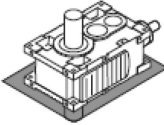
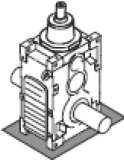
MC- vaihteiden yksiosainen kotelo mahdollistaa vaihteen asentamisen vakiona vaaka-, vertikaali- ja pystyasentoon (Kuva 9). Kuten vaihteen nimeämisen yhteydessä tuli ilmi, asennusasentoa vastaa kirjain (L, V, E). Monesta asennusasentomahdollisuudesta on suuri etu varsinkin, jos käytettävä laite on hyvin ahtaassa paikassa.

Kuva 9. MC- vaihteiden asennusasennot (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 14).



Todellisen asennusasennon määrittämiseksi tarvitsee tietää myös pinta, josta vaihde kiinnitetään (Kuva 10).

Kuva 10. MC- vaihteiden asennuspinnat (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 23).

MC.. PL :	M1, F1	
MC.. PV :	M5, F3	
MC.. PE :	M4, F6	
MC.. RL :	M1, F1	
MC.. RV :	M5, F3	
MC.. RE :	M4, F6	

Kuva 10 nähdään vakiona käytettävät asennusasennot ja asennuspinnat. M1, F1 tarkoittaa, että vaihde on M1 asennossa (vaakavaihte jalkapuoli alaspäin) sekä kiinnitetään F1 pinnasta (vaihteen alapinta). Vakio vaakavaihteen asennusasento on M5 ja asennuspinta F3. Käytännössä MC- vaihde voidaan asentaa myös muihin kuin vakio asennusasetoihin mutta tällaiset kombinaatiot ovat aina erikseen suunniteltavia eivätkä vakioituja.

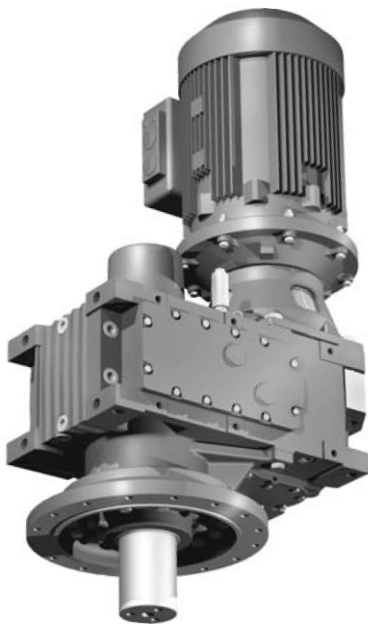
Asennusasento vaikuttaa myös voitelun toteuttamiseen. Vaaka- asennossa käytetään yleensä roiskevoitelua. Vertikaali- ja pystyvaihteissa vakio ratkaisuna käytetään kylpyvoitelua, jotta yläpuolella olevat laakerit ja hammaspyöräparit pysyvät voideltuina.

2.1.4 Modulaarisuus

Vertikaali- ja pystyvaihteissa vakiona käytettävä kylpyvoitelu vaatii yleensä erillisen paisunta-astian öljyn lämpölaajenemista ajatellen. Kylpyvoitelussa laakerit ja muut voitelua tarvitsevat osat ovat öljypinnan alapuolella, minkä vuoksi kotelo on mahdollisesti täynnä öljyä. Vaihteen käydessä öljy yleensä lämpenee, jolloin sen tilavuus kasvaa. Jotta öljyn laajeneminen ei johtaisi paineen nousemiseen, laajeneva öljy pääsee nousemaan erilliseen paisunta-astiaan. Paisunta-astiat ovat hyvä esimerkki MC- vaihdesarjan modulaarisuudesta. Paisunta-astioita löytyy kolmea erilaista, joita käytetään eri olosuhteissa.

Asennusasennon ja paisunta-astioiden lisäksi MC- vaihdesarjan modulaarisuus näkyy muissakin vakiolisävarusteissa. Tiivistysratkaisuja löytyy erilaisiin ympäristöolosuhteisiin. Käyttävä moottori voidaan kiinnittää valmiiksi suunnitellulla moottorilaipalla tai vaihdetta voidaan käyttää hihnäkäytöllä. Vaihde voidaan tukea momenttituella tai kiinnittää jaloista tai vaihteen laippakiinnyksestä. Vaihteeseen voidaan asentaa takaisinpyörintäjarru (backstop), jolla pakotetaan tietty pyörimissuunta. Suuria toisioakselin kuormia ajatellen on suunniteltu EBD- systeemi (Extended Bearing Distance), jossa laakerien ulkoisten voimien kestokykyä on parannettu pidemmällä laakerivälillä sekä isommilla laakereilla verrattuna vakio laakerointiin (SEW-EURODRIVE, 2006). Erilaisia variaatioita yhdelle vaihteelle löytyy modulaarisuuden ansiosta satoja.

Kuva 11. EBD- vaihde (SEW-EURODRIVE, 2006, s. 8).



Vaihte voi tarvita myös erillistä jäähdytystä, jotta ensiöakselin käyttöteho (P_{K1}) ei ylitä vaihteen termistä tehoa (P_T). Jäähdytyksen voi toteuttaa ensiöakselille tulevan tuulettimen tai viilennyskannen avulla, jossa kiertää vaihdetta viilentävää vettä. Lisäksi on vaihtoehtona käyttää erillistä jäähdytintä, jossa pumppu kierrättää öljyä jäähdyttimen läpi ja viilentää öljyä. Aiemmin pumppu- ja jäähdytinhdistelmä on toteutettu valmiina ostetulla voiteluysiköllä tai vertikaalivaihteissa akselinpääpumppu ja jäähdytinhdistelmällä. Tämän opinnäytetyön tärkeimpänä tehtävänä on aloittaa valmiina ostettujen voiteluysikköjen korvaaminen GEN1 voiteluysiköillä.

3 Teollisuusvaihteen voitelu

Voiteluaineena voi periaatteessa käyttää mitä tahansa helposti leikkautuvaa materiaalia. Teollisuusvaihteissa voiteluaineena käytetään käyttöolosuhteisiin soveltuvia synteettisiä tai mineraaliöljyjä ja rasvoja, joita käsitellään myös tässä yhteydessä.

Oikeaoppisesti toteutettu voitelu on perusedellytys teollisuusvaihteiden käyttövarmuudelle. Voitelun tärkeimpiä tehtäviä ovat:

- vähentää kulumista
- pienentää kitkaa ja häviötehoa
- jäähdyttää kosketusta
- estää epäpuhtauksien pääsy voitelukohteeseen
- vaimentaa värähtelyä
- suojata korroosiolta

(Aarnio, ym., 2013, s. 11)

Vaihteissa voideltavia kohteita ovat hammaspyöräparit, laakerit ja tiivistykset. On hyvin yleistä, että kaikki voitelua vaativat kohteet hoidetaan samalla voiteluaineella eli käytännössä öljyllä. Tiivistykselle voidaan käyttää myös rasvavoitelua. Joissakin tapauksissa myös laakereille voidaan käyttää rasvavoitelua. Oman kokemuksen mukaan näissäkin tapauksissa vain yksi laakeri on rasvavoitelun piirissä ja muiden laakereiden voitelu hoidetaan öljyllä.

Tavoiteltava tilanne on nestevoitelutilanne, jossa osat pystytään erottamaan toisistaan kokonaan voiteluainekalvolla. Nopeusero pintojen välillä tasaantuu kyseisen kalvon avulla. Käytännössä vaihteissa kuorma kannetaan yleensä osittain voiteluainekalvon ja osittain

koskettavien pintojen pinnankarheushuippujen avulla. Kyseistä tilannetta kutsutaan kosketusvoiteluksi. (Björk, ym., 2014, s. 278)

Tärkeimpänä oikean voiteluaineen valinnassa on oikea viskositeetti vaihteen käyttölämpötilassa sekä käynnistyksessä. Viskositeetti on voiteluaineen ominaisuus, joka vastustaa liikettä. Korkealla viskositeetilla aine vastustaa enemmän liikettä kuin pienellä viskositeetillä. Viskositeetti ilmoitetaan joko absoluuttisena (Kaava 7) tai kinemaattisena viskositeettina (Kaava 8). Näistä kinemaattinen on yleensä käytännöllisempi. Vaihteissa käytettyjen öljyjen viskositeetti ilmoitetaan ISO 3448 standardin määrittämällä ISO VG – luokalla. (Kivioja;Kivivuori;& Salonen, 2007, s. 172)

Kaava 7. Absoluuttinen viskositeetti (Kivioja;Kivivuori;& Salonen, 2007, s. 172).

$$\eta = \frac{\tau}{du/dy}$$

Absoluuttisen viskositeetin kaavassa (Kaava 7) η tarkoittaa absoluuttista viskositeettia, τ leikkausjännitystä sekä du/dy leikkausnopeutta.

Kaava 8. Kinemaattinen viskositeetti (Kivioja;Kivivuori;& Salonen, 2007, s. 172).

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Kinemaattisen viskositeetin kaavassa (Kaava 8) v tarkoittaa kinemaattista viskositeettia, η absoluuttista viskositeettia sekä ρ voiteluaineen tiheyttä.

Muita voiteluaineen valintaan liittyviä kriteereitä ovat lisäaineistukset estämään esimerkiksi kulumista ja korroosiota.

3.1 Roiskevoitelu

Voitelutapa määräytyy lähinnä hammaspyörän kehänopeuden perusteella. Roiskevoitelua voidaan käyttää, kun kehänopeus on 4 m/s ja 14 m/s välillä. Pienempi kehänopeus ei riitä roiskimaan voiteluainetta kaikille voideltaville komponenteille ja suuremmalla kehänopeudella tapahtuu liiallista öljyn vatkautumista ja vaahtoutumista. (Björk, ym., 2014, s. 350)

Roiskevoitelussa öljypinta asetetaan korkeudelle, jossa hammaspyörä koskettaa öljyn pintaa ja heittää öljyä kotelon seinämiin, joista rivoituksin ja porauksin öljy ohjataan voitelua tarvitseville komponenteille. (Björk, ym., 2014, s. 350)

Roiskevoitelun hyvänä puolena voidaan pitää pienempää öljyn vatkamisesta johtuvaa häviötä. Öljytäytön kustannukset eivät myöskään ole vähäisemmästä öljymäärästä johtuen yhtä suuret kuin kylpyvoidellussa vaihtoehdossa.

3.2 Kylpyvoitelu

Kylpyvoitelussa kaikki vaihteen voideltavat komponentit ovat öljypinnan alapuolella. Tästä johtuen kylpyvoitelu on yksinkertaisin toteuttaa voitelutarpeen näkökulmasta. Sitä voidaan käyttää myös hitaasti pyörivillä hammaspyörillä, joiden kehänopeus ei riitä roiskevoituun. (Aarnio, ym., 2013, s. 210)

Kylpyvoitelussa öljymäärä nousee paljon suuremmaksi kuin roiskevoitelussa. Tämä nostaa öljytäytön kustannuksia sekä ympäristökuormaa. Suuri öljymäärä lisää öljyn vatkautumista, joka johtaa ylimääräiseen häviöön vaihteessa sekä öljyn lämpenemiseen, josta johtuen voidaan mahdollisesti joutua käyttämään jäähdytystä vaihteelle.

3.3 Painevoitelu

Mikäli kumpikaan edellä mainituista voiteluvaihtoehdoista ei tule kysymykseen, käytetään painevoitelua. Painevoitelua käytetään, kun kylpyvoitelua ei haluta tai voida käyttää tai roiskevoitelu ei ole mahdollinen tai hammaspyörän kehänopeus on poikkeuksellisen suuri. Lisäksi painevoitelua käytetään, kun vaihde tarvitsee ulkoista jäähdytysyksikköä suuresta käyttötehosta johtuen. (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 82)

Painevoitelussa käytetään yleensä painevoiteluyksikköä moottori- tai akselinpääpumpulla. Voiteluyksikköön kuuluu sähkömoottorin käyttämä öljypumppu, suodatin, öljyn jäähdytin sekä säätö- ja mittauslaitteet. (Björk, ym., 2014, s. 350)

Etuina painevoitelun käytössä voidaan pitää vähäistä öljynmäärän tarvetta, öljyn suodattamisen helppoutta sekä öljyn jäähdytyksen mahdollisuutta. Voiteluyksikön korkeista hankintakustannuksista johtuen muita voitelutapoja ja mahdollista vaihdekoon kasvattamista on arvioitava teknistaloudellisin perustein.

3.4 Voitelu MC- vaihdesarjassa

Karkeasti voidaan jaotella, että MC- vaihdesarjassa asennusasento vaikuttaa voitelutapaan vakiovaihteissa eniten. Normaalisissa asennusasennossa, jossa akselit ovat vaakasennossa, käytetään vakiona roiskevoitelua. Käytännössä muissa vakioasennusasunnoissa (vertikaali- ja pystyvaihteet) käytetään kylpyvoitelua vakioratkaisuna.

Painevoitelua käytetään oman kokemuksen mukaan MC- sarjassa lähinnä tietyissä sekoitinvaihte toteutuksissa, joissa vaihde on vertikaaliasennossa toisioakseli alaspäin ja ensioakseli ylöspäin. Kyseisissä toteutuksissa käytetään myös jo aiemmin mainittua EBD-laakerointisysteemiä sekä tähän liittyvää kuivakaivoa. Syynä kuivakaivolle on mahdollisuus käyttää rasvavoitelua toisioakselin alalaakerilla, jolloin tiivistevuodoille on pienempi riski. Rasva ei vuoda niin helposti kuin öljy asiakkaan prosessiin. Lisäksi kuivakaivoratkaisulla öljymäärää saadaan vähennettyä vaihteessa toteuttamalla toisioakselin alaspäin olevien laakereiden voitelu rasvavoitelulla sekä ylempien laakerien ja hammaspyöräparien voitelu painevoiteluna.

Painevoitelu vertikaalivaihteissa on toteutettu yleisesti akselinpääpumpulla.

Akselinpääpumppu on halvempi vaihtoehto verrattuna erilliseen voiteluyksikköön.

Akselinpääpumppu liitetään vaihteen ensioakseliin tai väliportaan akseliin kytkimellä, jolloin pumppu syöttää öljyä putkituksen avulla haluttuihin kohteisiin aina vaihteen pyöriessä.

4 Gen1 voiteluyksiköt

Gen1 voiteluyksikkö on SEW:n itse suunnittelema voiteluyksikkösarja, joka on alunperin suunniteltu SEW:n X- vaihdesarjalle. Voiteluyksiköistä on suunniteltu painevoitelua varten vesi- ja ilmajäähdysteiset versiot sekä ilman jäähdytintä. Lisäksi on suunniteltu pelkästään jäähdyttämiseen ja öljyn kierrättämiseen käytettävät versiot.

ONP1 tarkoittaa voiteluyksikköä, jossa ei ole jäähdytintä. Tämä versio on tarkoitettu pelkästään painevoitelun toteuttamiseen tapauksissa, joissa erillistä öljyn viilennystä ei tarvita. Nimen perusosasta selviää, että kyseessä on voiteluyksikkö (O) ilman jäähdytintä (N). Yksikkö on tarkoitettu painevoiteluun (P) sekä se on kyseisen mallin ensimmäinen (1) versio. Perusosan jälkeen kerrotaan pumpun koko, asennusasento, moottorin taajuus, suodatin tyyppi sekä se asennetaanko voiteluyksikkö vaihteeseen kiinni vai erilliselle alustalle. (Kuva 12)

Kuva 12. ONP1 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 13).

ONP1L 12 - 0 0 0 /M	
O	Oil supply system
N	Coolant <ul style="list-style-type: none"> N = No coolant
P	Type <ul style="list-style-type: none"> P = Pressure lubrication
1	Generation
L	Version <ul style="list-style-type: none"> L = Light version without filter
12	Pump size <ul style="list-style-type: none"> 06 – 25
0	Mounting positions <ul style="list-style-type: none"> 0 = M1 1 = M5
0	Frequency <ul style="list-style-type: none"> 0 = 50 Hz 1 = 60 Hz 2 = 50 Hz/60 Hz
0	Options <ul style="list-style-type: none"> 0 = No filter 1 = Single filter 2 = Duplex filter 9 = Special design
M	Mounting type <ul style="list-style-type: none"> M = Mounted on the gear unit S = For separate installation

OAC1/OAP1:ssä tai OWC1/OWP1:ssä erona ONP1 merkintään on ilmajäähdytin (A) tai vesijäähdytin (W). Lisäksi vaihtoehtoina on kiertojäähdytys (C) tai painevoitelu (P).

Lämmönvaihdinkoko ilmoitetaan myös pumpun koon jälkeen. (Kuva 13)

Kuva 13. Ilma- ja vesijäähdytin (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 12).

OAC1 16/120-020/M	
O	Oil supply system
A	Coolant <ul style="list-style-type: none"> • W = Water • A = Air
C	Type <ul style="list-style-type: none"> • C = Circulation cooling • P = Pressure lubrication
1	Generation
16	Pump size <ul style="list-style-type: none"> • 06 – 80
120	Heat exchanger <ul style="list-style-type: none"> • 120 – 810 • 712 – 1024
0	Mounting positions <ul style="list-style-type: none"> • 0 = M1 • 1 = M5
2	Frequency <ul style="list-style-type: none"> • 0 = 50 Hz • 1 = 60 Hz • 2 = 50 Hz/60 Hz
0	Options <ul style="list-style-type: none"> • 0 = No filter • 1 = Single filter • 2 = Duplex filter • 9 = Special design
M	Mounting type <ul style="list-style-type: none"> • M = Mounted on the gear unit • S = For separate installation

4.1 ONP1

ONP1 voiteluyksikkö on tarkoitettu toteuttamaan painevoitelu vaihteeseen ilman jäähdytyksen tarvetta. Suunnitellut pumppukoot ovat 6- 25. Pumpun koko tarkoittaa sen tuottoa yhdellä kierroksella (kuutiosenttimetriä/kierros). Yleisesti pumpun tuotto ilmoitetaan tietyllä pyörimisnopeudella (yleensä 1500 1/min) ja litroina minuutissa (l/min). (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 65)

Kuva 14. ONP1 pumppukoot ja tuotot (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 65).

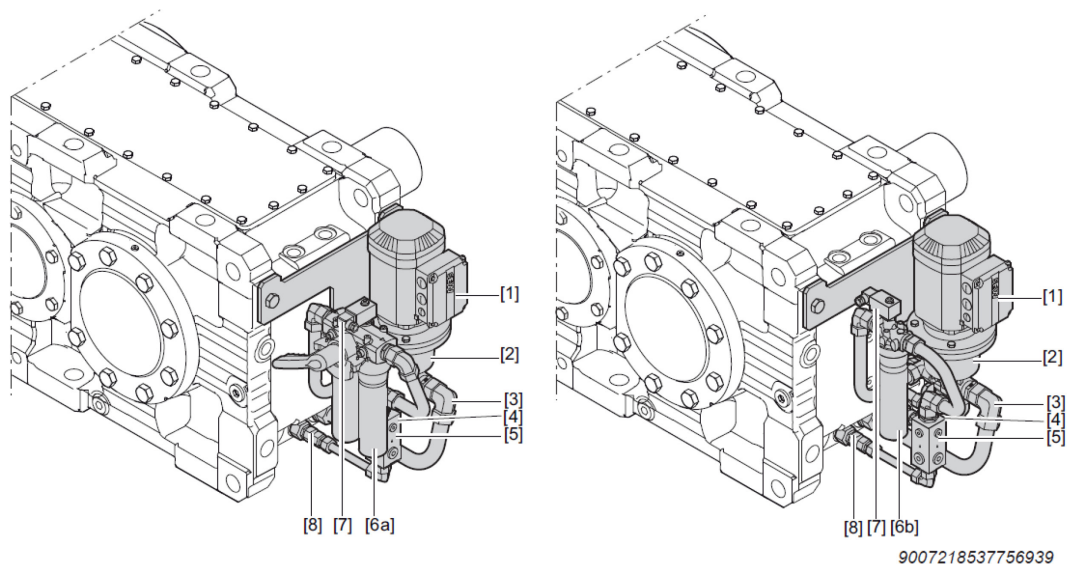
Size ONP1	Size oil pump	Motor data			Connected load motor oil pump in kW	Global motor in Hz	Pump capacity at 1500 1/min
		Type	IEC standard	Number of poles			
6	KF 6 RF	DRN	80MK	4	0.55	50/60	8.4
8	KF 8 RF	DRN	80MK	4	0.55	50/60	10.5
10	KF 10 RF	DRN	80M	4	0.75	50/60	13.7
12	KF 12 RF	DRN	90S	4	1.1	50/60	17.1
16	KF 16 RF	DRN	90S	4	1.1	50/60	21.8
20	KF 20 RF	DRN	90L	4	1.5	50/60	27.1
25	KF 25 RF	DRN	100ML	4	2.2	50/60	34.0

Kuten yllä olevasta kuvasta (Kuva 14) nähdään, jokaiselle pumppukoolle on suunniteltu sähkömoottori valmiiksi sekä laskettu tälle yhdistelmälle pumpun tuotto.

ONP1 sisältää vakiona painekeytkimen sekä yksittäisen suodattimen tukkeuma indikaattorilla. Lisävarusteina on mahdollisuus hankkia lämpötilakytkin, tuplasuodatin, virtausvahti, painemittari, lämpömittari sekä painelähetin. (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 65)

Voiteluyksikkö on suunniteltu vaihteelle, joka on vaaka- asennusasennossa M1, jolloin voiteluyksikkö kiinnitetään vaihteen pätyyn (F6) (Kuva 15). Lisäksi voiteluyksikkö on suunniteltu vertikaalivaihteelle, joka on asennusasennossa M5, jolloin voiteluyksikkö kiinnitetään vaihteen kylkeen (F1) (Kuva 16).

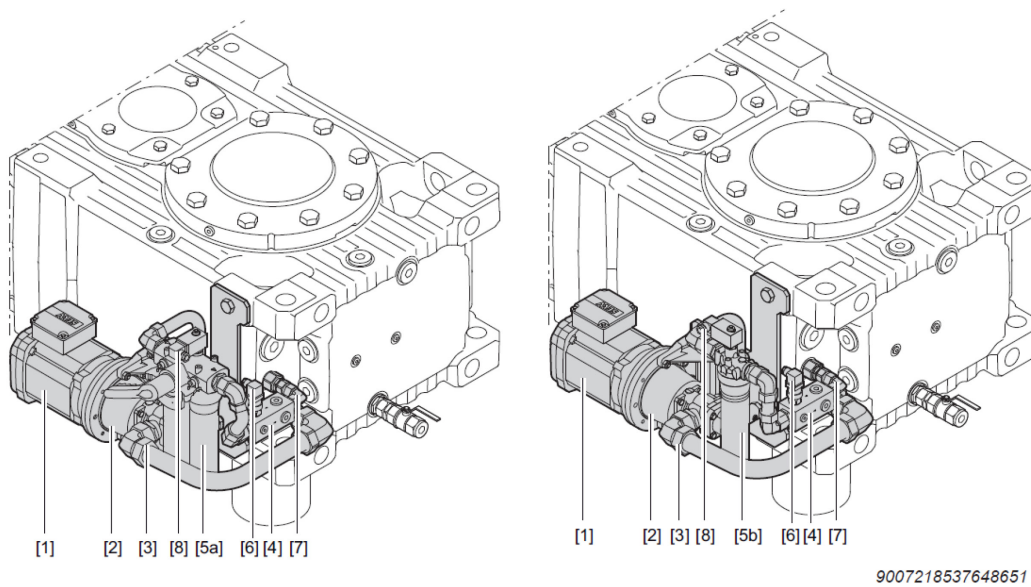
Kuva 15. ONP1 asennusaseto M1 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 66).



- [1] Motor
- [2] Pump
- [3] Suction pipe
- [4] Pressure switch
- [5] Gauge mounting block

- [6a] Duplex filter
- [6b] Single filter
- [7] Contamination indicator
- [8] Pressure pipe

Kuva 16. ONP1 asennusaseto M5 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 67).



- [1] Motor
- [2] Oil pump
- [3] Suction pipe
- [4] Gauge mounting block
- [5a] Duplex filter

- [5b] Single filter
- [6] Pressure switch
- [7] Pressure pipe
- [8] Contamination indicator

4.2 OAC1/OAP1

Ilmajäähdytteinen voiteluyksikkö voi olla painevoiteluputkituksella tai ilman putkitusta, jolloin vaihte roiske- tai kylpyvoitelussa. Painevoiteluversiossa vakiona tarvitaan painekytin ja jäähdytetty öljy ohjataan putkien avulla voideltaviin kohteisiin. Öljyä kierrättävässä versiossa, öljy ohjataan takaisin koteloon jäähdytettynä mutta itse voitelu hoituu roiske- tai kylpyvoiteluna.

Ilmajäähdytteisessä yksikössä pumppukoot asettuvat 4 ja 63 välille (Kuva 17). Lisäksi jokaiselle pumppukoolle on valittu ilmalämmönvaihdin yksikkö (Kuva 18).

Kuva 17. OAC1 suunnitellut pumppukoot (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 28).

OAC1 size	Oil pump size
04/042	KF 4
06/120	KF 6
10/220	KF 10
16/320	KF 16
20/420	KF 20
32/420	KF 32
32/520	KF 32
50/710	KF 50
63/810	KF 63

Kuva 18. OAC1 ilmalämmönvaihto yksikkö (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 28).

OAC1 size	Oil-air heat exchanger
04/042	LKI-042
06/120	LKI-120
10/220	LKI-220
16/320	LKI-320
20/420	LKI-420
32/420	LKI-420
32/520	LKI-520
50/710	LKI-710
63/810	LKI-810

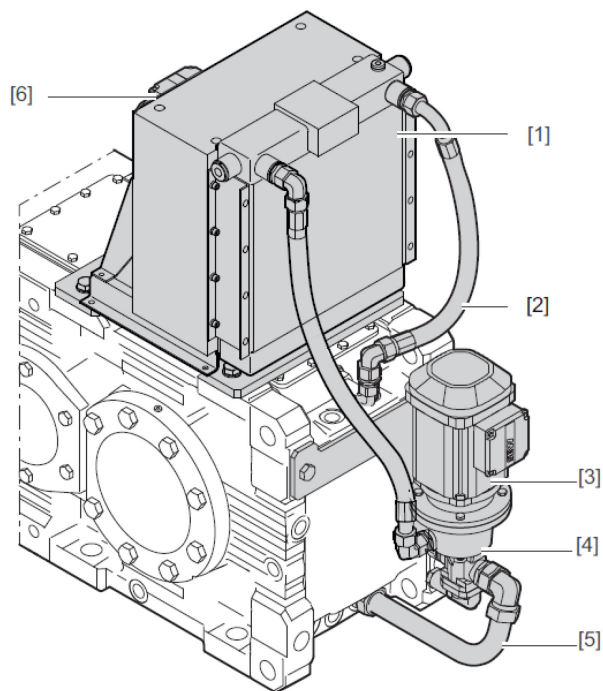
Jokaiselle pumppu ja lämmönvaihdinyhdistelmälle on laskettu valmiiksi jäähdytyskapasiteetti tietyillä lähtöoletuksilla. Ilmajäähdytymen jäähdytyskapasiteetti on laskettu valmiiksi, kun ympäristön lämpötila on 40°C ja pumpattavan öljyn lämpötila 70°C (Kuva 19).

Kuva 19. OAC1 jäähdytyskapasiteetti (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 28).

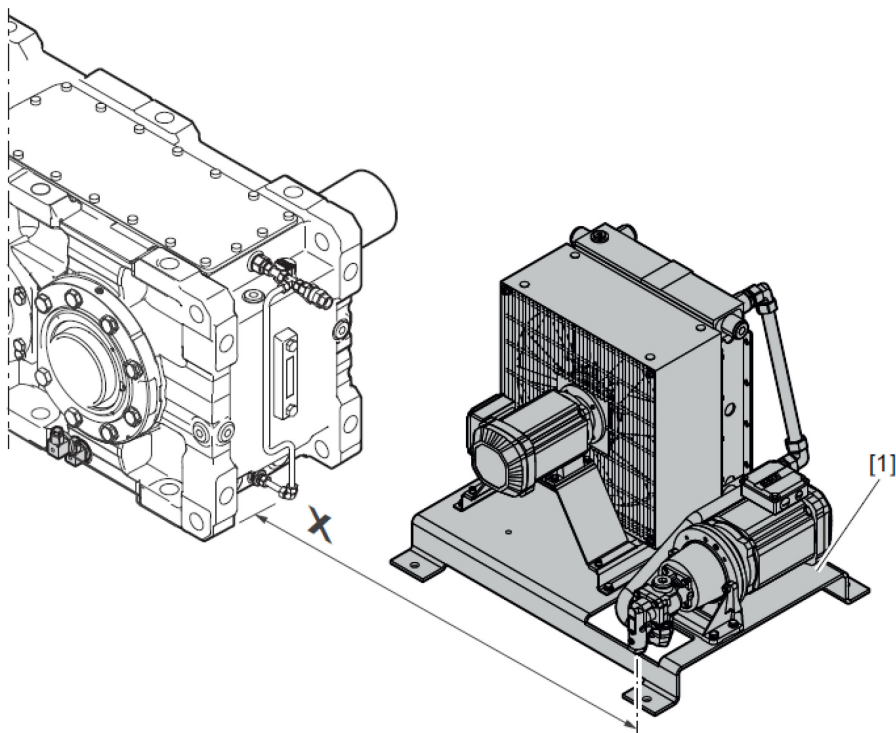
OAC1 size	Cooling capacity at 40 °C air/70 °C oil kW
04/042	1.8
06/120	4.0
10/220	4.8
16/320	9.4
20/420	10.8
32/420	13.0
32/520	20.3
50/710	27.7
63/810	40.4

Ilmajäähdytteinen voiteluyksikkö on suunniteltu vaihteelle, joka on asennettu vaaka-asennusasentoon M1. Tässä asennusasennossa pumppu ja suodatin asennetaan vaihteen pätyyn (F6) ja ilmalämmönvaihdinyksikkö vaihteen päälle (F2) (Kuva 20). Mikäli vaihteella on jokin muu asennusasento tai vaihteeseen ei haluta kiinnittää voiteluyksikköä, saa vakioratkaisuna ilmajäähdytteisen voiteluyksikön myös erilliselle alustalle asennettuna (Kuva 21).

Kuva 20. OAC1 asennettuna vaihteeseen kiinni (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 21).



Kuva 21. OAC1 erilliselle alustalle asennettuna (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 30).



Painevoiteluversiossa painekytin sekä yksi suodatin kuuluvat vakioitoimitukseen. Lämpötilakytkin kuuluu vakiona molempiin toimituksiin. Lisävarusteina voidaan lisäksi

toimittaa lämpötilalähetin, tuplasuodatin, virtausvahti, painemittari, lämpömittari ja painelähetin. (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 35)

4.3 OWC1/OWP1

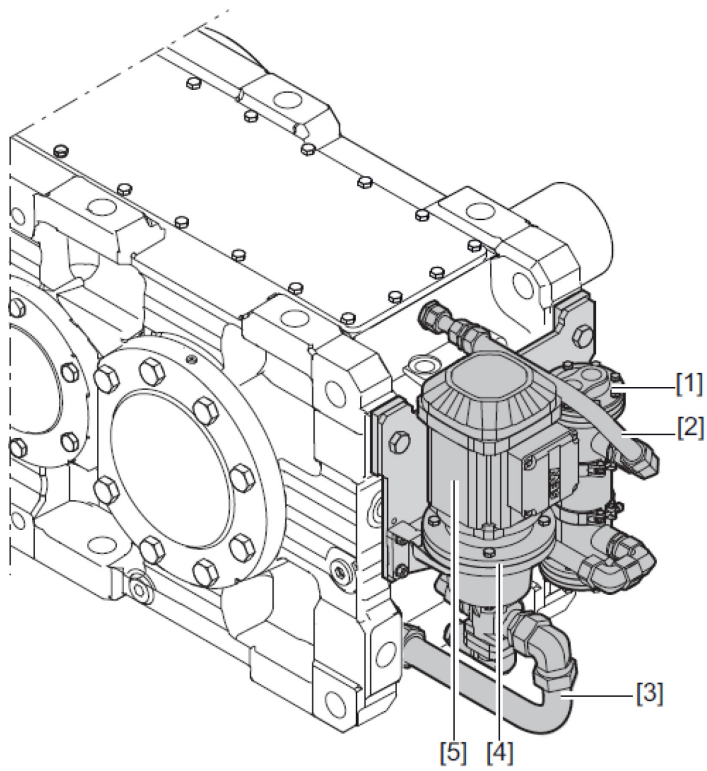
OWC1 tai OWP1 eli vesijäähdyttimellä varustetut voiteluyksiköt toimivat käytännössä samoin kuin ilmajäähdyttimellä varustetut yksiköt mutta ovat hieman vähemmän tilaa vieviä ratkaisuja. Jäähdyttävä vesi ohjataan putkilämmönvaihtimeen, joka viilentää putkilämmönvaihtimen läpi virtaavan öljyn. Valitut pumppukoot vaihtelevat 6 ja 80 välillä. Kuten ilmajäähdytteisissä voiteluyksiköissäkin, vesijäähdytteisissä yksiköissä tietyt pumppukoot on yhdistetty tiettyjen jäähdytinkokojen kanssa yhteen. Näille yhdistelmille on laskettu jäähdytyskapasiteetti sekä pumpun öljyntuotto yleisimmin käytetyillä lähtöarvoilla (Kuva 22). (SEW-EURODRIVE, 2023)

Kuva 22. OWC1 tietotaulukko (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 50).

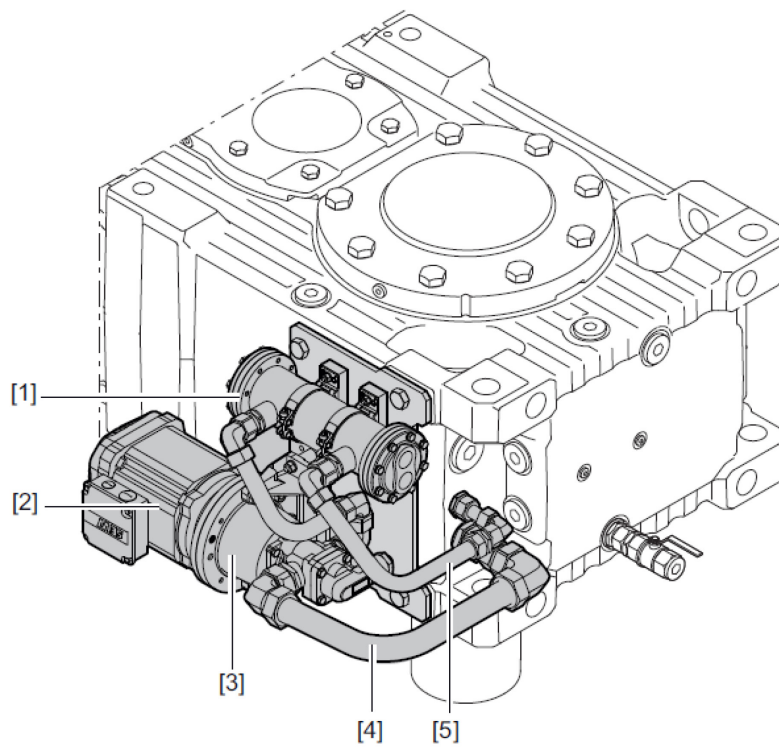
OWC1 Size	Pump size	Connected load pump motor kW	Oil-water cooler	Pump capacity at 1500 1/min		Cooling capacity 30 °C/70 °C kW	Water connection
				50 Hz	60 HZ		
06/712	KF 6	0.55	EKM-712-T-CN-R2	8.4	10.1	3.5	G3/4
08/712	KF 8	0.55		10.5	12.8	4.5	
12/712	KF 12	1.1		17.1	20.7	7	
16/712	KF 16	1.1		21.8	26.4	9	
20/718	KF 20	1.5	EKM-718-T-CN-R2	27.1	32.9	15	G1 1/4
32/1012	KF 32	2.2	EKM-1012-T-CN-R2	43.8	53.1	20	
50/1012	KF 50	4.0	EKM-1012-T-CN-R2	68.2	83	29	
50/1024	KF 50	4.0	EKM-1024-T-CN-R2	68.2	83	44	
80/1024	KF 80	5.5	EKM-1024-T-CN-R2	110	133	65	

Vaihteen ollessa M1- asennusasennossa eli akselit vaaka- asennossa, vesijäähdytteinen yksikkö asennetaan vaihteen pätyyn F6 pintaan (Kuva 23). Erona ilmajäähdytteiseen yksikköön, vesijäähdytteiset yksiköt on suunniteltu valmiiksi myös vaihteen ollessa vertikaaliasennossa (M5), jolloin yksikkö asennetaan vaihteen kylkeen (F1) (Kuva 24). OWC1 ja OWP1 ovat myös saatavilla asennettuna erilliselle alustalle (Kuva 25).

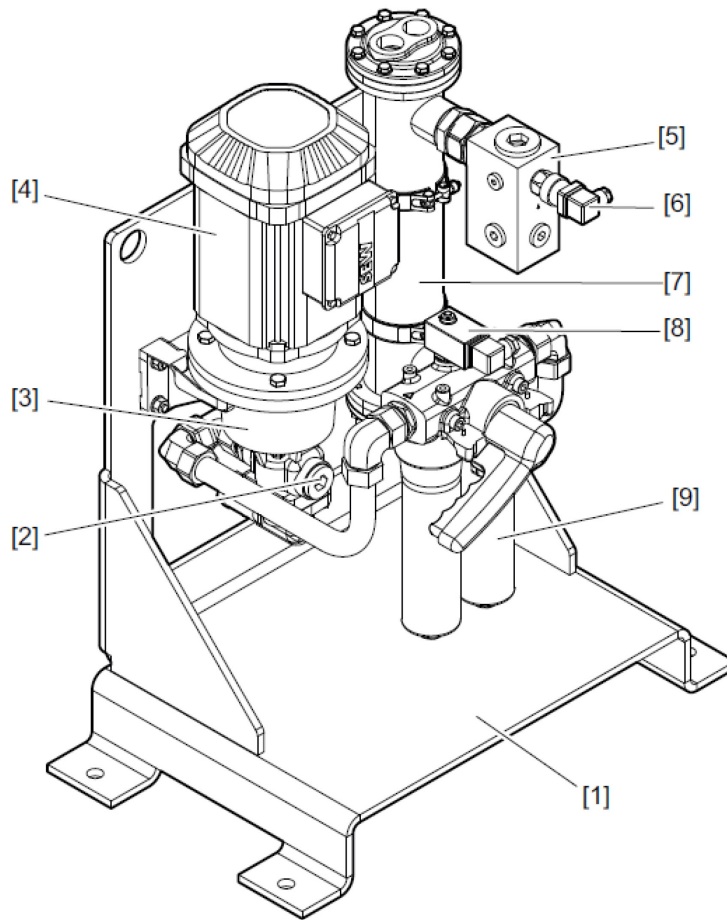
Kuva 23. OWC1 asennusasento M1 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 43).



Kuva 24. OWC1 asennusasento M5 (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 44).



Kuva 25. OWC1 erilliselle alustalle asennettuna (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 45).



Jäähdyttimen, pumpun ja moottorin lisäksi toimitukseen kuuluu lämpökytkin. Lisävarusteina on mahdollisuus hankkia lämpötilalähetin, veden virtausventtiili ja virtausvahti, suodatin, painekeytkin, painemittari, lämpömittari sekä painelähetin. (SEW-EURODRIVE, 2023, s. 46)

5 Voiteluyksikön valinta

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli selvittää jokaiselle vaihdekoolle mahdolliset yhteensopivat voiteluyksikkökoot. MC- vaihdesarjassa ei käytetä pelkkää painevoitelua, vaan kyseessä on aina painevoitelun ja roiske- tai kylpyvoitelun yhdistelmä. Tästä syystä yhteensopivuutta mietittäessä huomioidaan vain öljyn kierrättämiseen suunnitellut voiteluyksiköt OAC1 sekä OWC1. Voiteluyksikköä käytetään MC- vaihdesarjassa käytännössä öljyn jäähdyttämiseen ja suodattamiseen. Jo etukäteen päätettiin, että pienimmät koot 02 ja 03 jäävät pois tarkastelusta vähäisen öljymääränsä ja jäähdytys tarpeen harvinaisuuden takia.

Tästä lähtökohdasta tehtiin suunnitelma, kuinka saadaan aikaiseksi karkea arvio eri vaihdekoille sopivista voiteluysiköistä. Tavoitteena oli, että myynti voisi käyttää kyseistä listausta voiteluysikön valinnan apukeinona mutta lopullinen valinta suoritettaisiin tarkemman vaihteen termisen laskennan kautta.

Valintaa lähdettiin tekemään tutkimalla vaihteiden jäähdytystarvetta. Riittävän tarkkaan lopputulokseen päästään olettamalla, että vaihteen koko häviöteho poistetaan voiteluysikön avulla. Todellisuudessa voiteluysikön tarvitsee poistaa vähemmän lämpöä, koska vaihteen kotelo poistaa osan lämmöstä (Björk, ym., 2014, s. 350). Tarvittava jäähdytysteho saadaan laskemalla vaihteen käyttötehosta ja hyötysuhteesta. Käyttöteho taas määräytyy vaihteen nimellistehon ja käyttökertoimen mukaan (Kaava 3). MC- vaihteiden nimellistehot on määritelty vaihdesarjan omassa katalogissa.

Jotta vaihteen jäähdytys toteutuu, öljytuoton tulee olla riittävä. Tarvittava öljytuotto saadaan laskemalla häviötehon ja jäähdytetyn sekä jäähdyttämättömän öljyn lämpötilaeron avulla. (Yrityksen sisäinen ohje)

Nyrkkisäännön mukaan öljymäärän vaihteessa on oltava yli 2 kertaa suurempi, kuin voiteluysikön tuotto eli tilavuusvirta. Tällä varmistetaan, että öljyllä on riittävästi rauhoittumisaikaa, jolloin öljy ei pääse vaahtoutumaan liiaksi ja epäpuhtaudet pääsevät erottumaan öljystä luonnollisesti.

5.1 OAC1 valinta MC- vaihteisiin

Ensimmäisessä vaiheessa taulukoitiin vaihteet Excel- taulukkoon, johon vaihteille laitettiin öljytilavuus eri asennusasennoissa sekä hyötysuhde (η) (2- vai 3-portainen vaihde) (yrityksen sisäinen tiedosto). Haluttiin selvittää vaihteiden suurimmat jäähdytystehon tarpeet (P_L), joten nimellistehoksi valittiin suurin mahdollinen nimellisteho. Suurin mahdollinen nimellisteho sallitaan, kun vaihteessa on pienin välitys (i) sekä suurin sallittu pyörimisnopeus ensiöakselilla (1800 1/min). Käyttöteho (P_{K1}) laskettiin käyttökertoimella (F_S) 1.5, vaikka pienin mahdollinen käyttökerroin olisi 1. Käyttökerroin 1.5 valittiin, koska se edustaa pienintä käytännössä esiintyvää käyttökerrointa. Jokaiselle vaihteelle laskettiin käyttötehon avulla jäähdytystarve (P_L).

Jotta varmistuttiin laskennan suuruusluokan järjestyksestä, tarkastettiin vaihteiden jäähdytystarvetta yrityksen omalla GEAR –ohjelmalla. Antamalla vastaavat lähtöarvot ja

valitsemalla sopiva vaihde kyseisellä ohjelmalla, saatiin hyvin vastaavat jäähdytystehon tarvearvot.

Laskettua jäähdytystehon tarvetta verrattiin OAC1- yksikköiden jäähdytystehoihin, jolloin saatiin selville tarvittava voiteluysikkökoko suurimmalle vaihteen käyttöteholle. Lisäksi vertailtiin pumpun tuottoa ja vaihteen öljymäärää M1- asennusasennossa sekä tarvittavaa öljynvirtausta jäähdytykseen ja vaihteen öljymäärää M1- asennusasennossa. Yhdistämällä kaikki vertailut saadaan lopullinen arvio eri vaihdetyyppeihin ja -kokoihin soveltuvista voiteluysiköistä suurimmalla käytöllä (käyttökerroin 1.5, pyörimisnopeus 1800 1/min ja pienin mahdollinen välityssuhde). (Liite 1)

Taulukoidusta lopputulemasta nähdään, että vain MC3P vaihteen 06 ja 08 kokoihin löytyy sopiva voiteluysikkö. (Liite 1)

Ongelmaksi muodostuu erityisesti vaihteiden vähäinen öljymäärä suhteessa käyttötehoon, joten seuraavaksi lähdettiin tutkimaan yhteensopivuutta normaalimmalla käyttöteholla. Valitaan käyttöteho, jota käytetään keskimääräisellä välityksellä sekä ensiöakselin pyörimisnopeudella 1500 1/min. Käyttökertoimeksi valitaan 2, joka vastaa oman kokemukseni mukaan MC- sarjassa yleistä käyttökerrointa.

Saadut tulokset taulukoidaan samalla tavalla kuin suurimmallakin käyttöteholla (Liite 2). Saaduista tuloksista nähdään, että 3- portaisille vaihteille löytyy yhteensopiva voiteluysikkö mutta kaikille 2- portaisille vaihteille ei löydy. Tätä selittää osaltaan 2- portaisissa vaihteissa käytetty lyhyempi kotelo ja näin ollen pienempi öljytilavuus. Toinen ongelma on iso käytettävä nimellisteho ja siitä johtuva suuri jäähdytystehon tarve.

Yhtenä mahdollisena ratkaisuna sopivan voiteluysikön löytämiseksi jokaiselle vaihdekoolle ja –tyypille otettiin käyttöön mahdollisuus nostaa öljymäärää vaihteessa. MC- vaihdesarjaan on suunniteltu hidasta käyttöä varten öljysilmälle normaalia hieman ylempänä oleva paikka, joka nostaa öljymäärää. Vaihteiden koeajon yhteydessä mitataan todellinen öljymäärä jokaiselle vaihteelle, joten tutkimme muutamalla vaihdekoolle, kuinka paljon öljysilmän paikan vaihtaminen lisää öljymäärää prosentuaalisesti. Tällä keskimääräisellä prosenttiosuuden lisäämisellä kerrottiin kaikkien vaihdekokojen alkuperäinen öljymäärä ja taulukoitiin uudelleen. Muutamalle vaihdekoolle saatiin näin uusi yhteensopiva voiteluysikkökoko mutta ei kaikille. (Liite 3)

Koska edes korotetulla öljymäärällä ei kaikille vaihdekoille ja –tyypeille löytynyt yhteensopivaa vaihtoehtoa, joudutaan joidenkin vaihteiden kohdalla tekemään kompromisseja vaihteen ja voiteluyksikön yhteensovittamisessa.

Lopputulosta arvioitaessa on huomioitava, että keskimääräinen käyttö ei vastaa kaikkia mahdollisia käyttöjä eikä huomioi muiden vaihteen käyntilämpötilaan vaikuttavien seikkojen, kuten tuulettimen käyttöä. Siksi pienimpien voiteluyksiköiden rajaaminen pois mahdollisista yhdistelmistä täytyy harkita tapauskohtaisesti.

Vertikaali (M5) ja pysty (M4) asennusasunnoissa voiteluyksikön ja vaihteen yhdistäminen helpottuu hieman, sillä näissä vaihteen asennusasunnoissa öljymäärät ovat suurempia kuin vaaka- asennusasennossa ja näin ollen suurempien pumppujen käyttö on mahdollista. M5- asennossa täytyy ottaa kuitenkin huomioon ylempien laakereiden sekä tiivisteen voitelutarve.

M5- asennossa ylempien laakereiden voitelutarve saadaan yrityksen sisäisestä GEAR – vaihteen valintaohjelmistosta. 2- portaisissa vaihteissa voitelutarve on hieman pienempi, sillä voideltavia laakereita on vähemmän kuin 3- portaisissa vaihteissa. Taulukosta nähdään (Liite 4), että asennusasennon suurempi öljymäärä mahdollistaa suoraan löytämään kaikille muille sopivan voiteluyksikön paitsi MC3R04 vaihteelle. Käytännön tilaukselle kyseiselle vaihteellekin löydetään voiteluyksikkö, koska tässä vertailussa käytetään vain keskiarvovaihteen tietoja. OAC1 06/120 pumpun tuotto on 8,4 l/min ja GEAR- ohjelmisto antaa öljyn virtaustarpeeksi 9,8 l/min. Kyseinen ohjelmisto laskee arvon pelkästään voitelua ajatellen. Kuitenkin painevoitelua tarvitsevat kyseisellä vaihteella vain kolme yläpuolella olevaa laakeria, joille riittävä voitelu on alle 1 l/min laakeria kohden (Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, 2014, s. 103), joten pumpun tuottama 8,4 l/min riittää oikein hyvin.

Vertikaalivaihteisiin on myös suunniteltu tarkastuskannen paikalle lisäöljytankki, jolla öljymäärää saadaan nostettua jos vaihde tarvitsee isompaa voiteluyksikköä jäähdytykseen.

Pystyvaihteissa eli M4- asennusasennossa on öljymäärät kaikista suurimmat, joten kaikille vaihdetyypeille löytyy sopiva voiteluyksikkö (Liite 5).

5.2 OWC1 valinta MC- vaihteisiin

Vesijäähdytteisten yksiköiden valintaprosessi MC- vaihteisiin vastaa ilmajäähdytteisen yksikön valintaprosessia. OWC1:n kanssa lähdettiin heti etsimään keskimääräiselle käytölle sopivia yksiköitä ja jätettiin suurin käyttöteho kokonaan pois, koska voidaan olettaa tuloksen

olevan vastaava kuin ilmajäähdytteisen yksikön kanssa. Suurimpana erona vertailutaulukoissa on valinnat sekä 50 Hz että 60 Hz moottoreilla varustetuille pumpuille, kun OAC1:ssä pumppujen tuotot ilmoitetaan tuoteluettelossa 50/60 Hz globaalilla moottorilla (SEW-EURODRIVE, 2023). 60 Hz moottorikäytöllä pumpun tuotto on hieman suurempi kuin 50 Hz käytöllä, joten tämä saattaa hankaloittaa 60 Hz käytöillä sopivan voiteluyksikön löytämistä vaihteelle.

Tässäkin tapauksessa tulee huomioida, että vertailut on tehty keskimääräisellä käyttöteholla. Siksi pienempien voiteluyksiköiden rajaamiseen pois mahdollisista yhdistelmistä, tulee suhtautua varauksella.

Vertailussa on huomioitu pumpun tuoton (50 Hz ja 60 Hz) ja öljymäärän suhde, jäähdytystehon tarpeen ja jäähdytystehon vertailu sekä öljyn virtaustarve jäähdytyksen näkökulmasta suhteessa öljytilavuuteen. Edellämainitut vertailut on yhdistettiin kahdeksi lopputulokseksi (50 Hz ja 60 Hz). (Liite 6).

Myös OWC1:n kohdalla huomataan, että M1- asennusasennossa ei löydy näillä kriteereillä suoraan kaikille vaihdetyypeille voiteluyksikköä. Varsinkin 04- kokoinen vaihde lyhyemmällä kotelolla muodostuu ongelmaksi enemmän kuin ilmajäähdytteisellä yksiköllä, sillä vesijäähdytteistä yksikköä ei ole suunniteltu lainkaan pienimmällä 4- kokoisella pumpulla, kuten OAC1:ssä on.

Seuraavassa vaiheessa lähdettiin tutkimaan löytyykö lisää yhteensopivuuksia, kun käytetään korotettua öljyntasoa, kuten OAC1 kanssakin toimittiin. Todellinen öljymäärä vaihteissa korotetulla öljyntasolla mitattiin yhdessä tehtaan koeajon kanssa. Vertailtavat kohteet pysyivät muuten samana, vain vaihteen öljymäärä on eri. Korotettua öljymäärää tutkittiin vain lyhyen kotelon vaihteilla eli MC2P, MC2R ja MC3R, koska 3- portaiselle lieriövaihteelle löytyy yhteensopivat voiteluyksiköt ilman korotettua öljymäärää. (Liite 7)

50 Hz taajuudella vain MC2R04 vaihde jää korotetulla öljymäärällä ilman sopivaa voiteluyksikköä. 60 Hz taajuudella useampi vaihdetyyppi sekä vaihdekoko jäävät ilman sopivaa voiteluyksikköä ja näihin täytyy tarkastella sopiva voiteluyksikkö aina tapauskohtaisesti.

Vertikaali- ja pystyvaihteissa (M5- ja M4- asennusasennot) öljymäärät ovat suurempia kuin normaaliasennossa (M1). Tästä johtuen oletusarvona sopivia voiteluyksiköitä vaihteille löytyy

helpommin kuin normaaliasennossa. Vertikaalivaihteilla täytyy kuitenkin huomioida ylempien laakereiden ja tiivisteiden voitelu.

Vertikaalivaihteilla sopivia voiteluysiköitä tutkittiin pumpun tuoton ja öljytilavuuden riittävyyden vertailulla, öljynvirtaustarpeen (jäähdytyksen ja voitelun suhteen) ja öljymäärän riittävyyden vertailulla. Lisäksi vertailtiin vaihteen jäähdytystehon tarvetta ja voiteluysikön jäähdytystehoa. Kuten oletuksena oli, jokaiselle vaihdetyypille ja vaihdekoolle löytyi sopiva voiteluysikkö sekä 50 Hz että 60 Hz moottoreilla. (Liite 8)

Pystyvaihteilla sopivien voiteluysiköiden määrän pitäisi olla samoilla tarkastelukohteilla suurempi kuin vertikaalivaihteiden kohdalla, koska pystyvaihteissa öljymäärät ovat vielä suurempia sekä koko vaihteen voitelu tapahtuu roiskevoitelulla. Kuten Liitteestä 9 nähdään, kaikille vaihdetyypeille ja vaihdekoille löytyi tällä tarkastelulla useampi voiteluysikkökoko yhteensopivaksi.

5.3 Voiteluysikön valinnan yhteenveto

Vaikka sopivien voiteluysikön valinnassa tehtiin yksinkertaistuksia, kuten jäähdytystehon tarpeen laskennassa sekä valittiin vertailukäyttöttehoksi keskivertovaihteen käyttöteho niin sopivien voiteluysiköiden valinta vaihteille ei ollut helppo tehtävä. Varsinkin normaalissa vaaka- asennusasennossa (M1) 2 -portaisilla vaihteilla nimellistehot ovat korkeat ja näin ollen tarvittava jäähdytysteho suuri mutta kokonsa puolesta öljytilavuudet ovat pieniä.

Öljymääriä pyrittiin nostamaan korotetulla öljytasolla mutta tämä toi ratkaisun vain tiettyihin vaihteisiin, jonka lisäksi öljymäärä tulee tarkistaa suunnittelun yhteydessä.

Jäähdytystehon tarve sekä öljyvirtauksen tarve jäähdytyksen näkökulmasta tutkittiin vain keskiarvovaihteilla eikä näin ollen saada täydellistä kuvaa yhteensopivista vaihteista ja voiteluysiköistä. Jokaisella vaihteella on vähintään satoja eri käyttöjen ja käyttökohteiden yhdistelmiä, joten tarkempi analysointi vaatisi rutkasti enemmän aikaa ja resursseja kuin tämän opinnäytetyön puitteissa on mahdollista toteuttaa.

Tarkastelun tarkoituksena olikin luoda myynnin avuksi valintataulukko, josta pystytään katsomaan suuntaa antavasti sopivia vaihde ja voiteluysikkö yhdistelmiä. Valinnan tehtyään vaihteelle suoritetaan tarkempi terminen laskenta, jonka pohjalta lopullinen valinta tehdään.

6 Suunnittelu

Suunnittelun tavoitteeksi päätettiin luoda 3D- mallit yhdelle vaihdekoolle vesijäähdyttimellä (asennusasennot vaaka M1 ja vertikaali M5) sekä ilmanjäähdyttimellä (vaaka-asennusasento M1). Näiden 3D- mallien pohjalta tarkoituksena oli tehdä geneeriset kokoonpanokuvat, joita voidaan käyttää kaikissa variaatioissa vaihdekoosta ja jäähdytintyyppistä riippumatta. Prosessin ajatuksena oli yhdenmukaistaa tulevaisuudessa suunniteltavat vaihde- ja voiteluysikkökombinaatiot piirteiltään samanlaisiksi. Tämän opinnäytetyön puitteissa suunniteltiin 3D- mallit 06- koon MC- sarjan kaikille voiteluysikkökombinaatioille.

Suunnittelun pohjana käytettiin X- vaihdesarjaan luotuja kokoonpanoja, jotta mahdollistetaan osien, kuten putkien ja liittimien, mahdollisimman suuri käyttö. Tämä vähentää yksittäisen osan hankintakustannuksia ja helpottaa mahdollisten varastojen ylläpitoa.

Uudelleen suunniteltaviksi osiksi analysoitiin kiinnitysrautojen, imuliitännöiden sekä paineliitännöiden suunnittelu. Kiinnitysraudat täytyy suunnitella uusiksi, sillä MC- sarjan vaihteiden kiinnityskohtien mitat eroavat X- sarjan vastaavista. Imuliitäntä X- sarjassa on suunniteltu taivutetulla metalliputkella mutta MC- sarjassa imuliitäntä on yleisesti toteutettu letkulla, joten toteutus päädyttiin tekemään letkulla myös tässä tapauksessa. Paineliitäntä X- sarjassa on myös toteutettu kovalla putkella mutta MC- sarjassa tahtotilana tässä oli käyttää letkua. Letkua käyttämällä pystytään vähentämään varastonimikkeiden määrää, sillä letkut leikataan oikeaan mittaan suoraan omassa kokoonpanotehtaassa eikä eri akseliasennoille sekä pumppu- ja vaihdekoille tarvita omia putkinimikkeitä.

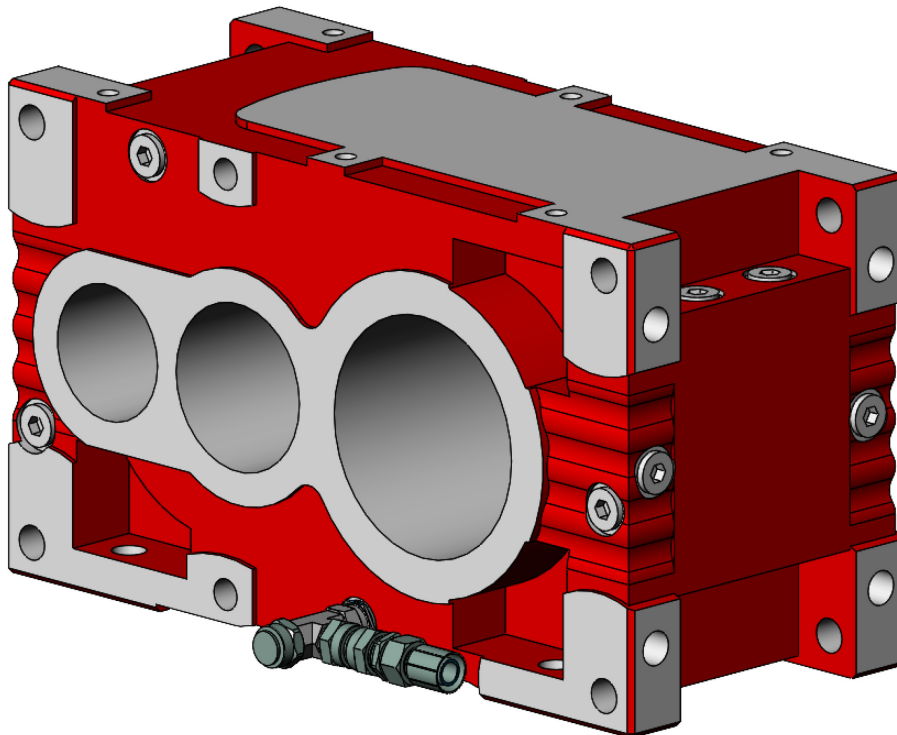
Erilliselle alustalle asennettavat voiteluysiköt ovat valmiiksi suunniteltuja yksiköitä. Suunnittelun näkökulmasta kyseisiin yksiköihin ei tarvitse suunnitella kuin imu- sekä paineletkut ja niiden liittimet.

Kyseisiin voiteluysiköihin ei tehty erikseen konfiguroituja malleja, jotka olisi liitettyä tietyn kokosiin vaihteisiin. Suunnitteluvaiheessa suunnittelija toteuttaa liitännät vaihteisiin vastaavasti kuin vaihteisiin kiinnitettävien voiteluysiköiden kanssa.

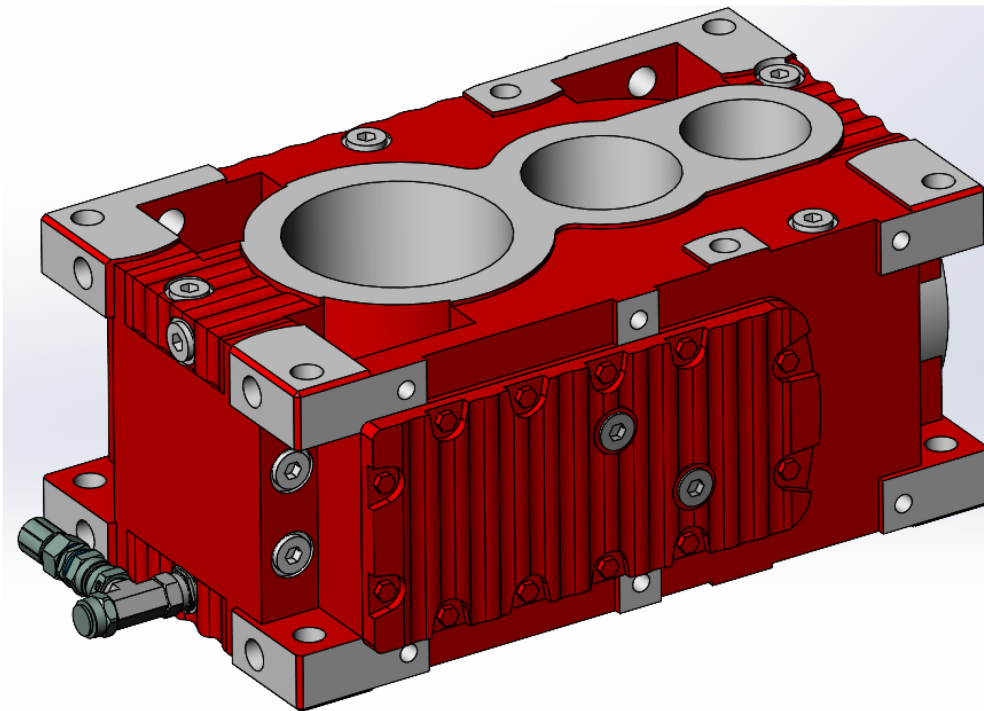
6.1 Imuliitäntä

MC- vaihdesarjassa öljyn imu suoritetaan kotelon reiästä, josta myös öljy valutetaan pois vaihteesta öljynvaihdon yhteydessä. M1 asennusasennossa öljyä imetään kotelon kyljessä olevasta kierrereiästä (Kuva 26). Koska kotelo on symmetrisesti koneistettu, molemmissa kyljissä reiät ovat samassa kohdassa ja imu tapahtuu toisioakselin vastakkaisesta puolelta (koteloiden koneistuskuvat). Vertikaalivaihteissa (M5) öljyn imu sekä vaihteen tyhjennys tapahtuu kotelon päädyssä olevasta kierrereiästä (Kuva 27). Jotta öljyn imu sekä vaihteen tyhjennys onnistuu liittimiä irrottamatta, voiteluyksikköisiä vaihteita varten suunniteltiin öljyn imua varten t- haaraliitäntä kotelon öljynpoistoreikään. Vaihteiden kokoalueella 04- 05 öljyn poistoreikä on 3/4 tuumainen ja kokoalueella 06- 09 1 tuuman kokoinen, joten t- haaraa varten tarvitaan pienemmissä koissa erillinen muunnosliitin. (SEW-EURODRIVE, 2005)

Kuva 26. Imuliitäntä M1- asennusasento.



Kuva 27. Imuliitäntä M5- asennusasento.



Imuliitäntää suunniteltaessa suunnittelijalla on käytössään yrityksen sisäinen laskentaohjelma, joka huomioi imuputken tai letkun pituuden ja sisähalkaisijan, pumpun ja öljynpinnan korkeuseron, putken tai letkun taivutukset, liittimet, öljyalaadun, öljyn lämpötilan sekä pumpun tuoton. Nämä arvot täyttämällä saadaan tulokseksi putkeen syntyvä alipaine, öljynvirtausnopeus putkessa tai letkussa sekä öljyn viskositeetti käynnistystilanteessa. Jotta vältetään kavitaatiolta, tulee putkeen muodostunut alipaine saada riittävän matalaksi.

X- vaihdesarjassa öljyn imu on toteutettu putkella ja tarkoitettu toimimaan korkealla käynnistysviskositeetilla. Jotta letkuilla päästään samaan, tarvitsee letkuun muodostuvaksi alipaineeksi saada alle 0.4 bar (C. Luft, keskustelu, 8.1.2024). Varsinkin erilleen vaihteesta asennettavien voiteluyksiköiden kanssa tästä täytyy erikseen tehdä laskelmat, koska voiteluyksikkö ja vaihde ovat yleensä asennettu jonkin matkan päähän toisistaan, jolloin letkut pitenevät ja virtausvastus niissä kasvaa.

Vaihteeseen kiinnitettävälle voiteluyksiköille tehtiin laskelmat valmiiksi, jotta 3D- malleihin pystyttiin suunnittelemaan oikean kokoiset liittimet ja letkut. Voiteluyksiköiden kanssa vaihteissa käytetään yleisesti synteettistä 220 öljyä, joten laskenta tehtiin kyseistä öljyä käyttämällä (yrityksen sisäinen ohje). Laskennan tuloksena voidaan todeta, että 06- 16

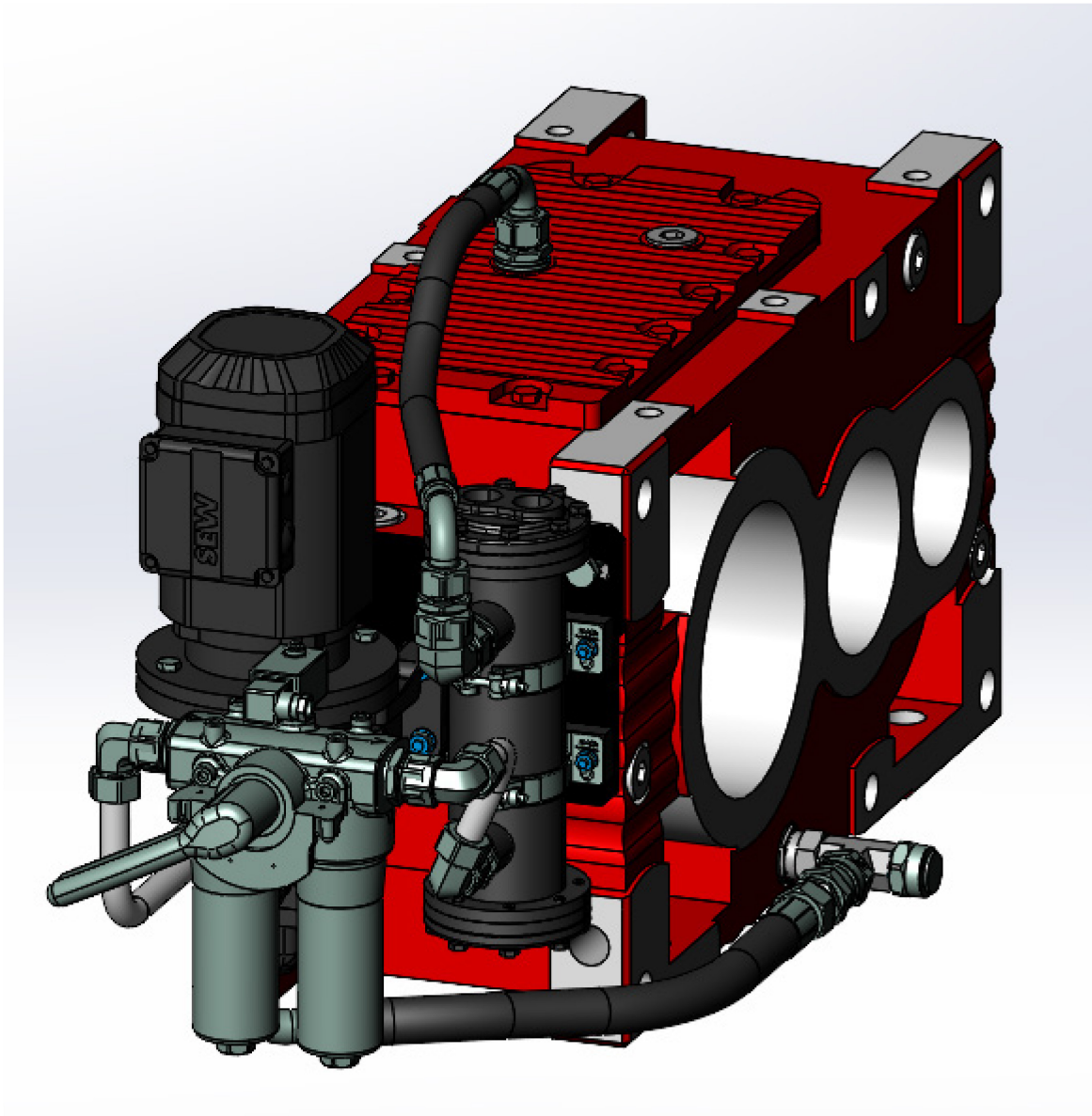
kokoisten pumppujen kanssa imuletkuksi sopii 1 tuuman letku ja 20-32 kokoisille pumpuille 1 1/4 tuuman letku. Laskelmat pystyttiin tekemään valmiiksi vaihteisiin kiinnitettävien yksiköiden osalta, koska letkujen pituudet ja liittimet, imuletkun pituus sekä öljyn imukorkeus pysyvät yhteisestä rakenteesta johtuen vakiona.

6.2 Paineliitäntä

Paineliitännän toteutuksessa suunnittelun pohjaksi otettiin MC- vaihdesarjaan standarsoidut paineliitännän paikat ja letkujen koot. Letku toteutetaan 3/4 tuuman letkulla, jota käytetään akselinpääpumppujen paineliitännässä sekä aiemmin ostovoiteluyksiköiden paineliitännässä.

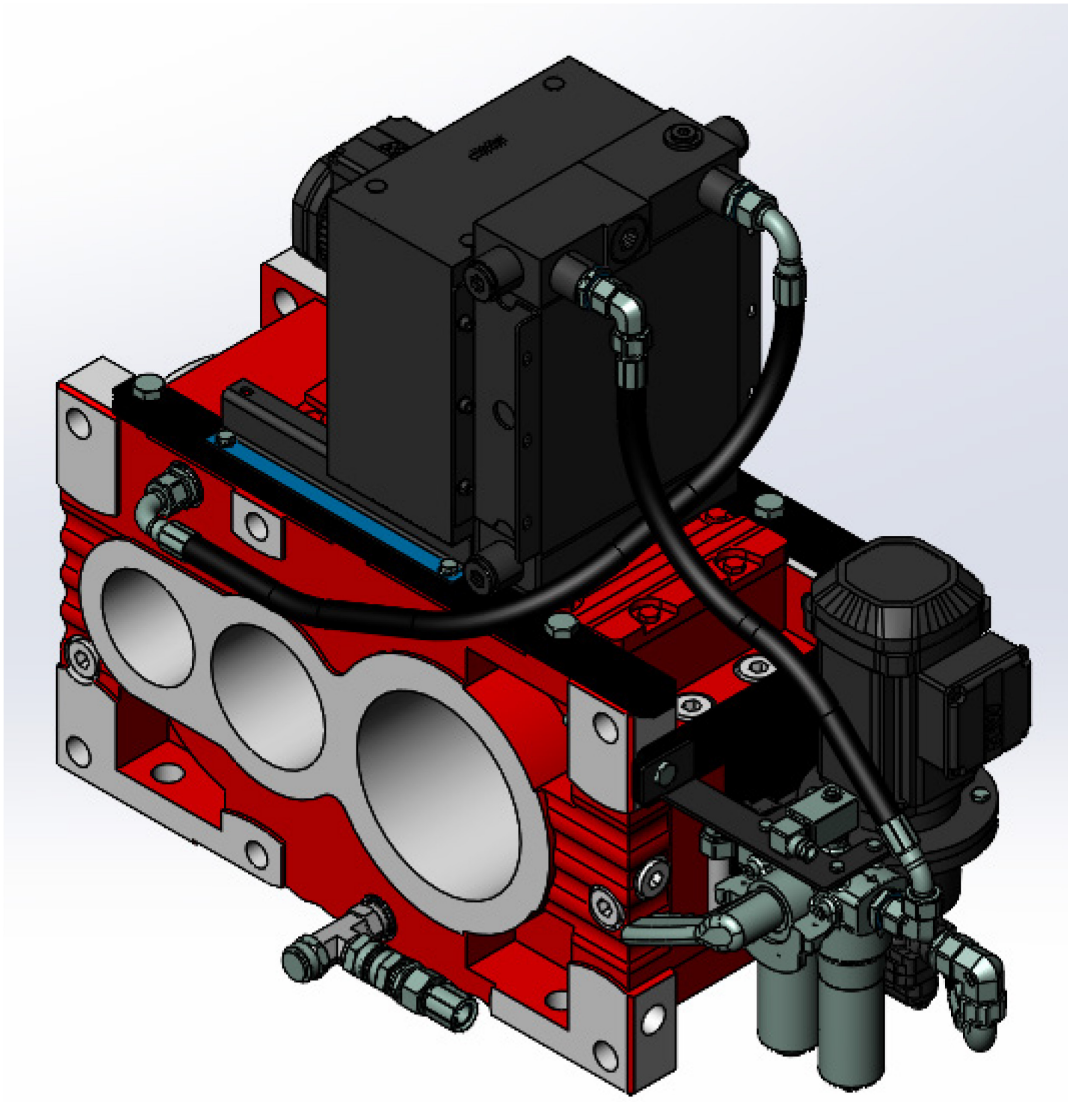
M1 vaaka- asennusasennossa paineliitäntä pyritään tuomaan mahdollisimman lähelle vaihteen ensiöakselia, jossa pyörimisnopeus on suurimmillaan, jolloin myös lämpenemistä tapahtuu eniten. Lisäksi öljyn imu tapahtuu vaihteen toisiopäädystä alhaalta, joten öljyn kiertämisen kannalta vaihteen etuosa on paras vaihtoehto öljyn kierrättämisen näkökulmastakin. Vakiopaikka painevoitelulle on vaihteen päällä sijaitsevan tarkastuskansi, joten OWC1 tapauksessa käytetään tätä samaa paikkaa (Kuva 28). Tarkastuskannessa painepuolen liitäntä ei ole akseliasentoriippuvainen. Tällä säästetään aikaa suunnittelussa. Tarkastukannen kierrereivät ovat kaikissa koissa 1 tuuman kierrereikiä, joten liittimet pysyvät samana vaihteen koosta riippumatta. Mikäli paineliitäntä suunnitellaan kotelon kylkeen, tulee huomioida ensiöakselia pyörittävän moottorin liitäntä.

Kuva 28. Paineliitäntä OWC1 M1- asennusasento.



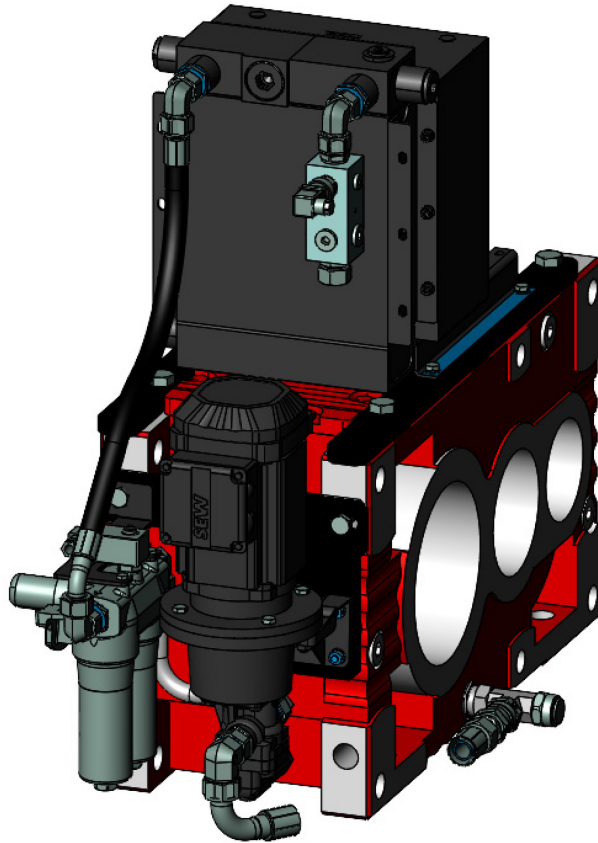
OAC1:ssä paineliitäntää ei kuitenkaan voida toteuttaa tarkastuskanteen, sillä jäähdytinsyksikkö on vaihteen päällä. Paineliitäntä suunniteltiin kotelon kyljissä oleviin kierrereikiin (Kuva 29). Kuten aiemmin mainittiin, lieriövaihteiden (MC2P ja MC3P) tapauksessa liitäntä tulee suunnitella ensiöakselin vastakkaiselle puolelle, jotta moottoriliitäntä jää vapaaksi. Kartiolieriövaihteissa paineliitäntä voidaan suunnitella halutulle puolelle. Koteloon tulevan liittimen valinnassa on huomioitava 04- 05 vaihdekoissa kotelossa olevat 3/4 tuuman kierrereiät. Isommassa kokoluokassa on 1 tuuman kierrereiät (koteloiden koneistus kuvat).

Kuva 29. Paineliitäntä OAC1.

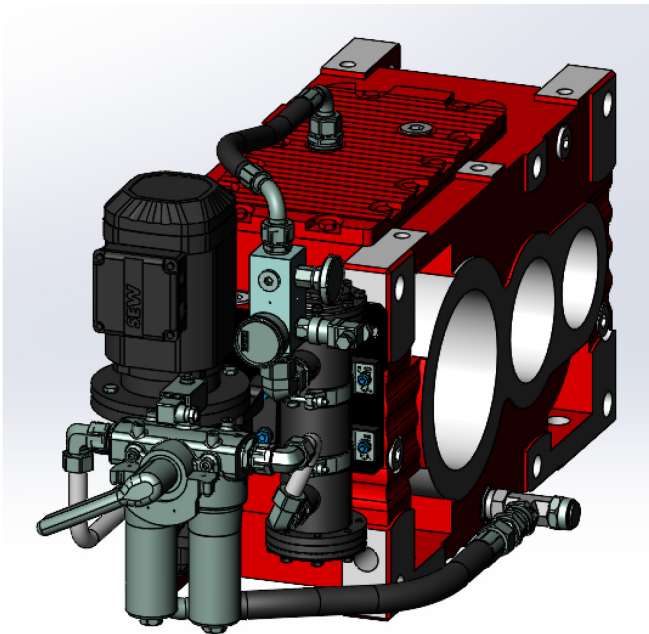


Ilma- ja vesijäähdytteiseen voiteluyksikköön on myös saatavilla lisävarusteina painekytin, virtausvahti, lämpömittari ja painemittari. Mikäli jokin lisävaruste asennetaan, tarvitaan jäähdytinsyksikön ja painepuolen letkun väliin jakotukki, johon kyseiset instrumentit voidaan asentaa (Kuva 30 ja Kuva 31). Jakotukkina käytetään X- sarjassa käytettyä jakotukkia.

Kuva 30. Jakotukki OAC1 voiteluyksikössä.

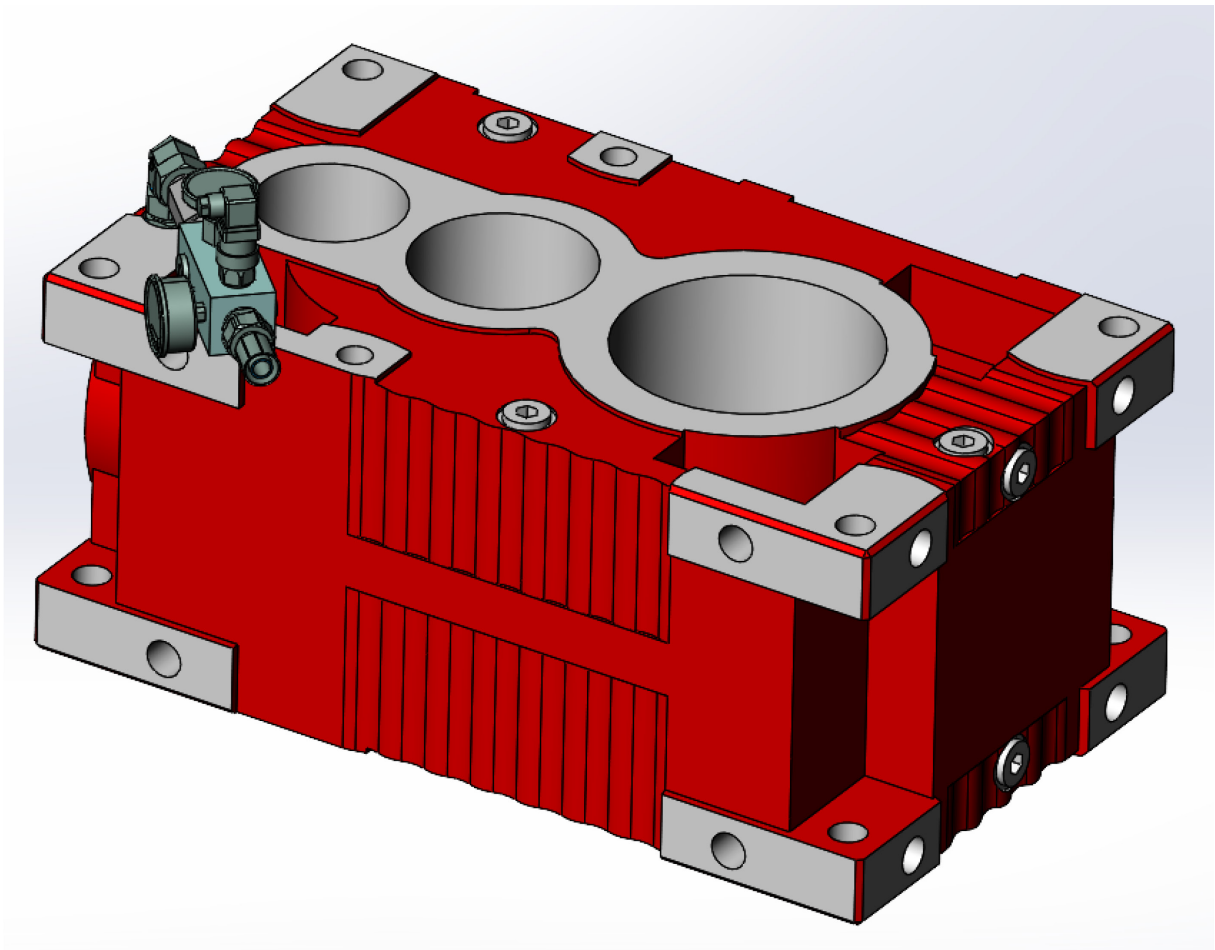


Kuva 31. Jakotukki OWC1 voiteluyksikössä.

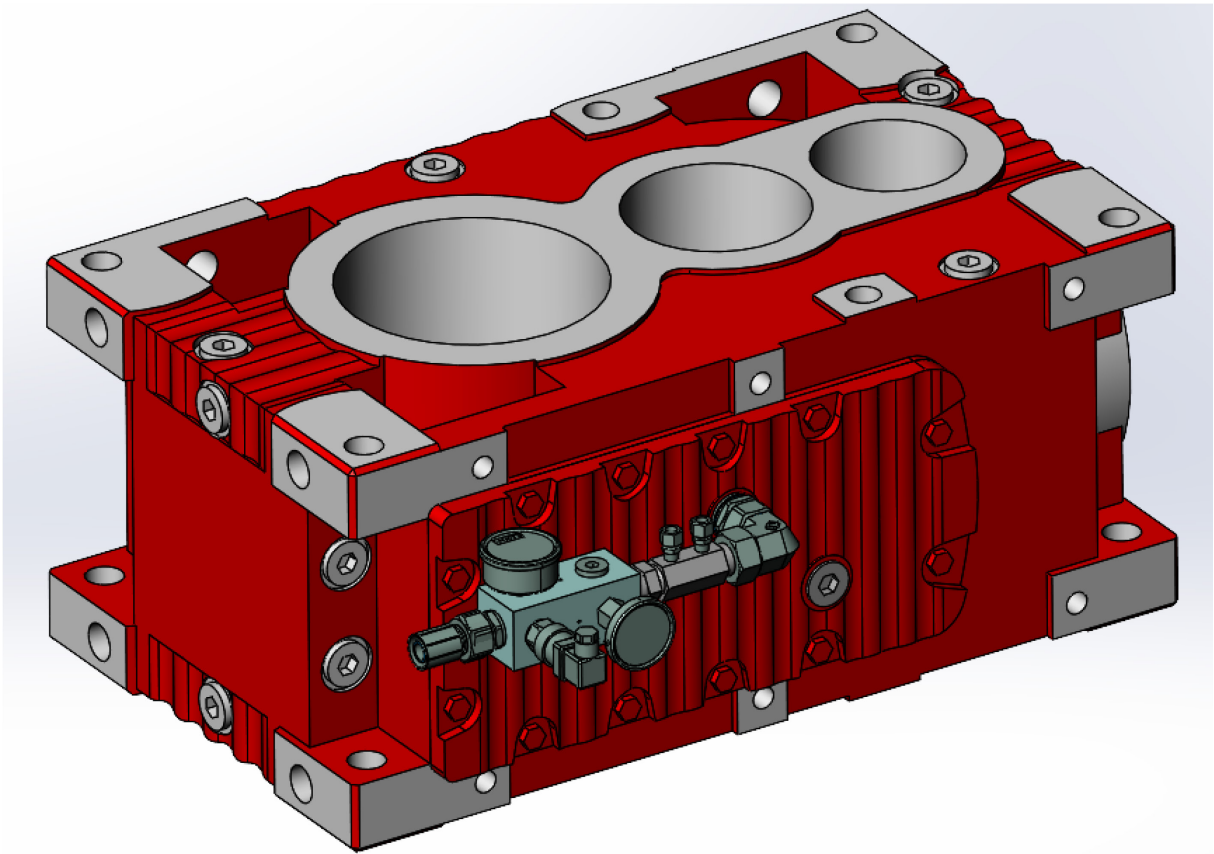


M5- asennusasennossa oleviin vaihteisiin painepuolen liitäntä poikkeaa hieman M1- asennusasennon vaihteista, koska vertikaaliasennossa ollessaan vaihteen ylälaakerit, öljypinnan yläpuolelle jäävät rynnöt sekä mahdollisesti öljypinnan yläpuolelle jäävät tiivisteet tarvitsevat voitelua. Liittämissä päädyttiin käyttämään MC- sarjassa akselinpääpumpuilla vakiona olevaa jakotukkia sekä putkitusta vaihteen yläpuolelle jääviin kansiin, joista öljy ohjautuu laakereille ja rynnöille. Näin tekemällä välttyttiin suunnittelema josta olemassa olevan ratkaisun tilalle uutta. Tässä asennusasennossa painekeytkin on välttämätön varuste, jotta pystytään varmistamaan voiteluyksikön toiminta. Niinpä MC- sarjan jakotukkiin liitettiin X- sarjan jakotukki jatkopalaksi, johon painekeytkin ja muut lisävarusteet voidaan liittää. Kartiolieriövaihteissa (MCR) liitäntä toteutetaan kotelon yläpintaan (F4) jäävään kierrereikään (04- 05- koissa 3/4 tuumaa ja 06- 09- koissa 1 tuuma) ja lieriövaihteissa (MCP) tarkastuskanteen (F2) (Kuva 32 ja Kuva 33).

Kuva 32. Paineliitäntä MCR vertikaalivaihteissa.



Kuva 33. Paineliitäntä MCP vertikaalivaihteissa.



Jotta laakereille ja rynnöille saadaan johdettua tarpeeksi öljyä, jakotukkiin kierretään reiällinen tulppa sisälle. Reiän kokoa säätämällä vaihteen koeajotilanteessa saadaan varmistettua laakereille ja rynnöille ohjearvojen mukainen voitelu. (yrityksen sisäinen ohje)

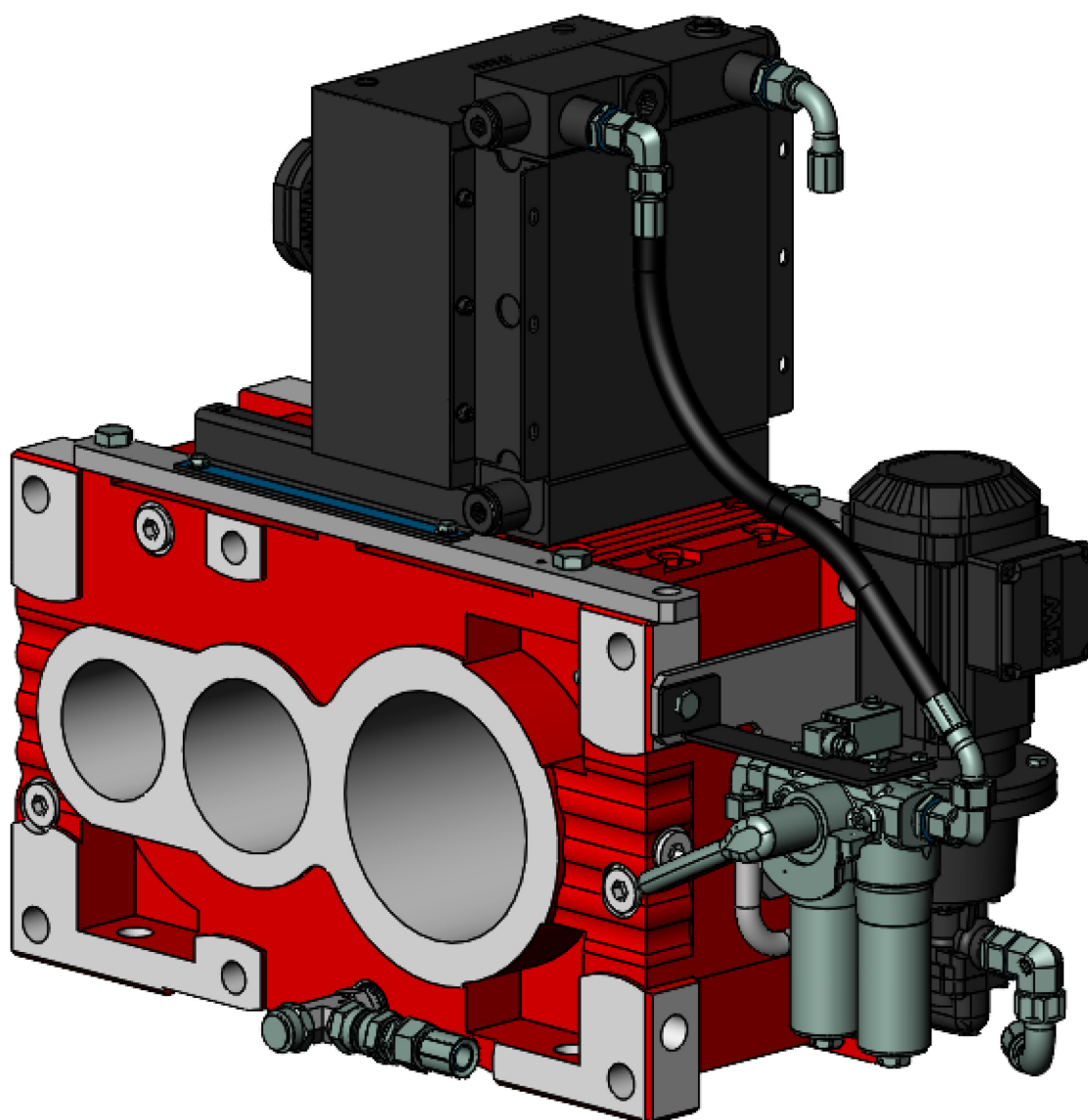
6.3 Vaihteeseen kiinnitettävä OAC1

Konfiguroituvaa mallia varten OAC1 suunniteltiin 06- kokoiseen MC- vaihteeseen. Malliin suunniteltiin valintataulun mukaisesti vaihteeseen sopivat pumppu- ja jäähdytynyksikköyhdistelmät.

Ilmajäähdytteinen voiteluyksikkö koostuu kahdesta kokoonpanosta, pumppu, pumpun moottori ja suodatinkokonaisuus ovat oma osakokoonpanonsa sekä ilmajäähdytin ja ilmajäähdyttimen moottori ovat oma osakokoonpanonsa. Nämä osakokoonpanot yhdistyvät paineletkulla toisiinsa. (SEW-EURODRIVE, 2023)

Tahtotilana oli käyttää mahdollisimman paljon samoja osia kuin X- sarjaan suunnitelluissa voiteluyksikkökokonaisuuksissa, joten itse osakokoonpanoja ei lähdetty muuttamaan. Koska OAC1 suunnitellaan vain vaihteen asennusasentoon M1, päädyttiin toteuttamaan osakokoonpanojen paikat vastaamaan X- sarjan kokoonpanojen paikkoja. Pumpun ja suodattimen osakokoonpano kiinnitetään vaihteen pätyyn (F6) ja jäähdytinkokoonpano vaihteen päälle (F2) (Kuva 34). Näin myös varmistetaan voiteluyksikön toimivuus parhaiten, kuten sen on suunniteltu ja testattu toimivan X- sarjan vaihteiden kanssa.

Kuva 34. OAC1 asennus MC- vaihteeseen.



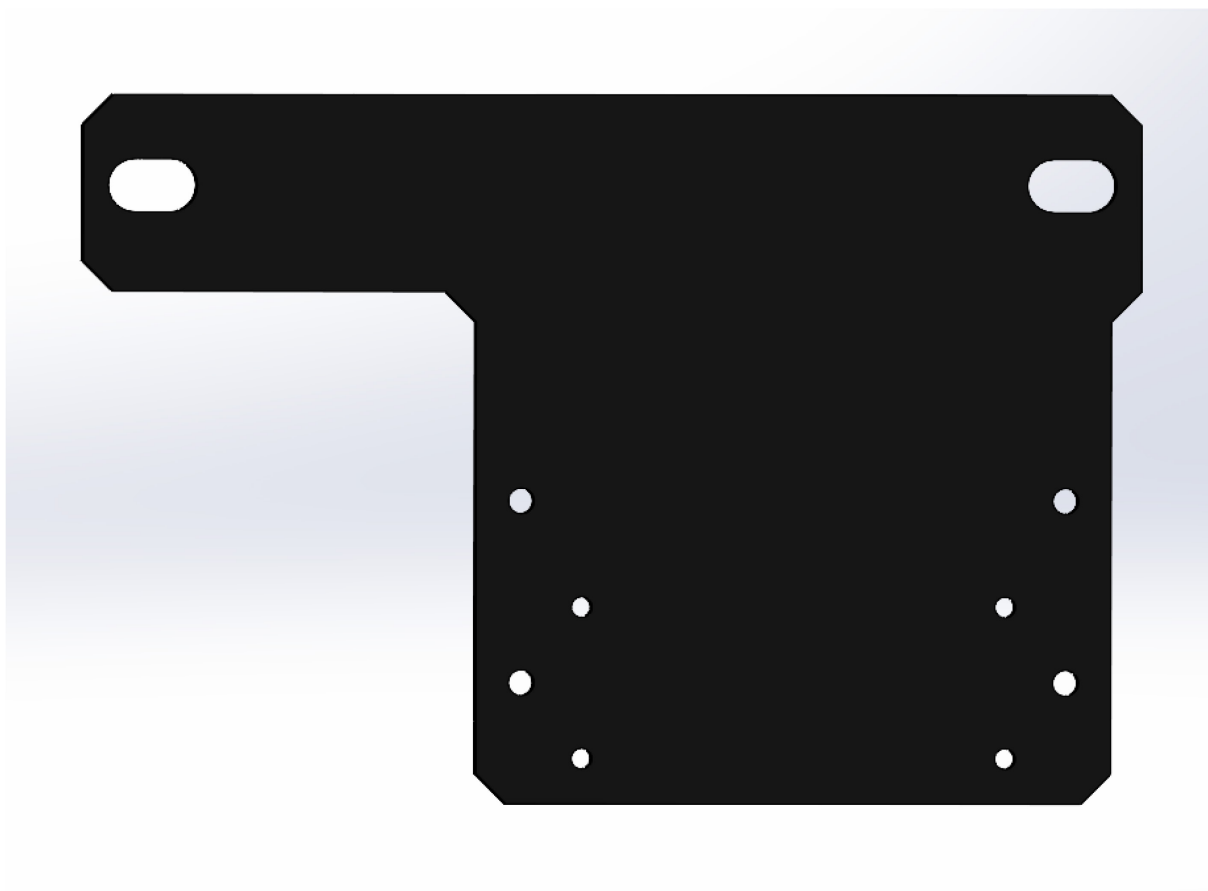
Pumpun ja suodattimen osakokoonpanon kiinnityslevyn piirteet mukailevat vahvasti X-sarjassa käytettyä kiinnityslevyä. Kiinnityslevyn suunnittelussa pyrittiin huomioimaan sen monikäyttöisyys. Kuva 35 nähdään, että levyyn on suunniteltu kiinnitysreiät kahdelle eri vaihekoolle sekä kiinnitysreiät kahdelle eri pumpulle. Suodattimen tuki kiinnitetään samasta reiästä kuin levy kiinnitetään vaihteeseen. Levy on suunniteltu niin, että X- sarjassa käytetty suodattimen tukirauta ja putki sopivat myös MC- sarjaan. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon myös, että pumppu ei ole ylempänä kuin vaihteen öljypinta, mikä lisäisi virtausvastusta imuletkuun. Lisäksi suodattimet pitää mahtua vaihtamaan, joten suodattimen kuoren alapuolelle pitää jäädä riittävästi tilaa vaihteen kiinnitystasoon nähden (yrityksen sisäinen ohje).

Kuva 35. Pumpun ja suodattimen osakokoonpanon kiinnityslevy OAC1.



Ensimmäisessä versiossa kiinnityslevystä kiinnitysreiät suunniteltiin tehtäväksi poraamalla mutta levy leikataan ulkomuodoiltaan laserilla, joten myös kiinnitysreiät on luonnollista ja kannattavaa leikata samalla menetelmällä. Kiinnityslevyn toisessa versiossa tämä seikka huomioitiin yhdistämällä kiinnitysreiät yhdeksi muodoksi, joka on kustannustehokkaampaa leikata (Kuva 36).

Kuva 36. Pumpun ja suodattimen kiinnityslevyn toinen versio.



Ilmajäähdytin asennetaan vaihteen katolle. X- vaihdesarjan isommissa vaihteissa jäähdyttimen kiinnitysraudat ovat poikittain vaihteen päällä, joka mahdollistaa saman raudan käytön usealle vaihde- ja jäähdytinkoolle. Pienemmissä X- sarjan vaihteissa jäähdyttimen kiinnitysraudat ovat pitkittäin vaihteen suuntaisesti, sillä pitkittäissuuntaisilla kiinnikkeillä mahdollistetaan useamman kokoisien jäähdyttimen asennus samalle vaihdekoolle siirtämällä jäähdytintä pitkittäissuunnassa.

MC- vaihdesarjassa päädyttiin suunnittelussa samaan ratkaisuun kuin pienissä X- sarjan vaihteissa. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska pitkittäisillä kiinnitysraudoilla pystytään ilmajäähdytin helpommin asentamaan yhden vaihdekoon lyhyelle (MC2P, MC2R, MC3R) sekä pitkälle (MC3P) kotelolle lisäämällä yhden kiinnitysreiät.

MC- sarjassa vaihteen päällä olevat kiinnityspinnat ovat koneistettuina samaan tasoon kuin tarkastuskannen kiinnityspinta (koteloiden koneistuskuvat). Kun vaihteeseen asennetaan tarkastuskansi, täytyy jäähdytynyksikköä saada korotettua vähintään tarkastuskannen paksuuden verran. Tämä on yksinkertainen toteuttaa sopivan paksuilla pitkittäisillä tuilla

(Kuva 37). Toisen ratkaisun kehittäminen vaatisi useamman osan suunnittelun sekä valmistuksen. Vaihtoehtoisesti kiinnityskappaleesta tulisi monimutkainen valmistaa. Näistä molemmat ratkaisut nostaisivat osien valmistuskuluja.

Kuva 37. Jäähdytynyksikön kiinnitysrauta OAC1.



Kuva 37 on 06- kokoiseen vaihteeseen suunniteltu jäähdytin yksikön kiinnitysrauta, joka sopii sekä lyhyeen että pitkään koteloon. Lisäksi rautaan saadaan kiinnitettyä LKI120 sekä LKI220 jäähdytynyksiköt eli kaikki jäähdytynyksiköt, jotka tähän vaihdekokoon on valintataulukon mukaan valittavissa. Toisin kuin pumpun ja suodattimen osakokoonpanon kiinnityslevyn kanssa, jäähdytynyksikön kiinnitysrauta ei käy kuin yhteen vaihdekokoon. Tähän suurin syy on jokaisen vaihdekoon kaksi eripituista koteloa. Jotta rauta saataisiin sopimaan myös seuraavan vaihdekoon pidempään koteloon, tulisi raudasta liian pitkä pienemmän koon lyhyempään koteloon. (koteloiden koneistuskuvat)

Kun yhden vaihdekoon konfiguroituva malli saatiin valmiiksi, tehtiin tämän pohjalta geneerinen kokoonpanokuva. Geneerisessä kokoonpanokuvassa esitetään voiteluyksikön kokoonpano osanumeroineen ja mahdollisten lisävarusteiden kanssa. Kuva kattaa kaikkien vaihdekokojen ja voiteluyksiköiden yhdistelmät. Yhtenäinen kokoonpanokuva ohjaa suunnittelijaa tekemään suunnitteluun tulevat vaihdekoot vastaavalla tavalla kuin kokoonpanokuva ja esimerkki malli osoittavat. Kokoonpanokuvassa on esitetty imu- ja paineletkun paikat, voiteluyksikön osakokoonpanojen paikat sekä tarvittavat kiinnitysraudat ja liittimet. (Liite 10)

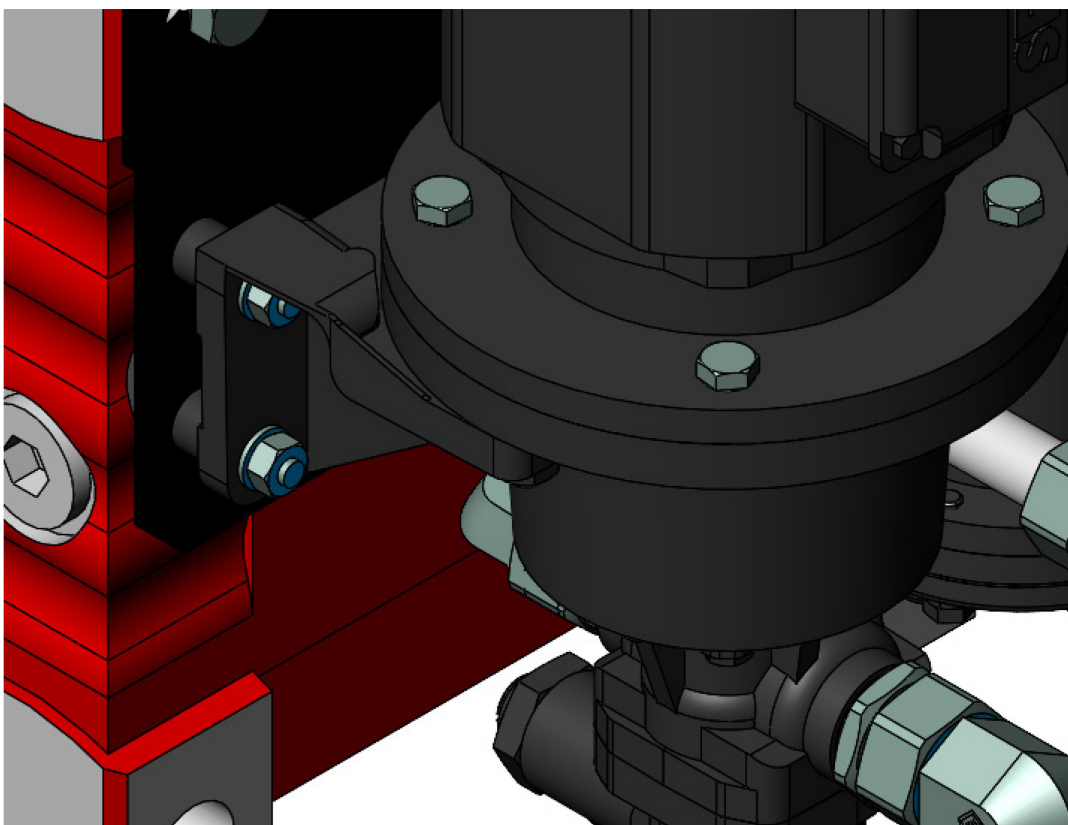
Kokoonpanokuvista tehdään myös asiakkaalle varaosaversio. Tässä versiossa näytetään kaikkien osien osanumerot asiakkaan varaosatilauksia varten mutta poistetaan turha tai yrityksen sisäiseen käyttöön tarkoitettu tieto.

6.4 Vaihteeseen kiinnitettävä OWC1

Vesijäähdytteisen voiteluyksikön kiinnitystä vaihteeseen suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kahden eri asennusasennon tuomat vaatimukset. Sekä pumppu, että jäähdytin ovat asennettuina samaan kiinnityslevyyn X- sarjaan luodussa ratkaisussa ja samaa lähdettiin toteuttamaan MC- sarjassa. Näin saadaan käytettyä mahdollisimman paljon samoja osia, putkia ja liittimiä, kuin X- sarjaan suunnitellussa voiteluyksikössä.

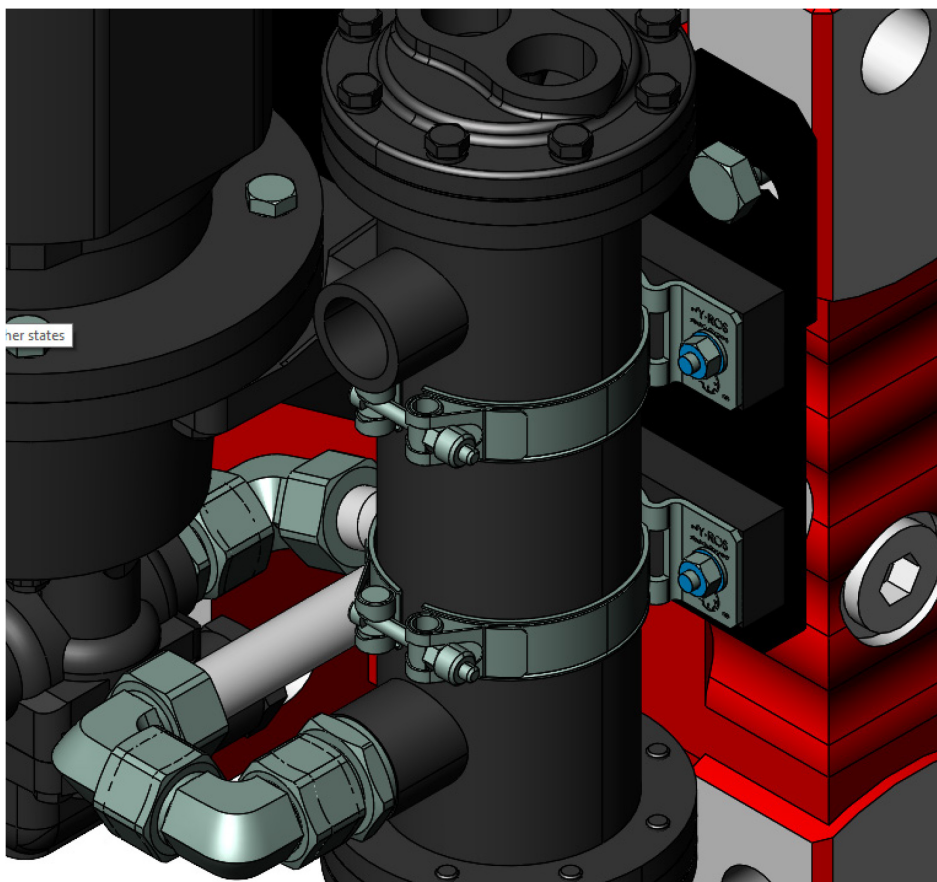
Pumppu on suunniteltu kiinnitettäväksi kiinnityslevyyn vaarnaruuveilla ja muttereilla sekä kiinnityslevyn ja pumpun väliin tulee pienet holkit, joilla varmistetaan, että pumpun ja vaihteen välistä lähtevän pumpun ja jäähdytintyöyksikön välisen putken liittimet eivät törmää vaihteeseen tai kiinnityslevyyn (Kuva 38).

Kuva 38. Pumpun kiinnitys taustalevyyn.



Vesijäähdytin kiinnitetään taustalevyyn kahdella lieriömäiselle jäähdyttimelle tarkoitetulla kiristyspannalla. Pannat kiinnitetään taustalevyyn vaarnaruuveilla ja muttereilla sekä taustalevyn ja pantojen välissä on suunniteltu lattarauta, jotta jäähdytin ei törmää vaihteeseen tai kiinnityslevyyn. (Kuva 39)

Kuva 39. Vesijäähdyttimen kiinnitys taustalevyyn.



Pumpun ja jäähdyttimen välinen putki on pyritty pitämään samana kuin X- sarjassa on käytetty nimikkeiden uudelleenkäytettävyyden vuoksi. Suodatinversioissa, asennusasennosta riippuen, putkia jouduttiin muuttamaan hieman johtuen matalammasta MC- kotelosta kuin X- sarjassa. Ilman putken pidennystä suodatinpatruunan vaihtamista varten ei jäisi tarpeeksi tilaa.

Vaakavaihteelle eli M1- asennusasennossa olevalle 06- kokoiselle vaihteelle löytyy kolme yhteensopivaa voiteluyksikköä. Kaikille voiteluyksikkökoille suunniteltiin kolme pääkonfiguraatiota (ilman suodatinta, yhdellä suodattimella sekä tuplasuodattimella). Lisäksi kaikille pääkonfiguraatioille suunniteltiin imuliitettä akseliasennosta riippuen eri puolilta vaihteen koteloja sekä paineliitettä jakotukilla ja ilman.

Kiinnityslevy, johon voiteluyksikön komponentit kiinnitetään, suunniteltiin niin että samaa levyä voidaan käyttää 06- ja 07- kokoisissa vaihteissa sekä kaikilla näihin yhteensopivilla voiteluyksiköillä (Kuva 40). Lisäksi pyrittiin huomioimaan mahdollisuus käyttää samaa taustalevyä myös vertikaalivaihteen kanssa.

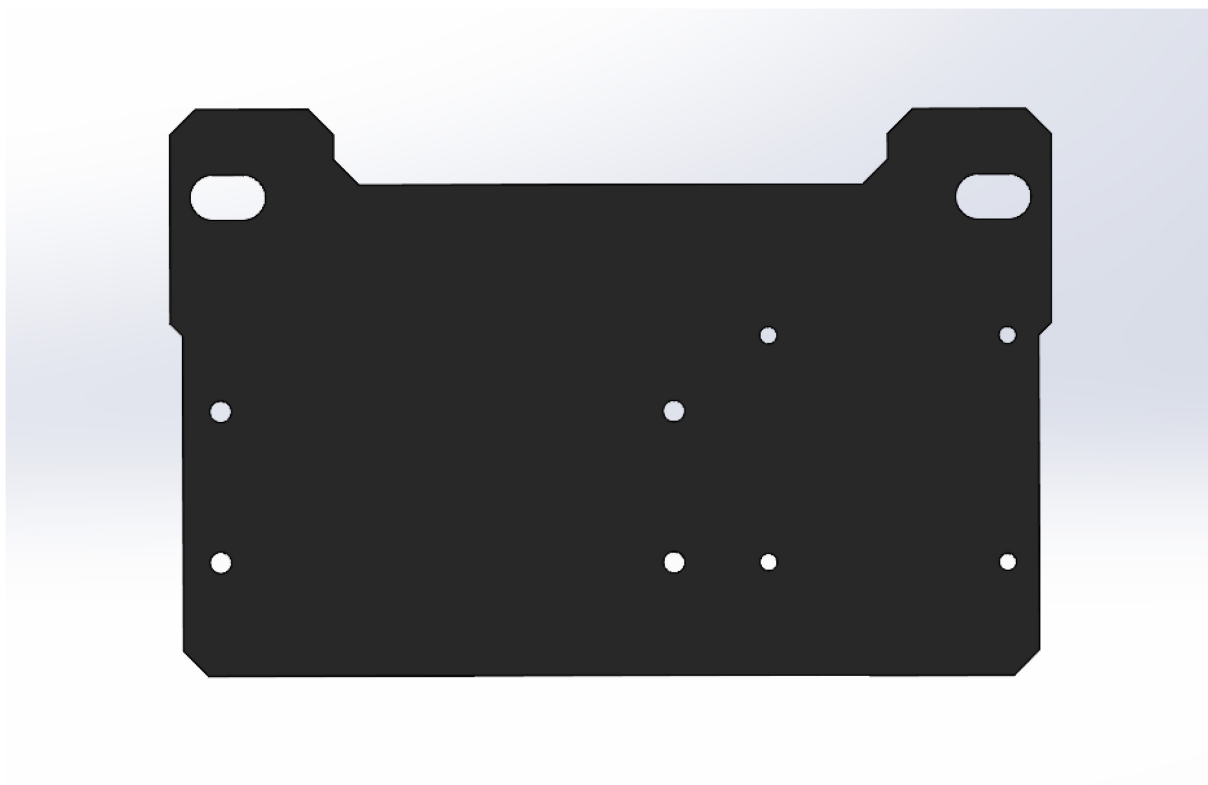
Kuva 40. Pumpun ja jäähdytinsyksikön kiinnityslevy OWC1.



Taustalevyn suunnittelua helpotti se että kaikki yhteensopivat pumppukoot käyttävät samaa vesijäähdytintä sekä erikokoiset pumput kiinnittyvät yhtenevillä mitoilla. Voiteluyksiköiden kiinnitykseen riittävät siis yhdet reiät. Näiden reikien lisäksi kiinnitysrautaan on tehty kahteen eri vaihdekokoon sopivat reiät.

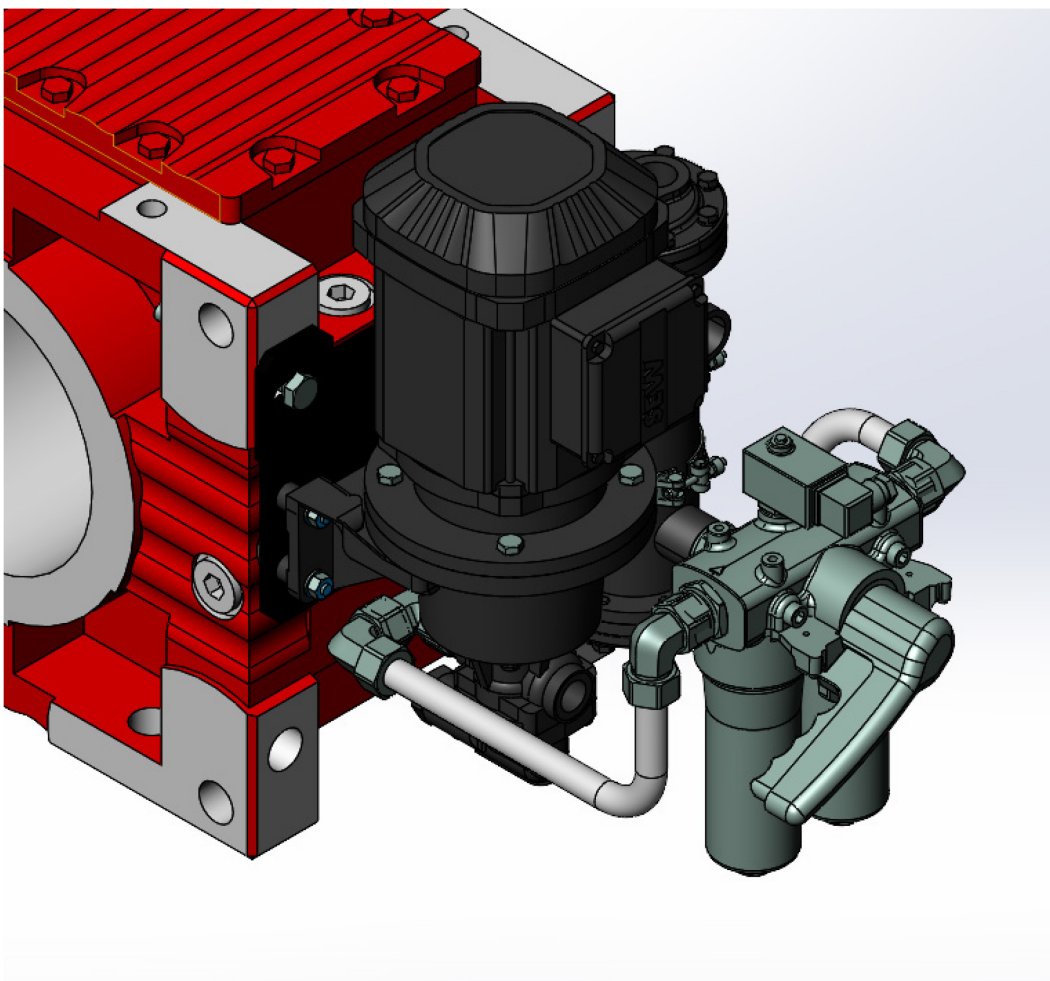
Kiinnityslevyn toisessa versiossa optimoitiin kiinnitysreikien muoto tekemällä niistä ovaalin muotoiset aukot (Kuva 41). Tämä helpottaa reikien leikkaamista laserilla.

Kuva 41. Pumpun ja jäähdytinsyksikön kiinnityslevyn toinen versio.



Taustalevyä lukuunottamatta vain pumpulta suodattimelle menevää putkea jouduttiin muokkaamaan verrattuna alkuperäiseen X- sarjan kokoonpanoon niin että suodatinta saatiin nostettua ylemmäksi verrattuna vaihteen jalkatasoon, jotta suodatin patruunan vaihtaminen onnistuisi vaihteen asennuspaikalla (Kuva 42). Muuten liitännät itse voiteluyksikössä pysyvät ennallaan.

Kuva 42. OWC1 osakokoonpano tupla suodattimella.



OWC1:lle tehtiin vaihteen asennusasetoriippuvaiset generiset kokoonpanokuvat, josta löytyvät kaikki tarvittavat osanumerot kaikilla vakiokombinaatioilla. Kokoonpanokuvasta ilmenee öljyn imun paikka kotelon kyljestä akseliasennosta riippuen, öljyn paineliitännät lisävarusteilla ja ilman sekä tarvittavat osat eri suodatinvaihtoehdoille (Liite 11).

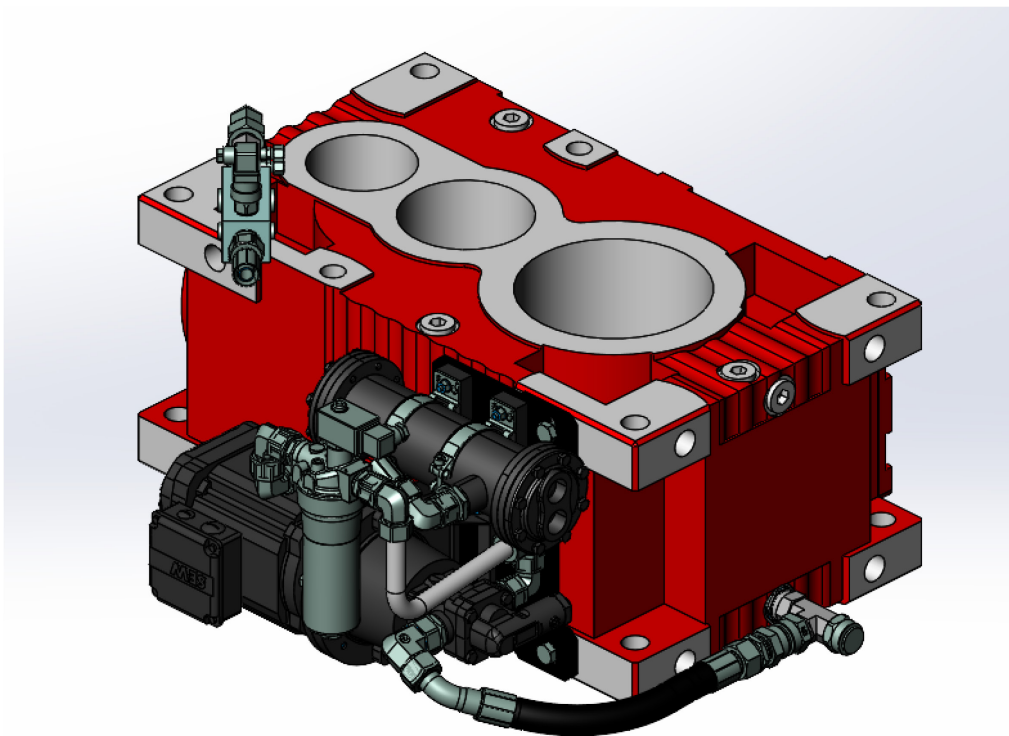
Vertikaalivaihteeseen asennettavalle vesijäähdytteiselle voiteluyksikölle tehtiin samanlainen 3D- malli kuin vaakavaihteeseenkin. Esimerkki vaihteen kooksi valittiin sama 06- koko kuin muitakin kokoonpanoja varten. Vertikaalivaihteen mallista, verrattuna vaakavaihteeseen, tekee yksinkertaisemman mahdollisten pumppukokojen vähäisempi määrä, sillä ylälaakereiden voitelutarve rajaa pienimmän pumppukoon pois suunnitellulla 06- vaihdekoolla. Öljyn imu ei myöskään ole riippuvainen vaihteen akseliasennosta vaan tapahtuu aina vaihteen päädyssä olevasta öljynpoistoreiästä. Painevoitelu tapahtuu kartiolieriö vaihteissa F4 pinnasta ja lieriövaihteissa tarkastuskannesta (6.2 Paineliitäntä).

Vertikaalivaihteessa OWC1 on alkuperäisesti X- sarjassa suunniteltu vaihteen kylkeen (F1) eikä vaihteen pätyyn kuten vaakavaihteessa. Koska peruskokoonpano pyrittiin pitämään mahdollisimman samana, kokoonpanon paikkaa ei lähdetty muuttamaan.

06- kokoisessa vertikaalivaihteessa soveltuvia pumppukokoja on kaksi 08 ja 12. Kuten jo aiemmin vaakavaihteen kohdalla todettiin, molemmat pumppukoot käyttävät samoja kiinnitysreikiä sekä niihin on suunniteltu samat vesijäähdyttimet. Tämä otettiin huomioon kiinnityslevyä suunnitellessa ja huomattiin, että samaa kiinnityslevyä voidaan käyttää niin vertikaali- kuin vaakavaihteillakin (Kuva 40).

MC- vaihteen kotelon mitat verrattuna X- sarjan vaihteisiin ovat hieman pienemmät suunnilleen vastaavassa kokoluokassa, joten pumpulta suodattimelle meneviä putkia jouduttiin hieman pidentämään verrattuna alkuperäiseen kokoonpanoon sekä yhden suodattimen että tupla suodattimen kohdalla, jotta suodatin patruuna mahdutaan vaihtamaan asennuspaikalla myös kyseisellä vaihteen asennusasennolla (Kuva 43).

Kuva 43. OWC1 kokoonpano vertikaalivaihteessa.



Vertikaalivaihteeseen asennettava OWC1 on suunniteltu niin, että se käyttää muutamaa putkea, liitintä ja pulttia lukuunottamatta samoja osia kuin vaakavaihteeseen suunniteltu

kokoonpano. Vähäisempi nimikkeiden määrä mahdollistaa yhden nimikkeen suuremmat tilausmäärät ja vähemmän varastoinnin tarvetta, joilla saadaan kuluja pienennettyä.

Vertikaalivaihteeseen asennettavalle OWC1:lle tehtiin myös oma geneerinen kokoonpanokuva, jonka perusteella muut koot pystytään toteuttamaan samankaltaisesti ja yhtenevällä osanumeroinnilla. Tämä helpottaa tulevaisuudessa päivittämään tuotestandardia uusilla suunnitelluilla vaihdekoko- ja jäähdytinkombinaatioilla. Myös kyseiseen kokoonpanokuvaan on yhdistetty kaikki variaatiot eri suodatinvaihtoehdoilla ja painevoitelupaikan kombinaatioilla (Liite 12).

6.5 Tuotestandardi

Opinnäytetyön edetessä tehtiin päätös rajata kokoonpanojen tekeminen yhteen yhteen vaihdekokoon valituilla asennusasenoilla. Päätökseen vaikutti kokoonpanojen tekemiseen kuluva aika ja yrityksessä koettiin, että esimerkki osaluettelotyökalulla olisi suurempi arvo tulevaisuudessa suunniteltavien tilausten näkökulmasta. Lisäksi sitä voitaisiin täydentää myöhemmin kattamaan kaikkia kokoja ja voiteluyksikkökombinaatioita, jolloin se pystyttäisiin siirtämään yrityksen tuotekonfiguraattoriin.

Ensimmäisenä ideana oli luoda Excel- taulukkoon nyt suunnitellut osat taulukkomuodossa, jossa suodattimia hyväksi käyttämällä olisi eri valinnoilla saanut oikeat osat näkyviin ja kopioitua suoraan yrityksen SAP tuotannonohjausjärjestelmään. Tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin, sillä MC- vaihdesarjassa tuotestandardit on aiemmin luotu taulukkomuotoon, josta ne on helpompi siirtää suoraan yrityksen paikalliseen tuotekonfigurointityökaluun ennen siirtoa tuotannonohjausjärjestelmään. Lisäksi tätä taulukkoa on helpompi ylläpitää ja päivittää sitä mukaan, kun uusia vaihdekokoja saadaan suunniteltua.

Tuotestandardi luotiin kattamaan kaikki voiteluyksikkökombinaatiot 06 kokoisilla vaihteilla osanumeroineen. Osat jaettiin pienempiin osakokoonpanoihin helpottamaan standardin luettavuutta. Osien positionumeroinnissa pyrittiin käyttämään loogista järjestystä. Pumppuihin liittyvät osat ovat 2400- alkuisia numeroita ja jäähdyttimiin liittyvät osat 2500- alkuisia numeroita. Nämä positionumerot ovat MC- vaihdesarjassa olleet käytössä myös aiemmissa voiteluyksiköissä.

Osakokoonpanoihin luotiin otsikkorivi, josta selviää esimerkiksi mille vaihdekoille tai pumppukoille kyseinen nimike käy. Esimerkiksi pumpun kiinnitysosista (2409- 2413) nähdään, että ensimmäiset neljä osaa käyvät kaiken tyyppisille vaaka- ja vertikaalivaihteille

koissa 04- 09 ja kaikilla voiteluyksikkö tyypeillä mutta vain pumppukoilla 06- 12. Seuraavat neljä osaa taas käyvät samoihin vaihteisiin mutta pumppukoilla 16- 20. Tällaista taulukointi tyyppiä käyttämällä saadaan osat koodattua oikeiden valintojen alle tuotekonfiguraattoriin tulevaisuudessa. (Kuva 44)

Kuva 44. Esimerkki tuotestandardin rakenteesta.

Pump mounting														
ItemID	Pos	Qty	Name 1	Name 2	Stages	Stage	Direction	Size min	Size max	Lub. System	Pump size min	Pump size max		
19169690	2409	4	Stud	STUD DIN938 M10x40-8-8-A2F	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	06	12		
00102008	2410	4	Hex Nut	HEX NUT ISO4032 M10 8-A2F 602400	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	06	12		
19133316	2411	4	Disk	DISK ISO7089 10-200HV-A2F	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	06	12		
20594062	2413	4	Spacer Bushing	SPACER BUSHING X140-320 20x14x15 X5CrNi18-10(DIN EN 10088-3)	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	06	12		
19170122	2409	4	Stud	STUD DIN938 M10x60-8-8-A2F	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	16	20		
00102008	2410	4	Hex Nut	HEX NUT ISO4032 M10 8-A2F 602400	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	16	20		
19133316	2411	4	Disk	DISK ISO7089 10-200HV-A2F	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	16	20		
14591766	2413	4	Spacer Bushing	SPACER BUSHING X140-320 20x14x33mm X5CrNi18-10(DIN EN 10088-3)	ALL	ALL	M1, M5	04	09	ALL	16	20		

Ensimmäisenä osakokoonpanona numeroitiin voiteluyksiköiden vaihteeseen liittävät osat, pumppu ja pumpun kiinnitykseen tarvittavat osat. Tämän jälkeen osanumerointi on suunniteltu öljyn kulkusuunnan mukaisesti. Öljyn imu vaihteesta pumppuun on numeroitu seuraavaksi osakokoonpanoksi standardissa. Imuosakokoonpanossa tulee huomioida vaihteen kotelossa olevan kierrereiän koko sekä tarvittavan imuletkun sisähalkaisija riippuen pumpun koosta. Nämä osat on positioneroitu välille 2416- 2426.

Seuraava osakokoonpano sisältää osat pumpulta jäähdytynyksikölle. Tässä osakokoonpanossa huomioidaan pumpun koon mukaan liittimet sekä eri suodatinvaihtoehdot (ei suodatinta, yksi suodatin tai tuplasuodatin). Lisäksi suodatinelementiksi voi valita joko 25 µm tai 40 µm suodattimen suodatinasteeksi. Myös vaihteen asennusasento ja voiteluyksikkötyyppi vaikuttavat valittaviin osiin.

Mahdolliselle jakotukille on myös suunniteltu oma osakokoonpanonsa. Vaakavaihteissa tämän osakokoonpanon osat tulevat rakenteelle vain jos asiakas valitsee jonkin tarjolla olevista lisävarusteista. Vertikaalivaihteille tämä osakokoonpano on pakollinen johtuen tarpeesta saada öljy virtaamaan ylälaakereille ja öljypinnan yläpuolelle jääville rynnöille. Kuten kaikista tehdyistä kokoonpanokuvista (Liite 10, Liite 11 ja Liite 12) voidaan nähdä, jakotukien osanumerointi on suunniteltu vastaamaan toisiaan.

Jäähdytynyksiköiden liitäntäosakokoonpanoja päädyttiin suunnittelemaan omansa sekä vesijäähdyttimelle että ilmajäähdyttimelle niiden suuren eroavaisuutensa vuoksi. Vesijäähdytinosakokoonpanossa eroavaisuutena vaaka- ja vertikaalivaihteilla on vain muutama liitin. Pumppukoissa, joita MC- vaihteille valintataulun (Liite 10) mukaan voidaan suunnitella on vain kahta eri kokoista jäähdytin yksikköä käytössä, joten tämä helpottaa jäähdyttimen kiinnitysosien suunnittelua. OAC1:n osakokoonpanossa huomioitavaa on

jäähdytinskyksikön asennukseen vaihteen päälle tarvittavat kiinnitysraudat, jotka täytyy suunnitella jokaiselle vaihdekoolle erikseen.

Viimeisenä osakokoonpanona on suunniteltu paineliitäntä jäähdytimeltä vaihteeseen takaisin. Liitännässä tulee huomioida 04- ja 05- koissa oleva pienempi 3/4 tuuman kierrereikä verrattuna isompien vaihdekokojen 1 tuuman kierrereikään.

Tarkoituksena on lisätä tuotestandardiin kaikille vaihdekoille sopivien voiteluysikköiden osat geneeristen kokoonpanokuvien ja esimerkki 3D- mallien pohjalta, jotta kaikki suunnitellut voiteluysiköt olisivat rakenteeltaan yhteneviä sekä uudelleen käytettäviä dokumentoinnin ansiosta.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli aloittaa uuden, yrityksen oman, voiteluysikkösarjan integrointi vanhaan MC- vaihdesarjaan. Työn alkuvaiheesta asti oli selvää, ettei opinnäytetyölle varattu aika riitä toteuttamaan integrointia loppuun asti, joten työlle luotiin pienempiä tavoitteita. Yrityksen tahtotilana oli keskittyä itse suunnittelutyöhön ja saada konkreettisia lopputuloksia.

Ensimmäiseksi tavoitteeksi otettiin luoda taulukko yhteensopivista vaihteista ja voiteluysikköistä. Tämän taulukon tavoitteena on aluksi olla myynnin apuna oikean voiteluysikön valinnassa ja tulevaisuudessa pohjana tuotannonohjausjärjestelmän sallimista voiteluysikköistä jokaiselle vaihdekoille.

Toiseksi tavoitteeksi otettiin 3D- mallin luominen yhdelle vaihdekoolle OWC1- ja OAC1- voiteluysikköillä. Kyseisiä malleja pystytään käyttämään esimerkkinä muiden vaihdekokojen ja voiteluysikköiden suunnittelussa sekä varmistetaan yhtenäinen rakenne tulevia tilauksia ajatellen.

Kolmas tavoite oli luoda tehtyjen 3D- mallien pohjalta geneeriset kokoonpanokuvat, joita voidaan käyttää kaikilla vaihdekoko- ja voiteluysikköyhdistelmillä. Lisäksi kokoonpanokuvissa tulisi pyrkiä huomioimaan kaikki mahdolliset voiteluysikköissä vakiona esiintyvät piirteet.

Työn edetessä päätettiin luoda voiteluysikkö kokoonpanoille tuotestandardi, josta selviää kaikki kokoonpanoissa käytettävät nimikkeet. Tuotestandardin haluttiin mukailevan MC-

vaihdesarjassa käytettyjen tuotestandardien muotoa ja olisi näin ollen siirrettävissä yrityksen tuotekonfiguraattoriin tulevaisuudessa.

7.1 Lopputulos

Voiteluysiköiden yhteensopivuutta MC- vaihteisiin lähdettiin arvioimaan öljytilavuuksien ja voiteluysiköiden pumppujen tuottamia tilavuusvirtoja vertailemalla. Yrityksen sisäisen ohjeen mukaisesti öljyn määrä vaihteessa tulee olla vähintään kaksinkertainen tilavuusvirtaan verrattuna. Vaihteiden öljytilavuudet ja pumppujen tuottamat tilavuusvirrat taulukoitiin Excel- taulukoihin, joita vertailemalla saatiin määritettyä isoin mahdollinen voiteluysikkö koko jokaiselle vaihdekoolle eri asennusasunnoissa (öljymäärät vaihteissa vaihtelevat asennusasennon mukaan) (Liite 2, Liite 4, Liite 5, Liite 6, Liite 8 ja Liite 9).

Asennusasennossa M1 (vaakavaihte) vaihdekoille 04 ja 05 ei löydy sopivaa voiteluysikköä yllä mainittua sääntöä noudattamalla. Tästä johtuen tutkittiin vaihtoehtoa, jossa lisätään vaihteen öljymäärää nostamalla öljynpintaa. Öljytaso korotetaan hidaskäyttövaihteen öljytasolle. Korotetuilla öljymäärillä tehtiin samanlainen vertailu kuin ensimmäisessä vaiheessa, jolloin kaikille vaihdekoille saatiin vähintään yksi ilmajäähdytinvoiteluysikkö ja vesijäähdytinvoiteluysikkö (Liite 3, Liite 7). Vesijäähdytinvoiteluysikön katalogissa pumpun tilavuusvirrat on ilmoitettu sekä 50 Hz ja 60 Hz sähkömoottorilla (SEW-EURODRIVE, 2023). 60 Hz moottorilla 04 kokoisille vaakavaihteille ei löydy yhteensopivaa vesijäähdytinvoiteluysikköä lainkaan.

Pienintä yhteensopivaa voiteluysikkö lähdettiin tutkimaan vaihteen jäähdytystehon tarvetta ja voiteluysiköiden jäähdytystehoa vertailemalla. Lähtökohtana oli tutkia vaihteiden jäähdytystehon tarvetta suurimmalla mahdollisella käyttöteholla sekä kokemukseen perustuvalla keskimääräisellä käyttöteholla. Jo aikaisessa vaiheessa kävi selväksi, että varsinkin 2- portaisilla vaihteilla, jäähdytystehon tarve nousee niin suureksi, ettei yhteensopivia voiteluysiköitä löydy kuin satunnaisille vaihdekoille (Liite 1). Näin ollen keskityttiin tutkimaan keskimääräisen käytön jäähdytystehon tarvetta (Liite 2, Liite 4, Liite 5, Liite 6, Liite 8 ja Liite 9). Keskimääräinen vaihteen käyttö laskettiin katalogista saadun nimellistehon arvolla ja käyttökertoimella kaksi. Lisäksi käytettiin vaihteen välityssuhdetta, joka asettuu välitysalueen keskivaiheille. Jäähdytystehon tarpeen laskentakaavaasta jätettiin pois kotelon jäähdyttävä vaikutus ja tehtiin oletus, että kaikki häviöteho tarvitsee jäähdytystä. Oletus tehtiin, koska kotelon jäähdyttävä vaikutus on hyvin pieni. Laskettuja arvoja verrattiin yrityksen oman vaihteen valintaohjelman antamiin arvoihin, jotka täsmäsivät laskennassa

saatuihin arvoihin. Jäähdytystehon tarpeen ja jäähdytystehon vertailut lisättiin Excel-
taulukkoon (Liite 2, Liite 4, Liite 5, Liite 6, Liite 8 ja Liite 9).

Jotta vaihteen jäähdytystehon tarve täyttyy, öljynvirtauksen on oltava riittävän suuri
poistamaan lämpöä vaihteesta. Tämän lisäksi vertikaalivaihteille tarvitaan riittävä öljyn
virtaus kattamaan ylempien laakereiden sekä öljypinnan yläpuolelle jäävien ryntöjen voitelu.
Tarvittavat öljynvirtausarvot voitelua varten saatiin GEAR- vaihteen valintaohjelman
antamista arvoista. (Liite 2, Liite 4, Liite 5, Liite 6, Liite 8 ja Liite 9)

Kuten huomataan, yhteensopivien voiteluysiköiden alaraja on paljon haasteellisempi vetää
kuin yläraja. Lisäksi vaihteilla on satoja erilaisia käyttökohteita, kymmeniä välityssuhteita
sekä useita mahdollisia pyörimisnopeuksia, joten joka tapauksessa sopiva voiteluysikkö
joudutaan valitsemaan tapauskohtaisesti tarkempien laskelmien jälkeen. Liitteiden 2, 4, 5, 6,
8 ja 9 yhteenvedot on koottu myynnin käyttöön annettavaan valintatauluun, jonka pohjalta
voiteluysikön sopivuutta vaihteeseen voidaan kuitenkin esivalintavaiheessa arvioida.

Kun kaikille vaihdekoille saatiin valittua yhteensopivia voiteluysiköitä, päästiin itse
suunnitteluvaiheeseen. Suunnitteluvaiheessa valikoitiin yksi vaihdekoko, johon pyrittiin
tekemään konfiguroituvat 3D- mallit kaikille yhteensopiville vaihteeseen kiinnitettävälle
voiteluysikkökoille. Mallikooksi valikoitui 06 kokoinen vaihde ja 3D- mallit pyrittiin tekemään
kaikille vaihdetyypeille molemmilla voiteluysikkötyypeillä vaakavaihteille sekä
vesijäähdytinversiolla vertikaalivaihteille.

Suunnittelun pohjana käytettiin X- sarjaan suunniteltujen voiteluysiköiden kokoonpanoja.
Suunniteltavaksi jäi voiteluysikön kiinnitys vaihteeseen, koska X- sarjan kotelot ja MC-
sarjan kotelot eivät vastaa mitoiltaan toisiaan. X- sarjassa voiteluysikön imu- ja
paineliitännät vaihteeseen on suunniteltu kovalla putkella mutta MC- sarjassa on käytetty
letkua aiemmin eikä tätä haluttu muuttaa. Mahdollisen suodattimen korkeutta suhteessa
vaihteen jalkatasoon täytyi myös tarkastella suodatin elementin vaihtamisen
mahdollistamiseksi.

Koska imuliitäntä piti suunnitella letkulla aiemman kovan putken sijasta, täytyi pumpuille
laskea sopiva imuletkun sisähalkaisija, jotta voiteluysikön korkeampi sallittu öljyn käynnistys
viskositeetti toteutuisi eikä imuletkussa tapahtuisi kavitaatiota. Laskennassa käytettiin
yrityksen sisäistä laskentaohjelmaa, johon syöttämällä letkun ja ympäristön tietoja saadaan
tulokseksi paine, jolla öljyn imu toimii ongelmitta. Vaihteeseen kiinnitettävien
voiteluysiköiden tapauksessa laskennat suoritettiin valmiiksi, jotta pystyttiin suunnittelemaan

imuliitännät 3D- malleihin. Alle 16- kokoisilla pumpuilla käytetään 1 tuuman imuletkua ja sitä isommilla pumpuilla 1 1/4 tuuman letkua. Tämän tiedon pohjalta 06- kokoiseen vaihteeseen pystyttiin suunnittelemaan 1 tuuman letkulle liittimet sekä M1 että M5 asennusasentoihin. Näissä asennusasunnoissa öljyn imu suoritetaan vaihteen reiästä, josta myös öljy poistetaan vaihteesta öljyn vaihdon yhteydessä. Tästä johtuen vaihteen öljynpoistoreikään suunniteltiin t-liitin, jolla mahdollistetaan öljynpoisto vaihteesta irrottamatta imuletkua (Kuva 26 ja Kuva 27).

Paineliitännänä käytetään vakiona 3/4 tuuman letkua MC- vaihteissa eikä nähty aiheelliseksi muuttaa sen mitoitusta uuden voiteluysikön suunnittelussa. Paineliitännän paikka vaihtelee kotelossa sen mukaan, mikä vaihdetyyppi ja voiteluysikkötyyppi on kyseessä, kuten luvussa 6.2 nähdään. Paineliitännän toteutuksessa yhdistettiin MC- vaihdesarjaan jo ennalta suunniteltuja elementtejä (jakotukki M5 asennusasennossa sekä liittimet) sekä X- sarjan voiteluysikköön suunniteltuja elementtejä (jakotukki ja lisävarusteet).

Taustalevyjen suunnittelussa pyrittiin huomioimaan niiden monikäyttöisyys ja esimerkiksi vesijäähdytteisen voiteluysikön taustalevy suunniteltiin käymään sekä 06 että 07 kokosiin vaihteisiin sekä kaikilla näihin ennakolta suunnitelluilla voiteluysikkö koilla (Kuva 40). Lisäksi sama taustalevy sopii sekä vaakavaihteelle että vertikaalivaihteelle. Ilmajäähdytteiselle voiteluysikölle suunniteltiin taustalevyn lisäksi vaihteen päälle pitkittäissuuntaiset jäähdytinskyikön kiinnitysraudat. Nämä raudat sopivat vain yhteen vaihdekokoon mutta molemmille vaihdekoon kotelotyypeille.

3D- mallien pohjalta suunniteltiin geneeriset kokoonpanokuvat molemmille voiteluysikkötyypeille sekä vesijäähdytteiselle voiteluysikölle molemmilla vaihteen asennusasunnoilla (Liite 10, Liite 11 ja Liite 12). Geneerisissä kokoonpanokuvissa jokaiselle osalle annettiin osanumero väliltä 2400- 2599. Osanumerointi voiteluysiköille on ennalta määrätty MC- vaihdesarjan tuotestandardissa. Osanumeroinnissa käytettiin mahdollisuuksien mukaan X- vaihdesarjassa käytettyjä osanumeroita tietyille komponenteille mutta numerointia jouduttiin hieman muokkaamaan muunmuassa imuliitännän osalta, koska letkuliitännän suunnitteluun tarvitaan enemmän osanumeroita kuin X- sarjassa käytettävässä putkiliitännässä.

Kun tulevaisuudessa suunnitellaan voiteluysiköllisiä MC- sarjan vaihteita, käytetään aina yllä mainittuja kokoonpanokuvia, jolloin varmistetaan rakenteen ja osanumeroinnin osalta yhtenäisyys. Voiteluysikön kokoonpano tehdään käyttäen kyseisiä kokoonpanokuvia sekä

osaluetteloa. Lisäksi kokoonpanokuvista tehdään asiakasversiot, joissa esitetään vain osanumerot varaosatilauksia varten.

Tehtyjen 3D- mallien ja kokoonpanokuvien pohjalta pystyttiin helposti aloittamaan tuotestandardin aloittaminen yhdellä vaihdekoolla. Tuotestandardin tarkoituksena on esittää jokainen osa nimikkeineen. Lisäksi tuotestandardista näkee millaisilla valinnoilla kyseinen osa tuotteeseen tulee. Esimerkiksi vaihde- ja pumppukoko vaikuttavat tiettyjen liittimien kokoon. Näin ollen tuotestandardissa esitetään kaikki vaihtoehdot kyseisestä osasta. Valmiiksi opinnäytetyön puitteissa ehdittiin saamaan tuotestandardi kaikilla voiteluysikkötyypeillä 06 kokoisella vaihteella. Tarkoituksena on päivittää tuotestandardia aina sitä mukaan, kun eri kokoiselle vaihteelle tehdään voiteluysikkökokoonpano.

7.2 Oma arvio

Yrityksen sisältä toivomuksena oli tuottaa toiminnallinen opinnäytetyö, jossa pääpaino on toteutuksen suunnittelussa eikä niinkään teoria puolella. Mielestäni työn tavoitteet ja aihe olivat hyvin rajatut, jotta lopputuloksena saatiin yritystä hyödyttävää käyttövalmista informaatiota. Viikottaisissa seuranta palaverissa työn tavoitteita tarkistettiin ja viilattiin sopiviksi, kun työmäärä kussakin tavoitteessa tarkentui työn edetessä.

Opinnäytetyön tekemiseen varattiin täysipäiväistä työtä kolme kuukautta. Karkeasti arvioiden tämä aika jaettiin kahden viikon suunnitteluvaiheeseen, kuuden viikon toteuttamisvaiheeseen ja neljän viikon viimeistelyvaiheeseen. Aikataulut elivät hieman työn edetessä, sillä opinnäytetyön tekemisen yhteydessä tein noin viikon ajan muita töitä, mutta pääsääntöisesti pysyin suunnitelmassa. Alkuvaiheessa hyvin tehty suunnitelma ja aiheen rajausta helpottivat ehdottomasti aikataulussa pysymistä.

Omana tavoitteenani oli saada luotua enemmän vaihdekokoja 3D- mallien osalta valmiiksi saakka mutta viikottaisissa opinnäytetyön seuranta palaverissa päädyimme yhteistuumiin siihen, että yksi vaihdekoko täydellisine dokumentaatioineen on tärkeämpää kuin useampien kokojen suunnittelu 3D- mallien osalta.

Lopputuloksena olen tyytyväinen, että kaikki ennalta sovitut tavoitteet täyttyivät ja aikataulussa pysyttiin erittäin hyvin.

Lähteet

- Aarnio, M., Hailli, E., Holmila, A., Hulkko, M., Jauhiainen, T., Kuvaja, J., Latvanen, H., Luomala, V., Malinen, R., Niemelä, M., Nousiainen, T., Partanen, L., Pulkkinen, P., Ronkainen, H., Saastamoinen, A., Römpötti, M. & Virolainen, T. (2013). *Teollisuus voitelu (5. uud. p.)*. Helsinki: KP-Media Oy.
- Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. (1985). *Koneenosien suunnittelu 3*. Porvoo: WSOY.
- 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*. Sanoma Pro.
- Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. (2007). *Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu*. Otatieto.
- SEW-EURODRIVE. (2005). *Industrial Gear Units of the MC... Series*. SEW-Eurodrive.
- SEW-EURODRIVE. (2006). *Industrial Gear Units: Mixer and Agitator Drives of the MC... Series*. SEW-Eurodrive.
- SEW-EURODRIVE. (2023). *Industrial Gear Units External Oil Supply and Oil Cooling Systems*. SEW-Eurodrive.
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-a). *sew-eurodrive.fi*. Noudettu 1.2.2024 osoitteesta https://www.sew-eurodrive.fi/yritys/mikae_meitae_liikuttaa/lc_karkkila.html
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-b). *sew-eurodrive.fi*. Noudettu 1.2.2024 osoitteesta https://www.sew-eurodrive.fi/yritys/mikae_meitae_liikuttaa/yritysesittely/yritysesittely.html
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-c). *sew-eurodrive.fi*. Noudettu 15.2.2024 osoitteesta <https://www.sew-eurodrive.fi/koti.html>
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-d). *sew.eurodrive.fi*. Noudettu 15.2.2024 osoitteesta https://www.sew-eurodrive.fi/products/industrial_gear_units/helical_gear_units/bevel-helical_gear_units/helical_gear_units/bevel-helical_gear_units_mc/helical_gear_units/bevel-helical_gear_units_mc-2.html
- Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG. (2014). Rolling Bearings Catalogue HR1.

Liite 11. OWC1 generinen kokoonpanokuva vaihteen M1- asennusasennossa

