

VOITELUYKSIKKÖSARJAN STANDARDISOINTI



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, Riihimäen kampus

Kevät, 2021

Rami Mörsky

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin SEW Industrial Gears Oy:lle, joka on Karkkilassa sijaitseva teollisuusvaihdetehdas. Työn tarkoituksena oli aloittaa uuden voiteluysikkösarjan standardisointi M1N-vaihdesarjaan. Uusi voiteluysikkösarja on suunniteltu X-vaihdesarjaa varten, jonka takia tuli selvittää sen yhteensopivuutta M1N-sarjaan.

Työtä varten kerättiin tietoperustaa vaihteista ja niiden voitelusta. Hydrauliiikan kirjallisuus tuli tarpeeseen voiteluysikköiden käsittelyssä. Oleellisena osana oli myös kahden kesän aikana kerääntynyt työkokemus SEWillä, suunnittelijaharjoittelijan tehtävissä.

Uusien voiteluysikköiden yhteensopivuutta M1N-sarjan vaihteisiin, tarkasteltiin öljyn tilavuusvirran ja jäähdytystehon kannalta. Öljyn tilavuusvirran avulla laadittiin yhteensopivuusalue, joka ilmoittaa mitkä vaihde- ja voiteluysikkökoot sopivat toistensa kanssa yhteen. Jäähdytystehon kannalta ei pystytty arvioimaan yhteensopivuutta, sillä vaihteiden vaatima jäähdytysteho vaihtelee erittäin paljon. Tämä johtuu siitä, että vaihteita voidaan käyttää monenlaisissa käyttökohteissa.

Voiteluysikkö voidaan kiinnittää vaihteeseen tai erilliselle alustalle. Vaihteeseen kiinnittämistä varten suunniteltiin neljä adapterilevyä, joilla mahdollistetaan X-vaihdesarjan voiteluysikköjen kiinnittäminen M1N-vaihteisiin. Adapterilevyillä tehty kiinnitys ei vaadi muutoksia alkuperäisiin X-vaihdesarjan voiteluysikköihin.

Työssä pohdittiin myös voiteluysikköjen muokkaamisen mahdollistamia parannuksia.

Muutoksilla olisi mahdollista vähentää tarvittavia adapterilevyjä tai vähentää voiteluysikkön

imuputkessa syntyvää virtausvastusta. Voiteluyksiköissä olevien suodattimien kiinnitystä muuttamalla, yksiköt olisi mahdollista asentaa niin, että pumput olisivat öljynpinnan alapuolella.

Ilmajäähdytettyjen voiteluyksiköiden käyttämät jäähdyttimet ovat suuria, jonka takia ne asennetaan erillisenä muusta voiteluyksiköstä. Tätä varten suunniteltiin tukilevyjä, joilla jäähdytin voidaan asentaa vaihteen päälle. Suunnitellussa ratkaisussa käytetään seitsemää eri kokoista tukilevyä. Kaikkia tukilevyjä ei kuitenkaan suunniteltu valmiiksi, ratkaisun harvinaisuuden takia.

Voiteluyksiköistä muodostettiin yksinkertaiset kokonaisuudet, niiden alihankkimista varten. Ilmajäähdytettävät voiteluyksiköt jaettiin kahteen kokoonpanoon, joissa jäähdytin on erillisenä muusta voiteluyksiköstä. Nämä kokoonpanot asennetaan vaihteen eri paikkoihin ja liitetään toisiinsa letkuilla. Vesijäähdytetty yksikkö muodosti yhden kokoonpanon, sillä jäähdytin asennetaan siinä samalle taustalevyille, kuin muut voiteluyksikön komponentit.

Avainsanat Teollisuusvaihte, voiteluyksikkö, voitelu, hydraulikka, yhteensopivuus

Sivut 68 sivua ja liitteitä 14 sivua

Author Rami Mörsky

Year 2021

Subject Standardization of lubrication unit series

Supervisors Teppo Syrjäaho (HAMK), Mika Kyöstilä (SEW)

ABSTRACT

This thesis was commissioned by SEW Industrial Gears Oy, which is a factory located in Karkkila. The factory produces industrial gear units that can be used in many applications. The purpose of the thesis project was to start a standardizing process for a new series of lubrication units that would be used with the M1N gear unit series. The new lubrication unit series was originally designed to be used with the X series gear units, which made it necessary to determine its compatibility with the M1N series.

The basics of gear units and their lubrication was used as a knowledge base for the work. Familiarization to literature on hydraulics was also necessary in order to gain a basic understanding of how lubrication units operated. The author's work experience gained during two summer seasons as a design trainee at SEW was also essential.

The compatibility of the lubrication units and the M1N series was examined in terms of oil flow and cooling capacity. Oil flow was used to create a compatibility range that would indicate gear unit and lubrication unit sizes compatible with each other. The cooling capacity required by the gear units varied greatly, which was why it was not possible to assess compatibility with it. This was because the gear units could be used in a wide variety of applications.

The lubrication units can be mounted directly on to the gear units or on a separate base plate. Four adapter plates were designed to allow the lubrication units to be attached to the M1N gear units. The use of the adapter plates does not require modifications to the original lubrication units.

Possible modifications of the lubrication units were also considered in the work. The modifications would make it possible to reduce the number of required adapter plates. Flow resistance in the suction pipe could also be lowered by modifying the lubrication units to make them more suitable for the M1N series.

Radiators used in air-cooled lubrication units are mounted separately from the rest of the lubrication unit because of their large size. For this purpose, the radiators were designed to be mounted on top of the gear units. Seven different sizes of support plates were planned to be used for this solution. All different sizes of support plates were not pre-designed during this work, due to the rarity of the solution.

The lubrication units were formed into sub-assemblies for subcontracting them. The air-cooled lubrication units were divided into two assemblies. This was done by making two individual assemblies for the radiator and the rest of the lubrication unit. These assemblies were installed in different locations of the gear unit and were then connected to each other with hoses. The water-cooled unit formed a single assembly, as the cooler was mounted on the same back plate as the other components of the lubrication unit.

Keywords Industrial gear unit, lubrication unit, lubrication, hydraulics, compatibility

Pages 68 pages and appendices 14 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Vaihteet	2
2.1	M1N-vaihdesarja	3
2.2	Vaihteen teho.....	6
3	Voitelu	8
3.1	Viskositeetti.....	9
3.2	Voitelumenetelmät	11
3.2.1	Kylpyvoitelu	12
3.2.2	Roiskevoitelu	12
3.2.3	Painevoitelu.....	12
3.3	Voiteluyksikkö	13
3.3.1	Pumppu	13
3.3.2	Jäähdytin	15
3.3.3	Suodatin	16
3.3.4	Kavitaatio.....	16
3.4	M1N-vaihdesarjan voiteluyksiköt	17
3.5	Uusi voiteluyksikkösarja	18
3.5.1	ONP1	20
3.5.2	OAC1 ja OAP1	20
3.5.3	OWC1 ja OWP1	21
4	Suunnittelu	22
4.1	Uuden voiteluyksikkösarjan soveltuvuus M1N-vaihdesarjaan	22
4.1.1	Öljytilavuuden ja virtauksen suhde.....	23
4.1.2	Jäähdytystehon riittävyys.....	24
4.1.3	Vertailu aikaisempiin voiteluyksikköihin.....	27
4.1.4	Voitelutarve.....	28
4.1.5	Yhteensopivuus	29
4.2	Kiinnityksen hahmottelu	30
4.2.1	Imuliitäntä	31
4.2.2	Paineliitäntä	34
4.2.3	Voiteluyksikön sijainti	34
4.2.4	Ilmajäähdyttimen sijainti.....	36
4.3	Voiteluyksikön adapteri	38

4.3.1	40–70-kokoiset M1N-vaihteet	39
4.3.2	80–100-kokoiset M1N-vaihteet	42
4.3.3	Adapterilevyjen parannukset	44
4.4	Muokattu voiteluysikkö.....	49
4.4.1	Voiteluysikköjen rakenne	49
4.4.2	Käynnistysviskositeetti	50
4.5	Ilmajäähdyttimen kiinnitys.....	54
4.6	Alihankittavat kokonaisuudet	58
5	Päätelmä.....	62
5.1	Tulos.....	63
5.2	Oma arviointi.....	66
	Lähteet.....	68

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Hammaspyöräpari (Kivioja ym., 2007, s. 278).....	3
Kuva 2.	M1N-vaihteen tunnus (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 10).	4
Kuva 3.	Ympäristöolosuhteita kuvaavat kertoimet (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 19).	8
Kuva 4.	M1N-vaihdesarjan voiteluysikön tunnus (SEW-EURODRIVE, 2017, s. 4).	17
Kuva 5.	Uuden voiteluysikkösarjan tunnus (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10).	19
Kuva 6.	Imuliitäntä.....	31
Kuva 7.	Imuputki M1N-vaihteessa.....	32
Kuva 8.	Imuliitännän leikkauskuva.	33
Kuva 9.	Voiteluysikkö toisioakselin puolella.	35
Kuva 10.	Voiteluysikkö ensiöakselin puolella.	35
Kuva 11.	Ilmajäähdytin voiteluysikön päällä.	37
Kuva 12.	Ilmajäähdytin voiteluysikön päällä, toisessa asennossa.....	37
Kuva 13.	Voiteluysiköiden kiinnitys M1N- ja X-vaihteissa.	39
Kuva 14.	Adapterilevy M1N-vaihdesarjan 40–70-kokoisille vaihteille.....	41
Kuva 15.	Ilmajäähdytetyn voiteluysikön välilevyt.	41
Kuva 16.	Adapterilevy M1N-vaihdesarjan 80–100-kokoisille vaihteille.....	43
Kuva 17.	80-kokoisen vaihteen jalka ja voiteluysikön kiinnitys.	43
Kuva 18.	Paranneltu adapterilevy M1N-vaihdesarjan 40–70-kokoisille vaihteille.....	45

Kuva 19. Adapterin holkit.	45
Kuva 20. 16- ja 20-kokoisten voiteluyksiköiden adapteri 80–100-kokoisille vaihteille. .	47
Kuva 21. Suuren adapterilevyn kiinnitys.	48
Kuva 22. Uudet adapterilevyn kiinnityskohdat ja voiteluyksikön taustalevy.....	49
Kuva 23. Suodattimen tuki.	52
Kuva 24. Vesijäähdytetty voiteluyksikkö.	53
Kuva 25. Uusi imuliitäntä ja matala pumpun asennus.	54
Kuva 26. Ilmajäähdyttimen tukilevyt 40-kokoiselle vaihteelle.....	55
Kuva 27. 220-kokoinen ilmajäähdytin, 50-kokoisessa vaihteessa.	56
Kuva 28. Ilmajäähdyttimen tukilevyt 40- ja 50-kokoisille vaihteille.....	57
Kuva 29. 520-kokoinen ilmajäähdytin, 80-kokoisessa vaihteessa.	58
Kuva 30. Ilmajäähdytetty voiteluyksikkö.	59
Kuva 31. Ilmajäähdytin.	60
Kuva 32. Vesijäähdytetty voiteluyksikkö.	61
Kuva 33. Mittalaitteiden jakotukki.	62
Taulukko 1. ONP1-voiteluyksiköt (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 43).....	20
Taulukko 2. Ilmajäähdytetyt voiteluyksiköt (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 27).....	21
Taulukko 3. Vesijäähdytetyt voiteluyksiköt (Yrityksen sisäinen tiedosto).	21
Kaava 1. Vaihteen välityssuhde (Kivioja ym., 2007, s. 278).....	2
Kaava 2. Hammaspyöräparin välityssuhde (Kivioja ym., 2007, s. 278).	2
Kaava 3. Moniportaisen vaihteen välityssuhde.....	3
Kaava 4. Teollisuusvaihteen nimellisteho (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 17).....	6
Kaava 5. Voiteluyksiköltä vaadittu jäähdytysteho (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 20).....	6
Kaava 6. Teollisuusvaihteen lämpöteho (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 19).	7
Kaava 7. Absoluuttinen viskositeetti (Kivioja ym., 2007, s. 172).....	10
Kaava 8. Kinemaattinen viskositeetti (Kivioja ym., 2007, s. 172).....	10
Kaava 9. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus (Björk ym., 2014, s. 466).	14

Liitteet

- Liite 1 Öljytilavuuden ja virtauksen yhteensopivuus.
- Liite 2 Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden suurimmalla häviöteholla.
- Liite 3 Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden tavallisella häviöteholla.
- Liite 4 Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden suurimmalla häviöteholla, ympäristöolosuhteet huomioiden.
- Liite 5 Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden tavallisella häviöteholla, ympäristöolosuhteet huomioiden.
- Liite 6 Voitelutarpeen toteutuminen.
- Liite 7 Yhteensopivat vaihde- ja pumppukokoyhdistelmät.
- Liite 8 Yhteensopivat voiteluyksiköt.
- Liite 9 Yhteensopivat voiteluyksiköt 50- tai 60 Hz:n taajuudella.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin SEW Industrial Gears Oy:lle, Karkkilan tehtaan käyttöön. Työn tavoitteena oli aloittaa uuden, X-vaihdesarjaan suunnitellun voiteluyksikkösarjan standardoiminen, M1N-vaihdesarjassa käytettäväksi.

Muun muassa M1N-vaihdesarja on tullut itselleni tutuksi suunnittelijaharjoittelijan töissä, kahden kesän ajalta. Työssä pääsin näkemään, kuinka teollisuusvaihteita räätälöidään lukemattomiin erilaisiin tarpeisiin ja olosuhteisiin.

SEW Industrial Gears Oy on Karkkilassa sijaitseva yhtiö, joka on erikoistunut teollisuusvaihteiden valmistukseen. Karkkilan tehtaalla tehdään teollisuusvaihteiden suunnittelu, valmistus ja kokoonpano. Yhtiön tuotteisiin kuuluvat lieriö- ja kartiolieriövaihteet. (SEW-EURODRIVE, n.d.-a)

Hyvä esimerkki yhtiön osaamisesta on erääseen nostosiltaan tehdyt neljä teollisuusvaihdetta, jotka ovat tehtaan suurimmat koskaan valmistamat vaihteet. Näiden vaihteiden yhteenlaskettu paino alustojen kanssa on 140 000 kg. (Asposalo, 2019)

Karkkilassa toimiva yhtiö kuuluu SEW-EURODRIVE konserniin. SEW on saksalainen perheyrittäjä, jonka liikevaihto oli yli 3 mrd. euroa vuosien 2017–2018 aikana. SEW on erityisesti tunnettu sen valmistamista vaihdemoottoreista, mutta valmistaa myös muun muassa teollisuusvaihteita, taajuusmuuttajia, servokäyttöjä ja hajautettuja käyttöautomaattioratkaisuja. (SEW-EURODRIVE, n.d.-b)

Tuotteiden ja prosessien kehittymisen takia, yhtiössä tuli tarve aloittaa uuden voiteluyksikkösarjan standardoiminen. Koska kyseessä on uusi, valmiiksi suunniteltu tuotesarja, sen rakenteeseen ja ominaisuuksiin haluttiin tutustua ja aloittaa työt sen standardisoinnin edistämiseksi.

Kokonaisen tuotesarjan standardisointi vaatisi paljon aikaa, minkä takia työtä rajattiin kolmeen aihealueeseen, joilla standardisointi saataisiin aloitettua. Nämä aihealueet ovat

- uuden voiteluyksikkösarjan soveltuvuuden arvioiminen M1N-vaihdesarjaan
- voiteluyksiköiden kiinnityksen suunnittelu M1N-vaihteisiin
- alihankittavien kokonaisuuksien muodostaminen.

2 Vaihteet

Vaihteet ovat laitteita, joiden tehtävänä on pyörimisnopeuden muuttaminen. Yleensä vaihteilla alennetaan pyörimisnopeutta, jolloin vaihteen välityssuhde on suurempi kuin yksi (Björk ym., 2014, s. 330).

Vaihteen hammaspyöräparin, eli portaan välityssuhde voidaan laskea käyttävän ja käytettävän pyörän pyörimisnopeuksien välisestä suhteesta (Kaava 1). (Kivioja ym., 2007, s. 278)

Kaava 1. Vaihteen välityssuhde (Kivioja ym., 2007, s. 278).

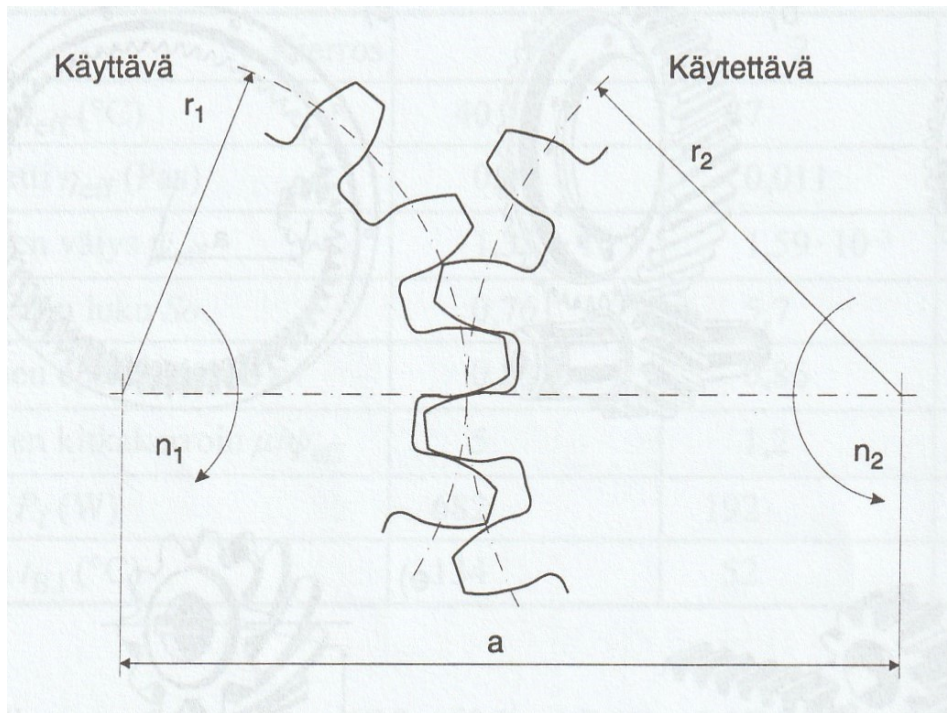
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Kaavan indeksi 1, viittaa ensiöpyörään, eli käyttävään pyörään ja indeksi 2, toisiopyörään, eli käytettävään pyörään. Yhden hammaspyöräparin muodostama välityssuhde, voidaan laskea pyörien vierintähalkaisijoiden (d), vierintäsäteiden (r) tai hammaslukumäärien (z) avulla (Kuva 1 ja Kaava 2). (Kivioja ym., 2007, s. 278)

Kaava 2. Hammaspyöräparin välityssuhde (Kivioja ym., 2007, s. 278).

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Kuva 1. Hammaspyöräpari (Kivioja ym., 2007, s. 278).



Moniportaisen vaihteen kokonaisvälityssuhde (i_n), voidaan laskea kaikkien portaiden välityssuhteiden tulona. (Kaava 3)

Kaava 3. Moniportaisen vaihteen välityssuhde.

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

2.1 M1N-vaihdesarja

M1N-teollisuusvaihteet ovat yksiportaisia, jalka-asenteisia lieriövaihteita. Ne soveltuvat käyttökohteisiin, joissa pieni välityssuhde on toivottua. Niiden välityssuhde sijoittuu alueelle: 1–7,1. M1N-vaihteiden nimellismomentti on 0,5–248 kNm. (SEW-EURODRIVE, n.d.-c)

Suurempia yksiportaisia vaihteita voidaan toteuttaa SEWin ML1-vaihdesarjan vaihteilla. Näiden vaihteiden nimellismomentti on suurimmillaan noin 1 500 kNm. (Yrityksen sisäinen tiedosto)

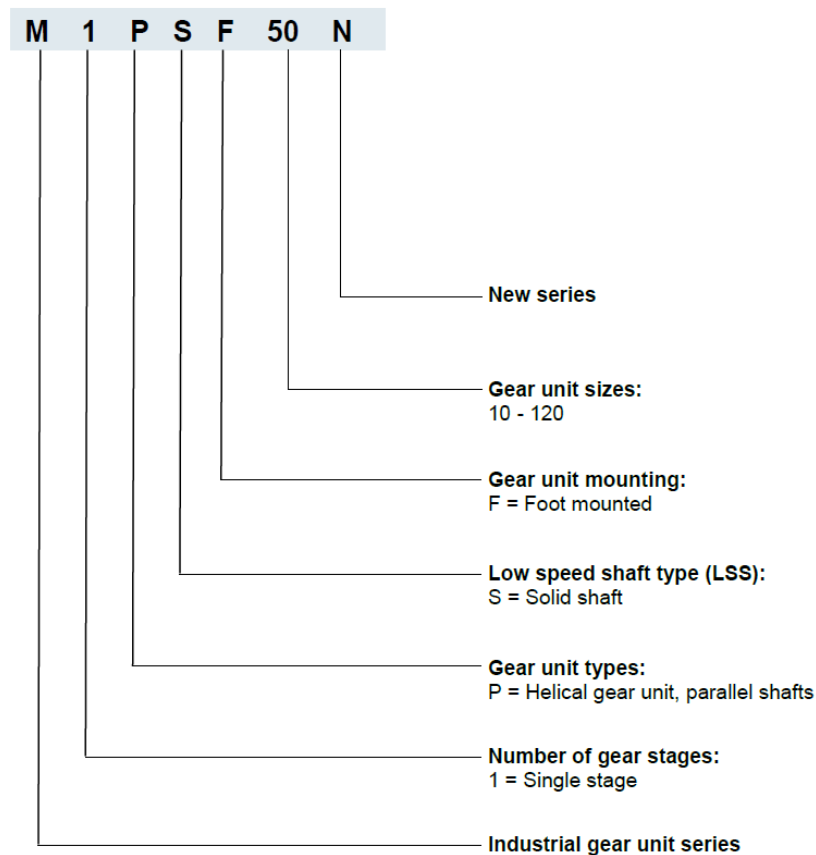
Jokaisella M1N-sarjan teollisuusvaihteella, on sen kokoon ja pääpiirteisiin viittaava tunnus (Kuva 2). Vaihteen tunnus voi olla esimerkiksi: M1PSF50N. Tämän tunnuksen viisi ensimmäistä merkkiä kuvaavat vaihteen rakennetta. Niiden mukaan, vaihde on teollisuusvaihde, jossa on yksi porras, yhdensuuntaiset akselit, kiinteä toisioakseli ja jalka-asennus (Kuva 2). Tämä rakenne on M1N-sarjassa pysyvä, jonka takia tunnuksen viisi ensimmäistä merkkiä pysyvät aina samana. (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 10)

Tunnuksessa, viiden ensimmäisen merkin jälkeen, ilmoitetaan vaihteen koko. M1N-vaihteiden kokoalue on 10–120. Luku vaihtuu kymmenen suuruusin välein, jolloin vaihteen kokovaihtoehtoja on yhteensä 12 kappaletta. Tunnuksen viimeinen kirjain, N tarkoittaa uutta sarjaa. (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 10)

Kuva 2. M1N-vaihteen tunnus (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 10).

2.6 Gear unit type designation

The designation of the gear unit is set up as follows:



M1N-vaihdesarja on hyvin yksinkertainen verrattuna muihin teollisuusvaihdesarjoihin, sillä sen vaihteissa on pelkästään

- yksi asennusasento
- yksi toisioakselin tyyppi
- yksi välitysosien asento
- yksi porras.

(SEW-EURODRIVE, 2019, s. 10)

Muissa teollisuusvaihdesarjoissa voi olla useita eri asennusasetoja, toisioakselien tyyppiä ja portaita.

Vaihdesarjan pienin M1PSF10N-vaihde on kuivapainoltaan 55 kg, ja akseliväliltään 100 mm. Sarjan suurin, M1PSF120N-vaihde painaa 5 630 kg kuivana ja sen akselinvälillä on mittaa 560 mm. (SEW-EURODRIVE, 2019, ss. 34–47)

100-kokoisten ja sitä pienempien M1N-vaihteiden kotelot, valmistetaan valuraudasta. Vaihdesarjan kahden suurimman, 110- ja 120-kokoisten vaihteiden kotelot valmistetaan vakiona teräksestä. Koteloissa on vaakasuuntainen jakotaso. (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 6)

Vaakasuuntainen jakotaso on huoltoystävällinen, sillä kotelon yläpuolisko voidaan nostaa irti vaihteesta. Vaihteen välitysosat jäävät kotelon alapuoliskoon, jolloin niiden huolto on helppoa. (Björk ym., 2014, s. 349)

M1N-vaihteiden pienen välityssuhteen takia, niitä käytetään usein laitteissa, joissa tarvitaan suurta käyttötehoa. Suuren tehon takia, vaihde voi tarvita jäähdytystä.

Jäähdytystä varten, vaihteeseen voidaan asentaa tuulettimia, joita voi olla yksi- tai kaksi kappaletta. Tuulettimet asennetaan vaihteen ensioakselille, jolloin ne hyödyntävät vaihdetta pyörittävää moottoria voimanlähteenä. Tuulettimet ovat radiaalituulettimia, jonka ansiosta niiden toiminta ei ole riippuvainen vaihteen pyörimissuunnasta. M1N-vaihteeseen voidaan asentaa ilma- tai vesijäähdytyksellä varustettu voiteluyksikkö, jos tuulettimien aikaansaama jäähdytys ei riitä jäähdyttämään vaihdetta. (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 8)

2.2 Vaihteen teho

Teollisuusvaihteen nimellisteho (P_{N1}) on teho, jolle vaihde on mitoitettu kestävästi hyissä olosuhteissa ja tasaisessa käytössä. Nimellistehon kaavan perusteella voidaan valita käytettävä vaihdekoko (Kaava 4). (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 17)

Kaava 4. Teollisuusvaihteen nimellisteho (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 17).

$$P_{N1} \geq P_{K1} \times F_{s \min}$$

P_{K1} on vaihteen käyttöteho ensiöakselilla ja $F_{s \min}$ on käyttökerroin. Käyttökerroin on eräänlainen varmuuskerroin, jolla huomioidaan eri sovelluskohteissa tapahtuvat kuorman vaihtelut. (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 17)

Vaihde voi tarvita voiteluyksikön sen jäähdyttämistä varten, jos sitä käytetään suurella teholla. Voiteluyksiköltä vaadittu jäähdytysteho, voidaan arvioida sen kaavalla (Kaava 5). (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 20)

Kaava 5. Voiteluyksiköltä vaadittu jäähdytysteho (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 20).

$$P_L = \left(P_{K1} - \frac{P_T}{2} \right) \times (1 - \eta)$$

Jäähdytystehon kaavassa (Kaava 5) käytetyt termit:

- P_L on vaadittu jäähdytysteho (kW).
- P_{K1} on vaihteen käyttöteho (kW).
- P_T on vaihteen lämpöteho (kW).
- η on vaihteen hyötysuhde.

(SEW-EURODRIVE, 2019, s. 20)

Vaihteen yhden portaan hyötysuhde on noin 0,985–0,99 (Yrityksen sisäinen ohje). M1N-vaihdesarjan arvioitu hyötysuhteen arvo on noin 0,985 (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 15).

Vaihteen lämpöteho tarkoittaa jatkuvaa käyttötehoa, jossa vaihde pysyy määrättyssä lämpötilassa. Silloin systeemi on termisessä tasapainossa. Lämpötehon tulee olla vähintään yhtä suuri, kuin sen käyttöteho ensiöakselilla. (SEW-EURODRIVE, 2019, ss. 19–20)

Vaihteen lämpötehon (P_T) suuruutta, voidaan arvioida eri käyttöolosuhteissa, lämpötehon kaavalla (Kaava 6). (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 19)

Kaava 6. Teollisuusvaihteen lämpöteho (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 19).

$$P_T = P_{TH} \times f_1 \times f_4 \times f_L \times f_T$$

Teollisuusvaihteen lämpötehon kaavassa (Kaava 6) käytetyt termit:

- P_{TH} on vaihteen lämpöteho ennalta määrättyissä ympäristöolosuhteissa.
- f_1 on vaihteen asennuspaikan korkeutta kuvaava kerroin.
- f_4 on vaihteen kuormitusta kuvaava kerroin.
- f_L on vaihteen voitelumenetelmää kuvaava kerroin.
- f_T on vaihteen ympäristöilman lämpötilaa kuvaava kerroin.

(SEW-EURODRIVE, 2019, s. 19)

Ympäristöolosuhteita kuvaavien kertoimien, mahdolliset lukuarvot esitetään M1N-vaihdesarjan katalogissa (Kuva 3). (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 19)

Kuva 3. Ympäristöolosuhteita kuvaavat kertoimet (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 19).

Altitude factor f_1

The following table shows the altitude factor f_1

Altitude factor	Altitude H [m above sea level]				
	Up to 999	1000 ... 2000	2000 ... 3000	3000 ... 4000	4000 ... 5000
f_1	1.0	0.95	0.91	0.87	0.83

Operating cycle factor f_4

The following table shows the operating cycle factor f_4

Operating cycle factor	Time under load per hour in %				
	100	80	60	40	20
f_4	1.00	1.06	1.16	1.35	1.78

Lubrication factor f_L

The following table shows the lubrication factor f_L

Lubrication factor	Type of lubrication	
	Pressure	Bath or splash
f_L	1.10	1.00

Ambient temperature factor f_T

The following table shows the ambient temperature factor f_T

Ambient temperature factor	Ambient temperature [°C]				
	10	20	30	40	50
f_T	1.32	1.18	1.00	0.79	0.60

3 Voitelu

M1N-teollisuusvaihteet, kuten muutkin vaihteet tarvitsevat voitelua. Teollisuusvaihteissa voideltavat kohteet ovat hammaspyörät, laakerit ja tiivisteet (Aarnio ym., 2013, s. 209).

Voitelulla vähennetään toisiaan vasten kuormitettujen, liikkuvien osien välistä kitkaa ja kulumista. Kitkan väheneminen merkitsee myös pienempää tehohäviötä ja säästää laitteen käytössä kuluvaa energiaa. Voiteluaineilla voidaan myös jäähdyttää ja puhdistaa vaihteen osia sekä suojata pintoja korroosiolta. Voitelulla on merkittävä taloudellinen vaikutus sen kitkaa ja kulumista vähentävän vaikutuksen ansiosta. (Aarnio ym., 2013, s. 11)

Teollisuusvaihteiden laakereiden ja tiivisteiden voitelussa hyödynnetään pääsääntöisesti samaa öljyä, jolla voidellaan vaihteen välitysosat (Kivioja ym., 2007, s. 239). Rasvaa voidaan käyttää tiivisteiden, ja harvemmissä tapauksissa myös laakereiden voiteluun.

Parhaassa voitelutapauksessa vallitsee nestevoitelu, jossa voiteluaine erottaa liikkuvat osat kokonaan toisistaan. Tämä tapahtuu, kun nestemäinen voiteluaine puristuu kahden

liukupinnan väliin synnyttäen kuormaa kantavan hydrodynaamisen paineen. Tällöin pintojen välillä ei tapahdu kosketuksesta johtuvaa kulumista ja kitka on hyvin pieni. Kuormaa kantavan paineen aikaansaamiseksi, liukupintojen välinen nopeus ja voiteluaineen viskositeetin tarvitsee olla riittävän suuret. Jos liukupintojen välinen nopeus tai voiteluaineen viskositeetti ei riitä synnyttämään kuormaa kantavaa painetta, tilanne on rajavoitelun alueella. (Kivioja ym., 2007, ss. 129–131)

Rajavoitelussa voiteluainekalvo jää niin ohueksi, että liukupintojen pinnankarheushuiput koskettavat toisiaan ja siirtävät osan kuormasta. Tämä voi tapahtua esimerkiksi hidaskäyttövaihteissa, joissa toisioakseli pyörii alle 15 kierrosta minuutissa (Yrityksen sisäinen ohje). Rajavoitelussa, kitkaa ja kulumista vähennetään vaihteistoöljyjen sisältämällä EP-lisäaineilla (Extreme Pressure), jotka lisäävät öljyn tarttuvuutta, muodostaen ohuen kalvon liukupinnoille. (Kivioja ym., 2007, ss. 167–168)

Hyvin toimiva vaihteen voitelu erottaa hammaskosketukset kokonaan toisistaan. Tällöin liukumisesta johtuvaa abrasiivista kulumista ei tapahdu. Merkittävimmäksi kulumismuodoksi jää silloin väsymiskuluminen. Tämä tapahtuu, kun hammaspyörän hampaisiin kohdistuva kuorma on erittäin suuri ja jatkuvasti vaihteleva, hammaspyörän pyörimisen takia. Väsymiskuluminen ilmenee hampaan pinnasta irroneina kulumispartikkeleina. (Kivioja ym., 2007, s. 113)

Kulumispartikkelit voivat aiheuttaa abrasiivista kulumista, jos ne kulkeutuvat liukuvien pintojen väliin. Tällaista tilannetta kutsutaan kolmen kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi (3-body-wear). Kulumispartikkelit voivat muokauslujittumisen takia olla kovempia kuin kappaleet, joista partikkelit ovat irronneet. Tämän takia ne voivat aiheuttaa vaurioita liukupintoihin. (Kivioja ym., 2007, s. 108)

3.1 Viskositeetti

Viskositeetti on nesteen ominaisuus, joka kuvaa aineen niin sanottua sisäistä kitkaa. Korkealla viskositeetilla, aine vastustaa liikettä enemmän, kuin pienellä viskositeetilla. Esimerkiksi öljyllä on suuri viskositeetti verrattuna veteen. (Kivioja ym., 2007, s. 172)

Viskositeetin suuruus voidaan ilmoittaa absoluuttisena (Kaava 7) tai kinemaattisena (Kaava 8). Kinemaattinen viskositeetti on näistä termeistä yleensä käytännöllisempi. (Kivioja ym., 2007, s. 172)

Kaava 7. Absoluuttinen viskositeetti (Kivioja ym., 2007, s. 172).

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

Absoluuttisen viskositeetin kaavassa (Kaava 7) käytetyt termit:

- η on absoluuttinen viskositeetti (N s/m²).
- τ on leikkausjännitys (N/m²).
- du / dy on leikkausnopeus (1/s).

(Kivioja ym., 2007, s. 172)

Kaava 8. Kinemaattinen viskositeetti (Kivioja ym., 2007, s. 172).

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

Kinemaattisen viskositeetin kaavassa (Kaava 8) käytetyt termit:

- v on kinemaattinen viskositeetti (m²/s).
- η on absoluuttinen viskositeetti (N s/m²).
- ρ on voiteluaineen tiheys.

(Kivioja ym., 2007, s. 172)

Teollisuusvaihteissa käytettyjen öljyjen kinemaattinen viskositeetti, ilmoitetaan ISO 3448 -standardin määrittämällä ISO VG -luokalla. Sen lukuarvo tarkoittaa öljyn kinemaattista viskositeettiä ± 10 %:n vaihtelurajoilla, 40 °C:een lämpötilassa. (Kauranne ym., 2013, ss. 121–122)

Voiteluaineen lämpötila vaikuttaa sen viskositeettiin merkittävästi. Kylmässä voiteluaine muuttuu jäykäksi ja sen voiteluominaisuudet heikkenevät. Kuuma öljy voi toisaalta olla liian ohutta, jolloin tehokasta voitelukalvoa ei muodostu. Lämpötilan vaikutusta voiteluaineen viskositeettiin kuvataan viskositeetti-indeksillä (VI). Suuri viskositeetti-indeksi tarkoittaa pienempää viskositeetin muutosta, voiteluaineen lämpötilan muuttuessa. Indeksien arvo on yleensä 70–200. (Aarnio ym., 2013, ss. 17–18)

3.2 Voitelumenetelmät

Teollisuusvaihteen voitelu voidaan toteuttaa kylpy-, roiske- tai painevoitelulla.

Voitelumenetelmän valinta perustuu usein hammaspyörän kehänopeuteen. Alle 4 m/s, hitailla kehänopeuksilla, käytetään kylpyvoitelua. Roiskevoitelua voidaan käyttää 14 m/s kehänopeuteen asti, jonka ylittyessä on tarpeellista käyttää painevoitelua. (Björk ym., 2014, s. 350)

Vaihteissa, joiden välityssuhde on suuri, voi voitelumenetelmän valinta, tuottaa ongelmia. Suuren välityssuhteen takia ensimmäisen ja viimeisen portaan hammaspyörrien kehänopeuksien ero voi olla suuri. Tämä aiheuttaa ristiriidan voitelumenetelmän valinnassa, koska vaihteen ensimmäisissä portaissa voidaan tarvita roiskevoitelu ja viimeisissä portaissa kylpyvoitelu. Usein ratkaisussa päädytään kompromissiin. Voitelumenetelmän valinnan määräävä järjestys on: painevoitelu, kylpyvoitelu ja roiskevoitelu (Yrityksen sisäinen ohje).

Ongelma voidaan ratkaista myös käyttämällä useita voitelumenetelmiä samanaikaisesti.

Esimerkiksi ratkaisu, jossa vaihteen ensiöpäässä käytetään painevoitelua ja toisiopäässä kylpyvoitelua. Tämä on toteutettavissa parhaiten, kun vaihde on sellaisessa asennossa, jossa kylpyvoideltavat välitysosat ovat painevoideltavien osien alapuolella.

M1N-vaihteissa käytetään vakiona roiskevoitelua, paitsi sarjan pienimmässä M1PSF10N-vaihteessa, jossa käytetään kylpyvoitelua. M1N-vaihteet voidaan varustaa painevoitelulla, suuria käyttötehoja tai kierrosnopeuksia varten. (SEW-EURODRIVE, 2019, ss. 7–8)

3.2.1 Kylpyvoitelu

Kylpyvoitelussa vaihteen öljypinta on voideltavien osien yläpuolella. Tästä syystä kylpyvoitelu on kaikista voitelumenetelmistä yksinkertaisin toteuttaa. Se soveltuu hitaasti pyöriville hammaspyörille, joiden kehänopeus ei riitä roiskevoiteluun. (Aarnio ym., 2013, s. 210)

Kylpyvoitelua käytetään muun muassa MC-sarjan vertikaali- ja pystyvaihteissa. Näissä vaihteissa, käytetään kotelon ulkopuolelle asennettavaa paisuntasäiliötä, joka sallii öljyn laajentumisen sen lämmitessä. (SEW-EURODRIVE, 2005, s. 79)

Kylpyvoitelun heikkoutena on öljyn vatkautuminen, joka aiheuttaa ylimääräistä häviötä ja öljyn lämpenemistä.

3.2.2 Roiskevoitelu

Roiskevoitelussa öljyntaso asetetaan niin, että hammaspyörä koskettaa öljynpintaa. Silloin öljynpinta on reilusti voideltavien kohteiden alapuolella. Tarvittava voitelu toteutetaan hammaspyörien aikaansaamien roiskeiden avulla. Öljyroiskeet johdetaan vaihdekotelon sisäpintojen muotoilulla ryntöihin ja laakereihin. (Björk ym., 2014, s. 350)

Alhaisemmalla öljytasolla voidaan vähentää öljyn vatkauksesta johtuvaa häviötä. Lisäksi etuna on öljyn pienempi määrä, mikä vähentää öljynvaihdon kustannuksia ja ympäristökuormaa.

Roiskevoitelu ei sovellu pienille kierrosnopeuksille, sillä voiteluaineen saanti vähenee kierrosnopeuden pienentyessä. Tästä syystä, roiskevoitelua tulee välttää käyttökohteissa, joissa kierrosnopeus vaihtelee paljon tai joissa vaaditaan pitkä käynnistysjakso.

3.2.3 Painevoitelu

Painevoitelua tulee käyttää, jos kylpy- tai roiskevoitelu ei sovellu vaihteeseen. Tämä voi johtua esimerkiksi, vaihteen suuresta kierrosnopeudesta tai käyttötehosta. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 14)

Painevoitelussa öljyä syötetään voideltaviin kohteisiin pumpun avulla. Tätä varten vaihteessa täytyy olla putkisto, jolla öljy johdetaan ryntöön ja laakereille. Siksi painevoitelu on voitelumenetelmistä monimutkaisin. (Aarnio ym., 2013, s. 210)

Painevoideltavien M1N-vaihteiden öljyntaso asetetaan yleensä niin matalalle, että vaihteen suurin hammaspyörä on kokonaan öljynpinnan yläpuolella (M. Kyöstiä, keskustelu, 5.11.2020). Tällä voidaan välttää öljyn vatkamisesta aiheutuva häviö kokonaan.

3.3 Voiteluyksikkö

Painevoitelua varten voidaan käyttää voiteluyksikköä. Yleensä voiteluyksikkö koostuu

- pumpusta ja sitä käyttävästä sähkömoottorista
- öljynsuodattimesta
- öljynjäähdyttimestä
- ohjaus- ja mittauslaitteista.

(Björk ym., 2014, s. 350)

Voiteluyksikkö on teollisuusvaihteen ulkopuolella oleva laite. Sen avulla, öljy imetään vaihteen öljytilasta ulos ja ohjataan putkilla vaihteen voideltaviin kohteisiin. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 14)

Pumpun tuottaman öljynkierron avulla, öljy voidaan johtaa tehokkaasti vaihteen voitelua tarvitseville komponenteille. Sen ansiosta öljy voidaan myös suodattaa helposti, öljynsuodattimen avulla (Aarnio ym., 2013, s. 210). Voiteluyksikköön voidaan lisäksi asentaa ilma- tai vesijäähdytin, jolla alennetaan öljyn käyttölämpötilaa.

3.3.1 Pumppu

Pumpulla muutetaan mekaanista tehoa, hydrauliseksi tehoksi. Syrjäytysperiaatteella toimivissa pumpuissa, siirrettävä neste pakotetaan liikkumaan pumpun läpi, avaamalla ja sulkemalla pumpun sisällä olevia kammioita. Yleensä tällaiset pumput ovat rakenteeltaan hammaspyörä-, ruuvi-, siipi- tai mäntäpumppuja. (Kauranne ym., 2013, s. 137)

Voiteluyksikön pumppua käytetään yleensä sähkömoottorilla (Björk ym., 2014, s. 350).

Teollisuudessa käytettävät sähkömoottorit ovat yleensä oikosulkumoottoreita, joiden pyörimisnopeus voidaan laskea napaparien lukumäärän ja käyttötaajuuden avulla (Kaava 9) (Björk ym., 2014, s. 466).

Kaava 9. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus (Björk ym., 2014, s. 466).

$$n = \frac{f}{p} (1 - s)$$

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden kaavassa (Kaava 9) käytetyt termit:

- n on pyörimisnopeus.
- f on verkon taajuus.
- p on napaparien lukumäärä.
- s on jättämä.

(Björk ym., 2014, s. 466)

Yleensä käytössä olevat moottorit ovat nelinapaisia, jolloin napapareja on kaksi. Moottorin käyttötaajuus voi olla 50- tai 60 Hz, kun käytössä ei ole taajuusmuuntajaa. 50 Hz:n taajuudella moottorin kierrosnopeudeksi saadaan, 25 kierrosta sekunnissa, kun jättämää ei huomioida (Kaava 9). Tämä tarkoittaa 1 500 kierrosta minuutissa. 60 Hz:n taajuudella vastaava arvo on 1 800 kierrosta minuutissa.

Kaksi samanlaista moottoria pyörivät eri nopeuksilla, riippuen käyttötaajuudesta. Tämän takia, käyttötaajuus vaikuttaa myös pumpun tuottamaan tilavuusvirran suuruuteen.

Tilavuusvirta vaikuttaa osaltaan voiteluyksikön jäähdytystehoon (Kauranne ym., 2013, s.

403). Näiden syiden takia, voiteluyksiköille ilmoitetaan eri suoritusarvot, 50- ja 60 Hz:n

taajuuksilla. 60 Hz:n taajuudella, voiteluyksiköiden suoritusarvot ovat aina suuremmat, kuin 50 Hz:n taajuudella.

3.3.2 Jäähdytin

Voiteluyksikkö voidaan varustaa jäähdyttimellä, jolla alennetaan sen läpi kulkevan voiteluaineen lämpötilaa. Se on tarpeellinen, jos vaihdetta käytetään suurella teholla ja jos muut jäähdytysmenetelmät eivät ole riittävän tehokkaita.

Jäähdytin on laite, jolla siirretään jäähdytettävän aineen lämpöenergiaa jäähdytinaineeseen. Jäähdytys on sitä tehokkaampaa, mitä suurempi on kahden aineen välinen lämpötilaero. Siihen vaikuttavat merkittävästi myös aineiden välinen virtausnopeus ja jäähdyttävä pinta-ala. (Kauranne ym., 2013, s. 403)

Ilmajäähdyttimessä jäähdytinaineena toimii ilma. Jäähdytettävä aine virtaa kennoston läpi, jonka rivoitukset mahdollistavat suuren jäähdyttävän pinta-alan. Kennoston läpi kulkee myös tuulettimella aikaansaatu ilmavirta. Jäähdytystehoa voidaan säätää tuulettimen pyörimisnopeutta muuttamalla. (Kauranne ym., 2013, ss. 403–404)

Ilmajäähdyttimet ovat usein suuria, niiden heikon lämmönsiirtokyvyn takia. Tämä johtuu usein siitä, että jäähdytettävän aineen ja ilman lämpötilaero ei ole riittävän suuri. Toisena heikkoutena on niiden aiheuttama ympäristökuorma, joka ilmenee ympäristöilman lämpönä ja tuulettimen aiheuttamana meluna. Näistä haitoista huolimatta, ilmajäähdyttimet ovat hyvin yleisiä, sillä jäähdytinaine on helposti saatavilla. (Kauranne ym., 2013, ss. 403–404)

Vesijäähdyttimessä jäähdytinaineena toimii vesi. Vesijäähdyttimien yleisimmät mallit ovat putki- tai levymallisia. Niiden rakenteet eroavat toisistaan paljon, mutta molempien tarkoituksena on mahdollisimman suuren jäähdytyspinta-alan saavuttaminen. Vesijäähdyttimen jäähdytystehoa voidaan säätää sen läpi kulkevan veden tilavuusvirtaa muuttamalla. (Kauranne ym., 2013, ss. 405–406)

Vesijäähdyttimet ovat usein pienempiä, kuin ilmajäähdyttimet, sillä niillä saavutetaan kokoon nähden parempi jäähdytysteho. Lisäksi vesijäähdyttimet eivät aiheuta melua tai ympäristöilman lämpenemistä, kuten ilmajäähdyttimet. Haittapuolena on veden tarve ja sen aiheuttama korroosion riski. (Kauranne ym., 2013, ss. 405–406)

3.3.3 Suodatin

Voiteluaineeseen kertyy käytännössä aina epäpuhtauksia, jotka heikentävät sen voiteluominaisuuksia tai aiheuttavat kulumista. Epäpuhtaudet voivat olla peräisin laitteiston valmistuksesta, ympäristöstä tai sen käytöstä (Kauranne ym., 2013, s. 377).

Voiteluaineessa olevia kiinteitä epäpuhtauksia voidaan poistaa suodattimen avulla. Suodatettava neste virtaa suodattimen rungon sisällä olevan suodatinpanoksen läpi, johon epäpuhtaudet tarttuvat. (Kauranne ym., 2013, s. 389)

Suodattimessa voi olla lisävarusteena muun muassa ohivirtausventtiili ja tukkeumaosoitin. Ohivirtausventtiilin tarkoitus on päästää öljy virtaamaan vapaasti, jos suodattimessa paine kasvaa tukoksen takia liian suureksi. Tämä suojaa suodatinta vaurioilta ja varmistaa vaihteen voitelun jatkumisen. Öljyn suodattaminen kuitenkin pysähtyy. (Kauranne ym., 2013, s. 392)

Tukkeuma voidaan havaita ennen sen tapahtumista tukkeumaosoittimella. Sen toiminta perustuu suodattimessa valitsevan paineen mittaamiseen. Paine voidaan mitata suodattimen eri paikoista, riippuen suodattimen mallista. Tietyn paineen ylittyessä osoitin ilmoittaa siitä mekaanisesti tai sähköisesti. (Kauranne ym., 2013, s. 392)

3.3.4 Kavitaatio

Kavitaatio on hydromekaniikassa tapahtuva ilmiö, joka on melkein aina haitallinen. Se ilmenee paineiskuina, jotka vaurioittavat tyypillisesti pumppuja ja niiden imukanavia. Vauriot ilmenevät komponenttien sisäpintojen syöpymisenä. Paineiskut aiheuttavat myös ääntä, jonka takia kavitaatio voidaan havaita melutason nousuna. (Kauranne ym., 2013, s. 106)

Kavitaatio tapahtuu, kun nesteen paine laskee sen höyrystymispaineen tasolle. Silloin neste höyrystyy ja muodostaa höyrykuplia. Kavitaation vaurioita aiheuttamat paineiskut tapahtuvat, kun nesteen paine nousee uudelleen, jonka takia höyrykuplat tiivistyvät romahtaen takaisin nesteeksi. (Kauranne ym., 2013, s. 106)

Voiteluyksikössä kavitaatio voi ilmetä erityisesti imuputkessa ja pumpussa. Imuputkessa on alipaine, jonka takia öljy voi höyrystyä (Kauranne ym., 2013, s. 106). Kun öljy saapuu

pumppuun, paine nousee ja mahdolliset höyrykuplat tiivistyvät, aiheuttaen kavitaation paineiskut. Imuputken rakenteella voidaan vaikuttaa siinä muodostuvan alipaineen suuruuteen. Alipaine on usein sitä pienempi, mitä pienempi on imuputken virtausvastus (Yrityksen sisäinen ohje).

3.4 M1N-vaihdesarjan voiteluyksiköt

M1N-vaihdesarjan voiteluyksiköillä on niiden ominaisuuksien ja koon ilmoittava tunnus (Kuva 4). Tunnus voi olla esimerkiksi OWP-06L. Sen kolme ensimmäistä kirjainta ilmoittavat voiteluyksikön perusominaisuudet. Käytettävä jäähdytysmenetelmä on näistä ominaisuuksista ainoa, joka voi muuttua M1N-sarjan voiteluyksiköissä. Sitä kuvaa tunnuksen toisena oleva, A- tai W-kirjain. Kirjain A, tarkoittaa ilmajäähdytystä ja kirjain W, vesijäähdytystä. (SEW-EURODRIVE, 2017, s. 4)

M1N-sarjan voiteluyksiköt ovat tarkoitettu pelkästään painevoitelua varten. Sitä kuvaa tunnuksen kolmantena oleva P-kirjain. Tunnuksen lopussa oleva luku kertoo voiteluyksikön koon, sen tuottaman öljyn tilavuusvirran perusteella. Öljyn tilavuusvirran suuruus on M1N-sarjan voiteluyksiköillä 6–120 l/min. (SEW-EURODRIVE, 2017, s. 4)

Sarjassa on 11 eri kokovaihtoehtoa. Niiden jäähdytysteho on 2,9–57 kW, 50 Hz:n käyttötaajuudella ja 3,5–68,4 kW, 60 Hz:n käyttötaajuudella. (Yrityksen sisäinen tiedosto)

Kuva 4. M1N-vaihdesarjan voiteluyksikön tunnus (SEW-EURODRIVE, 2017, s. 4).

The designation of lubrication unit is set up as follows:

OWP-06L	
O	Oil supply system
W	Oil cooler type <ul style="list-style-type: none"> • W = Water • A = Air • N = None
P	<ul style="list-style-type: none"> • P = Pressure lubrication
06L	Size (L= l/min) <ul style="list-style-type: none"> • 6 – 120

3.5 Uusi voiteluyksikkösarja

Uusi voiteluyksikkösarja on suunniteltu X-vaihdesarjaa varten. Aikaisemmista M1N-vaihdesarjan voiteluyksiköistä (Luku 3.4), sen tunnistaa kolmikirjaimisen tunnuksen loppuun lisätystä numerosta yksi. Esimerkiksi: OAP1. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10)

Sarjaan kuuluu jäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä voiteluyksikköjä. Jäähdytys voidaan toteuttaa ilma- tai vesijäähdyttimellä. Jäähdyttimellä varustetuista yksiköistä on versiot öljynkiertojäähdytystä sekä painevoitelua varten. Jäähdyttämättömät voiteluyksiköt ovat vain painevoitelun toteuttamista varten. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 15)

Uuden voiteluyksikön kokonainen tunnus merkitään samaan tapaan, kuin aikaisemmissa voiteluyksiköissä (Luku 3.4), alkaen jäähdytys- ja voitelumenetelmästä sekä yksikön koosta (Kuva 5). Poikkeuksena on yksikön koko, joka uudessa voiteluyksikkösarjassa tarkoittaa pumpun kokoa. Tämän takia uuden voiteluyksikön koko, ei kerro sen tuottamaa tilavuusvirtaa, kuten aikaisemmassa voiteluyksikkösarjassa (Luku 3.4). (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10)

Voiteluyksikön tunnuksessa, ilmoitetaan lisäksi

- jäähdyttimen koko
- voiteluyksikön asento
- moottorin käyttötaajuus
- käytettävä öljynsuodatin
- yksikön asennuspaikka.

(SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10)

Jäähdyttimen koko ilmoitetaan tunnuksessa, sillä muutamaan voiteluyksikkökokoon on vaihtoehtona kaksi eri jäähdytinkokoa. Esimerkiksi 32-kokoiseen ilmajäähdytettyyn yksikköön on vaihtoehtona 420- tai 520-kokoinen jäähdytin. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 27)

Voiteluyksikkö voidaan asentaa X-vaihdesarjassa, vaihteen koteloon kiinni tai erilliselle alustalle. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10)

Kuva 5. Uuden voiteluyksikkösarjan tunnus (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10).

OAC1 16/120-020/M	
O	Oil supply system
A	Cooling medium <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 – 63
120	Air heat exchanger <ul style="list-style-type: none"> • 120 – 810
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 to the gear unit • S = Mounted separately

Uusilla voiteluyksiköillä sallitaan korkeampi öljyn käynnistysviskositeetti, kuin aikaisemmillä voiteluyksiköillä (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 19). Tästä on erityisesti hyötyä kylmissä olosuhteissa.

Voiteluyksikön käynnistysviskositeettia rajoitetaan kavitaation aiheuttamien vaurioiden välttämiseksi (Luku 3.3.4). Voiteluyksikön käynnistymisen jälkeen, öljyn viskositeetti laskee, sillä öljy lämpenee sen virtaamisen aiheuttamien häviöiden seurauksena. (Yrityksen sisäinen ohje)

Voiteluyksiköissä on vakiona öljynsuodatin, jossa on yksi suodatinelementti. Tämä voidaan lisävarusteena vaihtaa kaksoissuodattimeen, jota kutsutaan myös Duplex-suodattimeksi. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 9)

Kaksoissuodattimessa on nimensä mukaisesti kaksi suodatinta. Näiden välillä on vaihtoventtiili, jolla suodatus voidaan siirtää toiselle suodatinpuoliskolle, niin että suodatus ei pysähdy. Tällä mahdollistetaan suodatinpanoksen vaihtaminen, ilman voiteluyksikön pysäyttämistä. (Aarnio ym., 2013, s. 144)

3.5.1 ONP1

ONP1 on voiteluyksikkö, jossa ei ole jäähdytintä. Se on tarkoitettu painevoitelun toteuttamiseen vaihteissa, joissa ei tarvita jäähdytintä. Niitä on seitsemän eri kokoa ja niiden pumppujen tuottama tilavuusvirta on 8,4–34 l/min, 50 Hz:n käyttötaajuudella (Taulukko 1). (SEW-EURODRIVE, 2018, ss. 39–43)

Taulukko 1. ONP1-voiteluyksiköt (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 43).

Voiteluyksikkö	Pumppu
ONP1 06	6
ONP1 08	8
ONP1 10	10
ONP1 12	12
ONP1 16	16
ONP1 20	20
ONP1 25	25

3.5.2 OAC1 ja OAP1

OAC1 ja OAP1 ovat ilmajäähdytettyjä voiteluyksiköitä. Niiden kokovaihtoehdot ovat samoja, riippumatta siitä, onko voiteluyksikkö kiertojäähdytystä (OAC1), tai painevoitelua (OAP1) varten. (SEW-EURODRIVE, 2018, ss. 19–28)

Ilmajäähdytettyjä voiteluyksiköitä on kahdeksan eri mallia (Taulukko 2). Pumppuja ja jäähdyttimiä on molempia seitsemän, mutta 32-kokoinen pumppu muodostaa sarjaan kaksi eri vaihtoehtoa, sillä siihen on valittavana 420- tai 520-kokoinen jäähdytin. Ilmajäähdyttimillä

saavutettava jäähdytysteho on 4–40,4 kW, kun ilman lämpötila on 40 °C, öljyn lämpötila on 70 °C ja käytetään 50 Hz:n taajuutta. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 27)

Taulukko 2. Ilmajäähdytetyt voiteluyksiköt (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 27).

Voiteluyksikkö	Pumppu	Ilmajäähdytin
OAP1 06/120	6	120
OAP1 10/220	10	220
OAP1 16/320	16	320
OAP1 20/420	20	420
OAP1 32/420	32	
OAP1 32/520		
OAP1 50/710	50	710
OAP1 63/810	63	810

3.5.3 OWC1 ja OWP1

OWC1 ja OWP1 ovat vesijäähdytettyjä voiteluyksikköjä. Niiden kokovaihtoehdot ovat samoja, riippumatta siitä, onko voiteluyksikkö kiertojäähdytystä (OWC1), tai painevoitelua (OWP1) varten. (Yrityksen sisäinen tiedosto)

Vesijäähdytettyjä voiteluyksikköjä on yhdeksän eri kokovaihtoehtoa (Taulukko 3). Pumppuja sarjassa on kahdeksan, ja jäähdyttimiä neljä. Pumppukoko 50, voidaan yhdistää kahden eri kokoisen jäähdyttimen kanssa. Sarjassa käytetään samaa jäähdytintä monen eri pumpun kanssa. Esimerkiksi sarjan pienintä, 712-koon vesijäähdytintä käytetään neljän pienimmän pumpun kanssa. (Yrityksen sisäinen tiedosto)

Taulukko 3. Vesijäähdytetyt voiteluyksiköt (Yrityksen sisäinen tiedosto).

Voiteluyksikkö	Pumppu	Vesijäähdytin
OWP1 06/712	6	712
OWP1 08/712	8	
OWP1 12/712	12	
OWP1 16/712	16	
OWP1 20/718	20	718
OWP1 32/1012	32	1012
OWP1 50/1012	50	
OWP1 50/1024		
OWP1 80/1024	80	

4 Suunnittelu

Uusien voiteluysikköiden tulisi sopia M1N-vaihdesarjan 20–120-kokoisiin vaihteisiin. Sarjan pienin, 10-kokoinen vaihde suljettiin pois, sen harvinaisuuden, pienen koon ja siinä vakiona käytettävän kylpyvoitelun takia.

Erilliselle alustalle asennettuja voiteluysikköjä voidaan käyttää M1N-sarjassa, ilman merkittäviä muutoksia. Tämän takia, työn suunnitteluvaiheessa voidaan keskittyä pelkästään vaihteeseen kiinnitettäviin voiteluysikköihin. Voiteluysikön kiinnittäminen on mahdollista M1N-vaihdesarjan 40–100-kokoisiin vaihteisiin, joissa on vakioidut voiteluysikön kiinnitykseen tarkoitetut kierrereiät. (M. Kyöstilä, keskustelu, 6.11.2020)

M1N-sarjassa tarvitaan voiteluysikköä, kun vaihteen käyttöteho on suuri. Tämän takia. voiteluysiköltä vaaditaan painevoitelu ja jäähdytys. Siksi uuden voiteluysikkösarjan yksiköt, jotka eivät toteuta jäähdytystä tai painevoitelua, voidaan jättää huomioimatta. Silloin M1N-sarjaan tarvittavat voiteluysiköt, ovat seuraavat:

- ilmajäähdytetyt painevoiteluysiköt (OAP1)
- vesijäähdytetyt painevoiteluysiköt (OWP1).

Näiden voiteluysikköjen, eri kokovaihtoehtojen soveltuvuutta tulee arvioida M1N-sarjan vaihteisiin.

4.1 Uuden voiteluysikkösarjan soveltuvuus M1N-vaihdesarjaan

Työn alussa oli tarkoitus arvioida uuden voiteluysikkösarjan soveltuvuutta M1N-vaihdesarjaan. Merkittävät soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät ovat voiteluysikköjen tuottamien tilavuusvirtojen ja jäähdytystehojen suuruudet. Näitä arvoja tutkimalla voidaan esimerkiksi arvioida, tarvitseeko M1N-vaihdesarja eri kokoisia voiteluysikköjä, kuin X-vaihdesarja.

4.1.1 Öljytilavuuden ja virtauksen suhde

Yrityksessä käytetään nyrkkisääntöä, jonka mukaan vaihteen öljymäärän tulisi olla yli kaksi tai kolme kertaa suurempi, kuin voiteluysikön tuottama öljyn tilavuusvirta. Esimerkiksi, jos vaihteessa on 20 litraa öljyä, sen voiteluysikön tuottama tilavuusvirta ei saisi olla yli 10 litraa minuutissa. Käytännössä sääntö rajaa, kuinka suuri voiteluysikkö voidaan asentaa vaihteeseen.

Ohjeen tarkoituksena on varmistaa, että öljyllä olisi riittävästi rauhoittumisaikaa, jotta liukenemattomat epäpuhtaudet, kuten ilma ja vesi erottuisivat öljystä luonnollisesti (Kauranne ym., 2013, s. 410). Jos vaihde tarvitsee suuremman tilavuusvirran, voidaan öljytilavuutta suurentaa ulkoisella öljysäiliöllä.

Tähän sääntöön perustuvaa soveltuvuutta tarkasteltiin Excel taulukkolaskenta -ohjelmalla. Vaihteiden öljytilavuudet ja voiteluysikköjen pumppujen tuottamat tilavuusvirrat listattiin taulukkoihin. Öljytilavuuksina käytettiin katalogin ilmoittamia arvoja. Näistä vaihdekokoihin 40–120 on ilmoitettu painevoitelussa käytettävä öljymäärää. Vaihdekokojen 20 ja 30 arvot olivat roiskevoitelussa käytetyt öljymäärät, sillä näihin ei ole ilmoitettu painevoitelun öljymäärää. Näiden arvojen arvioitiin olevan riittävän tarkkoja kyseiseen tarkasteluun.

Voiteluysiköissä käytettävien pumppujen tuottamat tilavuusvirrat saatiin X-sarjan voiteluysikköjen katalogista, kun käyttötaajuus on 50 Hz. 60 Hz:n käyttötaajuudella toteutuvat arvot, tuli hakea yrityksen sisäisistä tiedostoista.

50- ja 60 Hz:n käyttötaajuuksille tehtiin omat taulukot. Taulukoiden avulla laskettiin jokaisen vaihde- ja pumppukokoyhdistelmän muodostamat suhdeluvut. Lasku suoritettiin jakamalla vaihteen öljytilavuus siihen verrattavalla öljyn tilavuusvirralla. Jos tulokseksi saatiin suurempi kuin kaksi, toteutui nyrkkisääntö. Säännön toteuttavat vaihde- ja pumppukokoyhdistelmät koottiin taulukkoihin (Liite 1).

Taulukoiden laatimisessa käytetyt vaihteiden öljytilavuudet ovat ohjeellisia, katalogissa ilmoitettuja arvoja. Todellisuudessa vaihteiden öljymäärä muuttuu hieman myös vaihteen välityksen mukaan. Lopullinen öljymäärä tarkistetaan vaihteen öljylasista tai tikusta. Näiden

syiden takia taulukko ei anna täsmällistä tulosta, sopiiko voiteluyksikkö vaihteeseen. Lopullinen arvio tulee tehdä yksittäisen vaihteen suunnitteluvaiheessa.

Taulukon tarkoituksena on antaa karkea käsitys eri vaihdekokoihin sopivista voiteluyksiköistä (Liite 1). Siitä voidaan todeta, että voiteluyksikkösarjan 63- ja 80-kokoisia pumppuja käyttävät voiteluyksiköt eivät sovellu edes M1N-sarjan suurimpiin vaihteisiin, jos lisääöljysäiliötä ei sallita. Toinen havainto on, että M1N-sarjan pienimpään painevoideltavaan, M1PSF20N-vaihteeseen ei löydy sopivia voiteluyksiköjä.

4.1.2 Jäähdytystehon riittävyys

Toinen näkökulma, jota pyrittiin tutkimaan, oli voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys. Yksinkertaisin tapa on olettaa, että kaikki vaihteessa muodostuva häviöteho, eli lämpö, poistetaan voiteluyksikön avulla. Todellisuudessa voiteluyksikön tarvitsee poistaa vähemmän lämpöä, koska vaihteen kotelo toimii jäähdyttimenä, lämmön johtumisen ansiosta (Björk ym., 2014, s. 350).

Tarkastelua varten tuli selvittää jokaisessa vaihdekoossa syntyvä suurin häviöteho, jota voidaan verrata voiteluyksiköiden jäähdytystehoihin. Häviötehon suuruus voidaan arvioida vaihteen käyttötehosta ja hyötysuhteesta. Vaihteen käyttöteho määräytyy nimellistehon ja käyttökertoimen mukaan.

Nimellisteho on M1N-vaihteiden katalogin arvojen perusteella suurin, kun vaihteen kierrosnopeus on suuri ja välityssuhde on pieni. 20–70-kokoisissa vaihteissa, voitiin käyttää suurinta ilmoitettua kierrosnopeutta, joka on 1 800 kierrosta minuutissa. Välityssuhteeksi valittiin yksi, sillä se on pienin välityssuhteen arvo M1N-vaihteissa. 80–120-kokoisille vaihteille täytyi valita suurin ilmoitettu tehon arvo, riippumatta kierrosnopeudesta tai välityksestä, sillä samojen lähtöarvojen tehoa, ei ollut saatavilla näissä vaihteissa. (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 27)

Laskelmassa käytettiin käyttökertoimen arvoa kaksi. Kahden käyttökerron tarkoittaa, että vaihteen käyttöteho on puolet sen nimellistehosta. Esimerkiksi jos vaihteen nimellisteho on 1 000 kW, voidaan vaihdetta käyttää maksimissaan 500 kW:n teholla, jos käyttökerron on kaksi.

Käyttötehon avulla voidaan arvioida häviötehon suuruutta. M1N-vaihteiden hyötysuhteen ohjearvo on noin 98,5 %, jolloin häviöteho on loput 1,5 % käyttötehosta (SEW-EURODRIVE, 2019, s. 15). Aikaisemmassa esimerkkitapauksessa, jossa käyttötehoksi saatiin 500 kW, olisi häviöteho 7,5 kW.

Vaihteiden arvioituja häviötehoja verrattiin eri voiteluyksiköiden jäähdytystehoihin. Tulokset kirjattiin taulukkoihin, joista voidaan lopuksi nähdä, onko jäähdytysteho riittävä (Liite 2). Taulukoista ilmeni, että hyvin pieniin M1N-vaihteisiin tarvitaan suuri jäähdytin ja suurille vaihteille ei löytynyt sopivaa jäähdytintä ollenkaan. Tämä johtuu osaksi siitä, että laskussa ei huomioida kotelon jäähdyttävää pinta-alaa. Toisaalta kotelon tuoma jäähdytys, ei yleensä ole kovin suuri. Suurin syy taulukon tulokseen on vaihteille annettu nimellisteho, johon on valittu jokaiselle vaihteelle suurin ilmoitettu arvo. Tällainen tilanne on todellisuudessa harvinainen, sillä usein suurilla tehoilla siirrytään suurempaan vaihdekokoon, mahdollisten ongelmien välttämiseksi.

Samanlaista vertailua kokeiltiin uudestaan, tavallisemmilla lähtöarvoilla. Suurimman vaihteen nimellistehon sijaan, valittiin vaihteen kierrosluku ja välityssuhde, joiden avulla saadaan nimellisteho. Kierrosluvuksi valittiin 1 500 kierrosta minuutissa, sillä tämä on oman kokemuksen mukaan yleisin. Välityssuhteeksi valittiin 3,55, koska tämä on karkeasti M1N-sarjan välityssuhdealueen puolivälissä ja on valittavissa kaikkiin vaihdekokoihin.

Pienemmän kierrosluvun ja suuremman välityksen ansiosta, nimellistehon sekä häviötehon arvot ovat jokaisessa vaihteessa pienempiä, kuin suurimpia arvoja käyttävässä taulukossa (Liite 2). Uusilla arvoilla, taulukoista löytyi pienille vaihteille sopivia voiteluyksikköjä, mutta suuremmille vaihteille ei löytynyt voiteluyksikköjä edelleenkään (Liite 3).

Taulukoista saadut tulokset herättivät epäilyksen, että käytetty menetelmä ei toimi soveltuvuuden arvioinnissa, sillä vaihteilla on erittäin laaja käyttöalue. Jokaisen vaihteen tarvitsemaa jäähdytystehoa on hyvin vaikeaa arvioida yksiselitteisesti. Taulukkoon voidaan valita lähes satunnaisesti lähtöarvot, joiden avulla voidaan vaikuttaa siihen, millaiset tulokset lopuksi saadaan.

Tulosten varmistamiseksi, laskelmat toistettiin huomioiden kotelon omat jäähdytysominaisuudet. Tähän käytetään vaihteen lämpötehon kaavaa, jolla huomioidaan

erilaiset vaihteen käyttöolosuhteet (Kaava 6). Kaavassa käytetään vaihteelle ilmoitettua määrätyn tilan lämpötehoa lähtöarvona, jota muokataan erilaisten kertoimien avulla, riippuen käyttöolosuhteista. Kertoimet, joista ei ollut varmaa tietoa, valittiin tavallisten olosuhteiden mukaan, jolloin kertoimena on yksi. Tiedossa olevat olosuhteet olivat voitelumenetelmä ja lämpötila. Painevoitelussa voitelukertoimeksi tulee 1,1 (Kuva 3). Ympäristön lämpötila valittiin vastaamaan ilmajäähdytettyjen voiteluyksikköjen jäähdytystehon mittauslämpötilaa, eli 40 °C:ta. Ympäristön lämpötilakerroin on tällöin 0,79 (Kuva 3). Näissä olosuhteissa vaihteen lämpöteho hyötyy painevoitelusta, mutta kärsii enemmän korkeamman lämpötilan takia. Lämpöteho on siis lopuksi alhaisempi, kuin katalogin ilmoittama lähtöarvo.

Vaihdetta passiivisesti jäähdyttävän lämpötehon ansiosta, voiteluyksikön jäähdytystarve pienenee. Tämä huomioidaan jäähdytettävän häviötehon kaavassa, jossa käyttötehosta vähennetään vaihteen oma lämpöteho, joka jaetaan kahdella (Kaava 5). Lämpötehon jako kahdella, toimii luultavasti eräänlaisena varmuutena, jolla huomioidaan se, että vaihteen kotelo on harvoin täysin puhdas.

Saadut häviötehot listattiin samanlaisiin taulukkoihin kuin luvun 4.1.2 alkuvaiheessa esitettiin (Liite 4 ja liite 5). Taulukoista nähdään voiteluyksikköjen jäähdytystehon riittävyys eri tilanteissa, kun huomioidaan vaihdekotelon jäähdytysominaisuudet. Yhteensopivia vaihte ja voiteluyksikköyhdistelmiä oli näissä taulukoissa enemmän, kuin taulukoissa, joissa kaikki häviöteho laskettiin voiteluyksikön jäähdyttämäksi (Liite 2 ja liite 3). Tämä oli odotettua, sillä tarvittu jäähdytysteho pienenee, kun vaihteen kotelo huomioidaan jäähdytystä edistävänä komponenttina.

Taulukoista ei kuitenkaan voida tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä uuden voiteluyksikkösarjan soveltuvuudesta M1N-sarjaan. Tämä johtuu vaihteiden laajasta käyttöalueesta ja vaihtelevista käyttöolosuhteista. Yhdelle vaihdekoolle voidaan valita satoja, ellei jopa tuhansia eri tilanteita, joissa vaihtuvat muun muassa käyttöteho, välityssuhde ja käyttöolosuhteet. Siksi ei ole olemassa yksiselitteistä rajaa, jossa voiteluyksikön jäähdytysteho olisi riittävä tietylle vaihdekoolle, vaan aina ilmenee poikkeuksia.

4.1.3 Vertailu aikaisempiin voiteluyksikköihin

Vaihteiden laajan käyttöalueen takia, uutta voiteluyksikkösarjaa päätettiin verrata aikaisempiin voiteluyksikköihin, yhteensopivuuden selvittämiseksi. Aikaisemmat voiteluyksiköt, tiedetään toimivan M1N-vaihdesarjassa. Jos uuden voiteluyksikkösarjan suoritusarvot eroavat aikaisempien yksiköiden arvoista, yhteensopivuus voi olla heikompi. Tämä voi esimerkiksi tarkoittaa, että öljytilavuutta joudutaan suurentamaan lisäöljysäiliöllä tai kehittämään täysin tapauskohtaisia ratkaisuja useammin. Nämä voivat lisätä kustannuksia ja suunnitteluun kuluva-aikaa.

Vertailua varten selvitettiin jokaiseen vaihdekokoon sopivat suurimmat voiteluyksiköt, molemmissa voiteluyksikkösarjoissa. Tähän käytettiin samaa menetelmää, kuin luvussa 4.1.1, jossa selvitettiin vaihteisiin sopivat suurimmat voiteluyksikkökoot, niiden tuottaman tilavuusvirran avulla. Tämän avulla voitiin verrata uuden ja aikaisemman sarjan mahdollistamia suurimpia jäähdytystehoja keskenään.

20-kokoiselle vaihteelle ei voitu tehdä vertailua, sillä siihen ei ollut sopivaa voiteluyksikköä uudessa voiteluyksikkösarjassa (Luku 4.1.1).

Vertailu tehtiin ilmajäähdytetyille voiteluyksiköille 50- sekä 60 Hz:n taajuuksilla. Samoin tehtiin myös vesijäähdytetyille yksiköille. Näin tehtiin, jotta vertailtavat voiteluyksiköt käyttäisivät aina samaa jäähdytysmenetelmää ja käyttötaajuutta.

Uusi voiteluyksikkösarja tuottaa vertailun mukaan, lähes joka tilanteessa, alhaisemman jäähdytystehon, kuin aikaisempi sarja. Erityisesti 60 Hz:n taajuudella, uudet ilmajäähdytetyt voiteluyksiköt tuottavat selkeästi heikomman jäähdytystehon, kuin aikaisemmat yksiköt. Muutama poikkeus ilmenee, kun käytetään vesijäähdytystä, jolloin uusien yksiköiden jäähdytysteho on suurempi, verrattuna aikaisempiin voiteluyksikköihin.

Tuloksista voidaan arvioida, että uusi voiteluyksikkösarja ei sovellu M1N-sarjaan yhtä hyvin kuin aikaisempi sarja. Erityisesti ilmajäähdytettynä uuden sarjan jäähdytystehot ovat selkeästi alhaisemmat. Konkreettisesti tämä voi näkyä vaihteen myyntivaiheessa, vaihteen ja voiteluyksikön mitoitusongelmina.

On kuitenkin huomattava, että voiteluyksikön tarkoitus ei aina ole saavuttaa suurinta mahdollista jäähdytystehoa. Sopivan jäähdytystehon suuruus määräytyy aina yksilöllisesti, vaihteen ominaisuuksien, käytön ja ympäristöolosuhteiden mukaan.

Vertailua tehdessä havaittiin myös, että molemmissa voiteluyksikkösarjoissa käytettävät pumpput ovat saman valmistajan, tai hyvin lähelle vastaavia pumppuja. Tämä heikentää vertailun luotettavuutta, sillä pumppujen tuottama tilavuusvirta ilmoitetaan aikaisemmassa sarjassa suuremmaksi, kuin uudessa sarjassa. Näin ei käytännössä pitäisi tapahtua, jos pumpput ja niiden kierrosnopeudet ovat samoja.

Pumppujen erot voivat vaikuttaa vertailussa saatuihin tuloksiin merkittävästi, sillä niiden tuottamaa öljyn tilavuusvirtaa käytettiin aluksi suurempien voiteluyksikköjen valinnassa. Erot aiheuttavat vertailussa muutamia rajatapauksia, joissa uudessa voiteluyksikkösarjassa voidaan käyttää suurempaa pumppua, kuin aikaisemmassa sarjassa. Tämä näkyy uuden sarjan etuna. Toisaalta aikaisemman sarjan suuremmat tilavuusvirrat voivat olla syynä niiden korkeammalle jäähdytysteholle, jos niitä on käytetty lähtöarvoina jäähdytystehon laskemisessa.

4.1.4 Voitelutarve

Painevoitelussa voiteluyksikkö vastaa voitelun toteutumisesta. Tämän takia, voiteluyksikön tuottaman öljyn tilavuusvirran on oltava riittävän suuri.

Eri vaihdekokojen vaatimat, öljyn tilavuusvirtojen suuruudet, haettiin yrityksen omasta M1N-vaihteiden konfiguraatio-ohjelmasta. Näitä arvoja verrattiin voiteluyksiköiden tuottamiin tilavuusvirtoihin 50- ja 60 Hz:n taajuuksilla. Jos tuotettu tilavuusvirta on suurempi kuin vaadittu tilavuusvirta, toteutuu voitelutarve. Voitelutarpeen toteuttavat vaihde- ja voiteluyksikköyhdistelmät listattiin taulukkoihin (Liite 6).

4.1.5 Yhteensopivuus

Monesta näkökulmasta tehtyjen tulosten kokoamiseksi, tehtiin yhteensopivuustaulukkoja. Niistä voidaan nähdä yhteensopivat voiteluyksikkö- ja vaihdekoot, kun huomioidaan voiteluyksikön tuottama öljyn tilavuusvirta.

Edellisissä luvuissa määriteltiin sekä ylä-, että alaraja voiteluyksikön tuottamalle öljyn tilavuusvirralle, joilla yhteensopivuus toteutuu. Yläraja on määritetty luvussa 4.1.1, niin että pumpun tuotto ei saa olla yli puolet vaihteen öljykapasiteetista (Liite 1). Alaraja on määritetty luvussa 4.1.4, vaihteen voiteluun tarvittavan öljyn tilavuusvirran avulla (Liite 6). Ylä- ja alarajan avulla voidaan hahmottaa voiteluyksiköiden ja vaihdekokojen välinen yhteensopivuusalue.

Ensimmäiset kaksi taulukkoa käsittelevät kaikkia sarjassa käytettäviä pumppukokoja, 50- ja 60 Hz:n taajuuksilla (Liite 7). Tämä taulukko on hyödyllinen esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa harkitaan uuden voiteluyksikkökoon lisäämistä tuotesarjaan.

Taulukkoa tarkennettiin niin, että siitä nähdään X-sarjassa olemassa olevien voiteluyksikköjen yhteensopivuus M1N-sarjaan. Tämä tapahtui poistamalla ylimääräiset pumppukoot, joita ei voiteluyksikkösarjassa ole käytössä. Se tehtiin erikseen ilma- ja vesijäähdytetyille yksiköille (Liite 8).

Näistä taulukoista nähdään esimerkiksi ongelmakohta, 40-kokoisessa vaihteessa (Liite 8). Ilmajäähdytettynä ja 60 Hz:n taajuudella, 40-kokoiseen vaihteeseen ei ole sopivaa voiteluyksikköä. Tämä johtuu siitä, että 50 Hz:n taajuudella soveltuvan 10-kokoisen pumpun öljyntuotto kasvaa liian suureksi, 60 Hz:n taajuudella. Pienempää pumppua ei ole saatavilla, sillä seuraavaksi pienemmän, 6-pumppukoon tuotto ei ole riittävä, voitelun toteuttamiseksi. Samanlainen ongelma huomataan myös, kun käytetään vesijäähdytystä samassa vaihdekoossa. Tässä ongelma sijoittuu pumppukokojen 8 ja 12 välille, 50 Hz:n käyttötaajuudella. 40-kokoisen vaihteen molemmissa ongelmakohdissa on yhteistä se, että niissä on yksi pumppukoko, joka on jätetty käyttämättä. Ongelma voidaan ratkaista, suunnittelemalla käyttämättömiin pumppukokoihin perustuvat voiteluyksiköt.

Suunnittelua varten tehtiin myös taulukko yhteensopivista voiteluyksiköistä, jotka sopivat M1N-vaihteisiin, käyttötaajuudesta riippumatta (Liite 9). Tämä helpottaa suunnittelutyötä, sillä se tarjoaa yleiskuvan sellaisista vaihde- ja voiteluysikköyhdistelmistä, jotka tulisi sopia toisiinsa.

4.2 Kiinnityksen hahmottelu

Erilaisia kiinnitystapoja hahmoteltiin Solidworks-ohjelmalla, käyttämällä painevoitellulla varustetun M1PSF40N-vaihteen ja siihen suurimman sopivan, OAP1-10/220-voiteluysikön mallia. Vaihteen ja voiteluysikön yhteensopivuus on perusteltu luvussa 4.1.1, kun vaihteeseen ei sallita lisäöljysäiliötä.

Hahmottelussa käytettävä vaihdekoko on pienin, johon voidaan kiinnittää voiteluysikkö. Tämä valittiin, koska komponenttien sijoittelu tulisi olemaan hankalampaa, mitä pienempi vaihde on. Silloin ongelmia esiintyy luultavasti enemmän ja siirtyminen suurempiin vaihdekokoihin olisi todennäköisesti helpompaa.

Voiteluysikön mallia ei muokattu millään tavalla, jotta hahmottelun teko olisi suoraviivaista. Voiteluysikön malli toimii silloin tilavarauksena. Voiteluysiköksi valittiin ilmajäähdytetty versio, sillä ilmajäähdytin tarvitsee huomattavasti suuremman tilan kuin vesijäähdytin. Mahdolliset ongelmat voidaan siten huomata paremmin. Vesijäähdytin asennetaan voiteluysikön kanssa samaan kokoonpanoon, sen pienemmän koon ansiosta.

Voiteluysikköön valittiin myös Duplex-suodatin, joka vaatii enemmän tilaa kuin tavallinen suodatin. Tässä suodattimessa on myös kahva, jonka käytettävyyttä tulee huomioida. Hahmotelluissa malleissa käytettyihin ratkaisuihin otettiin mallia niin M1N-, kuin X-sarjassa käytetyistä ratkaisuista.

Koska hahmottelussa käytetyt mallit ovat tehty vain yhtä vaihde- ja voiteluysikkökokoja käyttäen, on tarkastelussa oltava tarkkana eri vaihdekokojen eroavaisuuksista. Eroavaisuuksia on tarkasteltava myöhemmin tarkemmilla malleilla.

Voiteluysikön pumppu ja suodatin on kiinnitetty X-sarjassa samaan taustalevyyn, muodostaen kokoonpanon. Ilmajäähdytetyn yksikön muodostamiseksi lisätään toinen

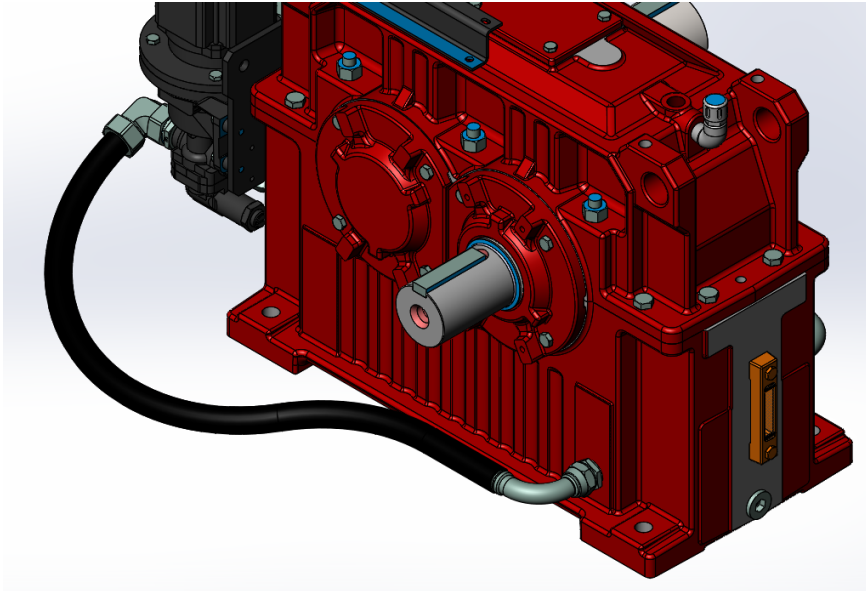
kokoonpano, joka sisältää jäähdyttimen, tuulettimen moottorin ja mittalaitteille tarkoitetun jakotukin. Näiden kokoonpanojen mahdollisia asennuspaikkoja kokeiltiin hahmotella. Samalla voitiin arvioida eri ratkaisujen tuomia hyötyjä ja haittoja.

4.2.1 Imuliitäntä

M1N-vaihteen kotelossa olevat Imu- ja paineliitännät sijaitsevat normaalisti vaihteen ensiöakselin puolella, 40–100-kokoisissa vaihteissa. Niitä varten, vaihteen molemmissa kyljessä on samanlaiset poraukset. Tämän takia imu- ja paineliitännät ovat toisiinsa nähden vastakkain. (Koteloiden valmistuskuvat)

Imuliitännässä käytetään tavallisesti pitkää letkua (Kuva 6). Sen pituus aiheuttaa virtausvastusta ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa kavitaation, putkessa syntyvän alipaineen seurauksena.

Kuva 6. Imuliitäntä.

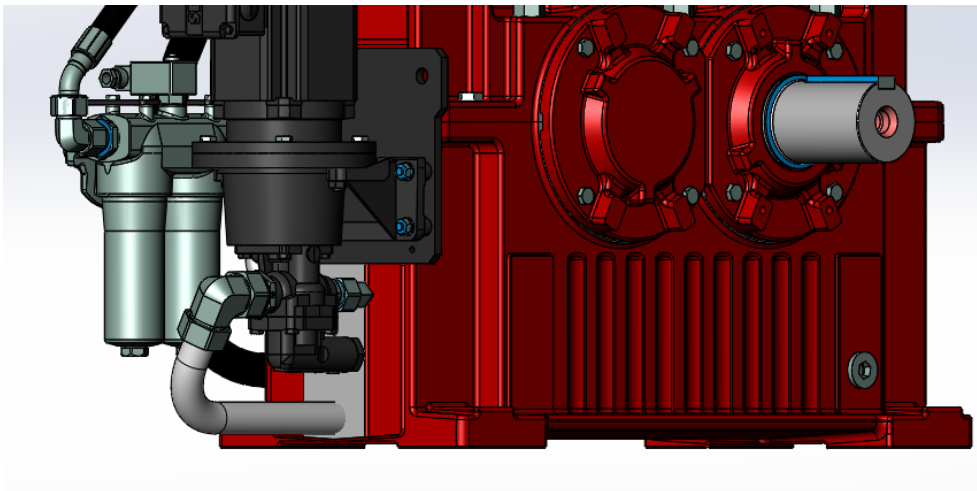


X-vaihteissa käytetty imuputki on lyhyt ja se on valmistettu putkesta, letkun sijasta. Molemmat piirteet vähentävät virtausvastusta ja auttavat käynnistystilanteissa, joissa öljyn viskositeetti voi olla suuri (Yrityksen sisäinen ohje).

Putken toteuttaminen vaatisi enemmän suunnittelua kuin letkun, sillä putken liitosten on osuttava tarkasti kohdalleen. X-vaihdesarjassa käytetyssä putkessa on vain yksi 90 asteen kulma, jonka ansiosta toteutus on kuitenkin mahdollisimman yksinkertainen. M1N-vaihteen liitoksessa, olisi mahdollista hyödyntää kotelossa olevaa öljynpoistoreikää. (Kuva 7)

Öljynpoistoreikiä on kotelossa yhteensä kaksi, yksi kummassakin päässä. Näin öljynpoisto olisi vielä mahdollista vaihteen toisesta päästä. Vaihteen kyljessä oleva imureikä voidaan tulpata (Kuva 7). (Koteloiden valmistuskuvat)

Kuva 7. Imuputki M1N-vaihteessa.



Suosituksena on, että öljyn imuliitääntä ei tehdä aivan öljysäiliön pohjan tasolle, jotta öljyssä olevat epäpuhtaudet jäisivät säiliöön (Kauranne ym., 2013, s. 413). Tämä on mahdollista toteuttaa, tekemällä uusi poraus imuliitääntä varten, joka olisi öljynpoistoreiän yläpuolella. Uuden porauksen tuomat hyödyt todettiin kuitenkin liian pieneksi, jotta sen toteuttaminen olisi kannattavaa.

Jotta voiteluyksikölle voidaan luvata korkea käynnistysviskositeetti, on imuputken suunnittelu tärkeää. Imuputken virtausvastuksen tulisi olla riittävän pieni, jotta imuputkeen ei synny liian suurta alipainetta, joka voi aiheuttaa kavitaatiota. (Yrityksen sisäinen ohje)

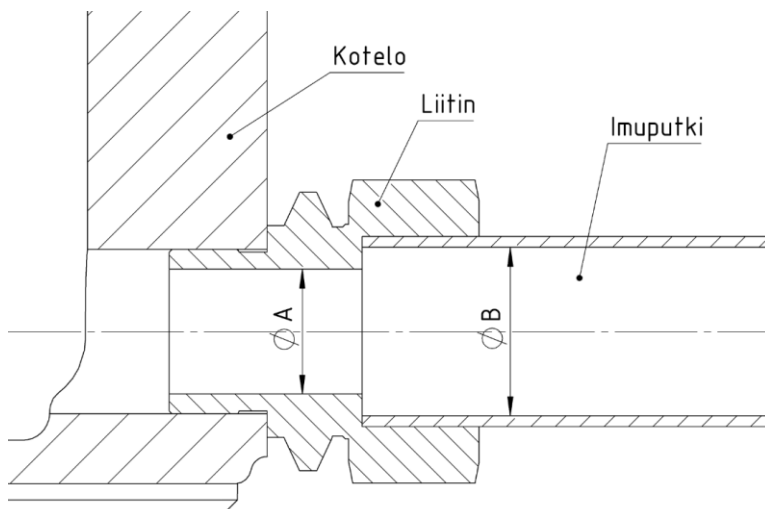
M1N-sarjassa on mahdollista käyttää imuputkia, joiden halkaisijat ovat samoja X-sarjassa käytettävien imuputkien kanssa. Imuputkien pituus voidaan myös pitää karkeasti samansuuruisena, jos voiteluyksikkö kiinnitetään samaan tapaan, kuin X-sarjassa. Näillä

ratkaisuilla voidaan välttää imuputken suunnitteluun vaadittua aikaa, sillä X-sarjassa käytettävät imuputket on suunniteltu toimimaan korkealla käynnistysviskositeetilla.

Voiteluyksikön imuputki liitetään vaihteen kotelossa olevaan öljynpoistoreikään. Tätä varten käytetään liittintä, jonka sisähalkaisija riippuu kotelossa olevan kierrereiän koosta. M1N-sarjan vaihteissa on G1-kokoinen kierre, joka tarkoittaa yhden tuuman putkikierrettä (Koteloiden valmistuskuvat).

Parhaassa tapauksessa liittimen sisähalkaisija A, olisi lähes yhtä suuri, kuin putken sisähalkaisija B, jolloin liittoksen aiheuttama virtausvastus olisi merkityksettömän pieni (Kuva 8). M1N-sarjassa olevan kierrekoon takia, liittimen sisähalkaisija on pienempi, kuin putken sisähalkaisija. Tämä voi aiheuttaa merkittävän virtausvastuksen.

Kuva 8. Imuliitännän leikkauskuva.



Liittimen virtausvastuksen aiheuttamaa painehäviötä on vaikea arvioida laskennallisesti. Tämä johtuu siitä että, liittimen kertavastuserrointa ei tiedetä. Kertavastuskertoimelle on olemassa ohjeellisia arvoja, mutta näissä ei oteta huomioon pinnankarheuksia ja pyöristystä, joita todellisuudessa on aina. Suoralle putkiliitokselle on annettu arvo 0,5. (Kauranne ym., 2013, s. 65)

Annetusta kertavastuskertoimen arvosta ei tiedetä, kuinka suuri on liitoksessa olevien halkaisijoiden ero. Suorassa putkiliitoksessa ei välttämättä tapahdu halkaisijoiden muutosta lainkaan ja siksi arvo ei luultavasti toimi tapauksessa, jossa halkaisijoiden ero on suuri.

Liitoksen aiheuttama kertavastuskerroin voidaan selvittää kokeellisesti (Kauranne ym., 2013, s. 65). Kokeet voidaan välttää, käyttämällä samoja ratkaisuja, kuin alkuperäisissä X-sarjan voiteluyksiköissä.

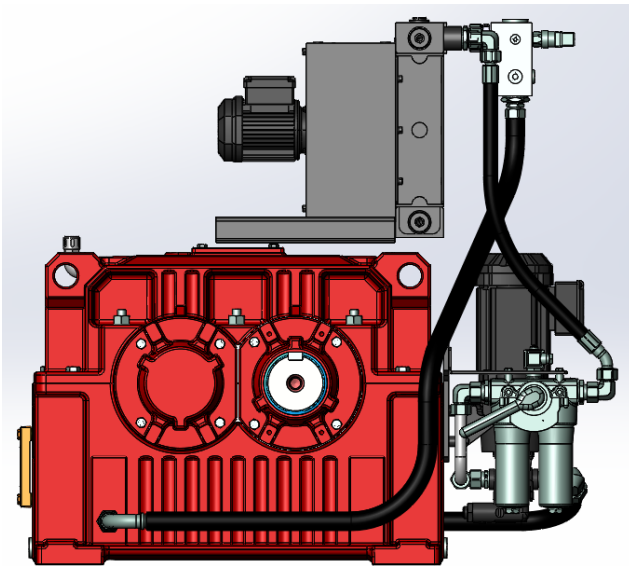
4.2.2 Paineliitântä

M1N-sarjan valmiita putkituksia pyritään käyttämään. Erityisesti vaihteen sisäiset painevoiteluputket olisivat työlästä suunnitella uudelleen. Tämä voidaan välttää, säilyttämällä tavallinen paineliitännän paikka ennallaan. Liitântä on normaalisti kotelon ensiöakselin puoliskolla, jossa on myös imuliitântä, paineliitännän vastakkaisella puolella. Vaihteen kotelo ei määritä imu- tai paineliitântään käytettävää puolta, sillä nämä ovat samanlaiset poraukset kotelon molemmilla puolilla (Koteloiden valmistuskuvat). Sisäinen putkitus määrittää, kumpi puoli on imua ja kumpi painetta varten. Puoli saattaa vaihdella vaihdekoon mukaan. Näiden syiden takia paineliitännän paikkaa ei päätetty muuttaa, mutta on syytä huomioida, että liitännän puoli saattaa vaihtua. Muilla asioilla, kuten voiteluyksikön ja jäähdyttimen paikalla, voidaan vaikuttaa paineletkun pituuteen ja reittiin.

4.2.3 Voiteluyksikön sijainti

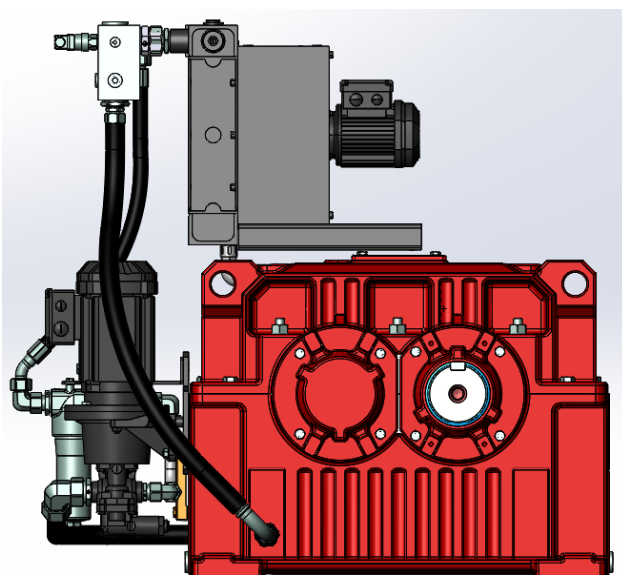
Voiteluyksikön asentaminen toisioakselin puolelle on M1N-sarjassa yleinen käytântö (Kuva 9). Tätä varten, painevoiteluun tarkoitetuissa koteloiden valmistuskuvat). Voiteluyksikön kiinnitys, tähän paikkaan, ei välttämättä vaadi uusia koneistuksia koteloon. Tämän paikan heikkoutena ovat pitkät imu- ja paineletkut, sillä kotelon öljyliitännät ovat vaihteen toisessa päässä (Kuva 9). Tilannetta voidaan imuliitännän osalta parantaa X-sarjan tyyllisellä putkella (Kuva 7).

Kuva 9. Voiteluyksikkö toisioakselin puolella.



Toinen vaihtoehto voiteluyksikön paikalle on ensiöakselin puoli (Kuva 10). Tässä tapauksessa imu- ja paineletkut ovat huomattavasti lyhyemmät, kuin toisioakselin puolelle kiinnitetyssä voiteluyksikössä (Kuva 9). Voiteluyksikön kiinnittäminen ensiöakselin puolelle, vaatisi uudet kierrereiät koteloon, sen kiinnittämistä varten. Tämä voidaan toteuttaa lisäämällä samanlaiset kierteet vaihteen ensiöpuolelle, kuin vaihteen toisiopuolella on jo valmiina. Yleensä vaihteen ensiöpuolella sijaitseva öljylasi, tulisi siirtää vaihteen toiselle puolelle, sillä voiteluyksikkö peittäisi sen (Kuva 10).

Kuva 10. Voiteluyksikkö ensiöakselin puolella.



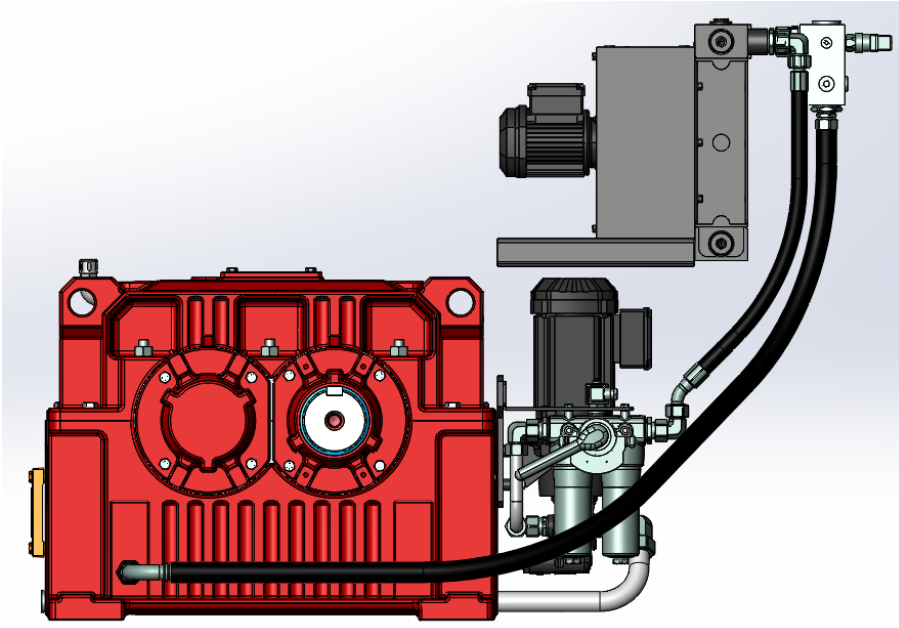
4.2.4 Ilmajäähdystimen sijainti

Ilmajäähdystin muodostaa oman kokoonpanon, joka on mahdollista sijoittaa eri paikkoihin. Tämän sijainnilla voidaan vaikuttaa paineletkun, sekä suodattimen ja jäähdystimen välisen letkun pituuteen. Virtausvastuksen pienentämiseksi, letkut olisi hyvä pitää mahdollisimman lyhyenä. Ilmajäähdystimen sijainnilla voi olla myös vaikutusta, kun vaihdetta nostetaan kotelon ylänurkissa olevista nostorei'istä.

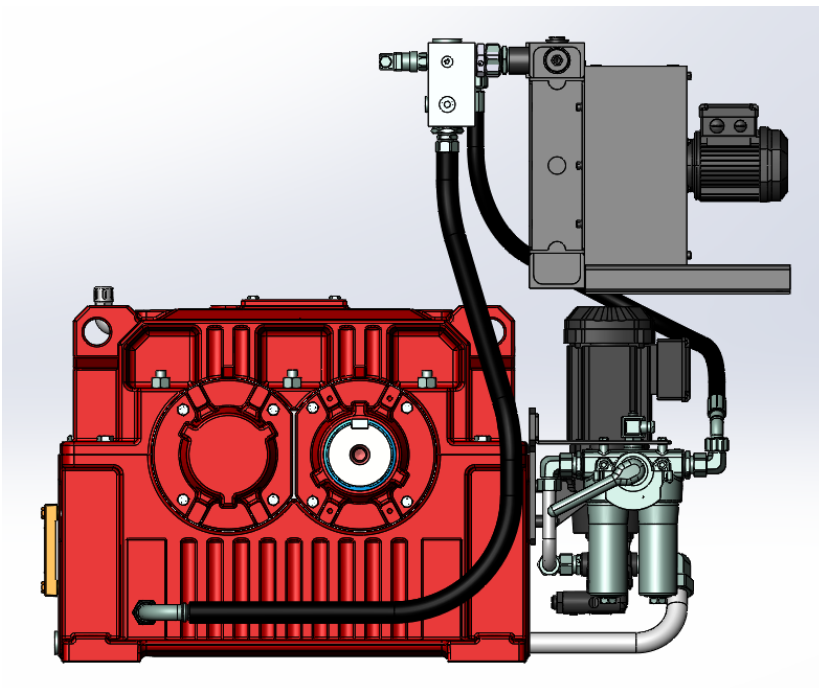
Aikaisemmissa kuvissa on esitetty ilmajäähdystin vaihteen päällä (Kuva 9 ja Kuva 10). Jäähdystin voidaan kiinnittää tähän tapaan, käyttämällä vaihteen päällä olevia kierrereikiä. Tätä varten tulisi suunnitella tukilevyt. Ratkaisun etuna on jäähdystimen kiinnityksen yksinkertaisuus. Haittana on vaihteen tarkistuskannen mahdollinen peittyminen. Lisäksi vaihteen nostotilanteessa jäähdystin voi olla nostolenkkien tiellä ja riskinä on jäähdystimen vaurioituminen tai jopa vaarallinen nostotilanne. Tätä on kuitenkin vaikea arvioida, sillä vaihteen ja jäähdystimen koot vaihtuvat.

Ilmajäähdystin on mahdollista asentaa voiteluyksikön päälle (Kuva 11). Tätä varten voiteluyksikön kiinnityslevyyn tulisi suunnitella hylly, jolle jäähdystin voidaan asentaa. Silloin koko voiteluyksikkö olisi yhdessä kokoonpanossa. Tällä voidaan vähentää tarvittavaa kokoonpanoa, jos koko voiteluyksikkö toimitettaisiin valmiina kokonaisuutena. Toisaalta suuremman kokoonpanon käsittely kokoonpanovaiheessa voi olla hankalampaa, kuin muutaman pienemmän. Haittana voi olla myös painopisteen suurempi muutos, jolla voi olla vaikutusta, kun vaihdetta nostetaan. Letkujen pituuteen voidaan tässä tapauksessa vaikuttaa hyvin paljon jäähdystimen asennolla (Kuva 11 ja Kuva 12).

Kuva 11. Ilmajäähdytin voiteluyksikön päällä.



Kuva 12. Ilmajäähdytin voiteluyksikön päällä, toisessa asennossa.



4.3 Voiteluyksikön adapteri

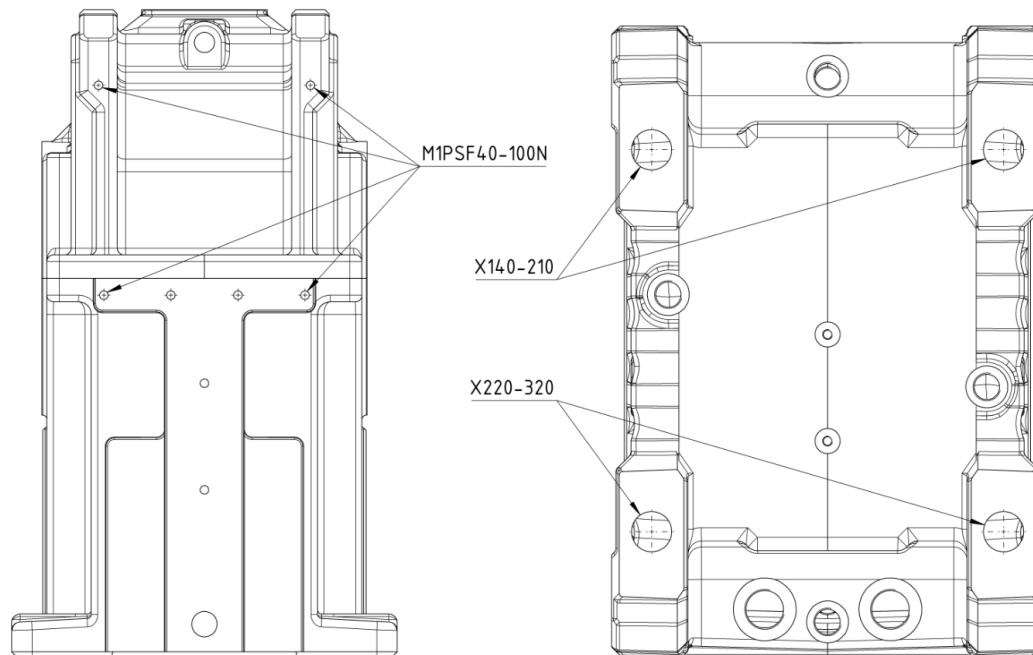
Voiteluyksikkö voidaan kiinnittää 40–100-kokoisiin M1N-vaihteisiin. 20- ja 30-kokoisiin vaihteisiin ei suunnitella kiinnitystä, sillä vaihteet ovat pienikokoisia ja niissä ei ole valmiita kierrereikiä, joihin yksikkö voitaisiin kiinnittää. (M. Kyöstilä, keskustelu, 6.11.2020)

110- ja 120-kokoisten vaihteiden kotelot suunnitellaan Karkkilan tehtaalla tapauskohtaisesti (M. Kyöstilä, keskustelu, 6.11.2020). Tämän takia koteloissa ei ole vakioituja kierrereikiä, voiteluyksikön kiinnittämistä varten. Siksi voiteluyksikköjen kiinnittämistä, ei käsitellä tässä työssä, näihin vaihdekokoisiin.

Hahmottelun perusteella (Luku 4.2) päätettiin jatkaa ratkaisulla, jossa voiteluyksikkö asennetaan vaihteen toisioakselin puolelle, missä on valmiit kierrereikiä kiinnitystä varten. Ilmajäähdyn todettiin yksinkertaisimmaksi asentaa vaihteen päälle tukilevyjen avulla. Voiteluyksikön imuliitäntä päätettiin toteuttaa X-sarjan tapaisella putkella, virtausvastuksen vähentämiseksi.

Yksinkertaisin ratkaisu voiteluyksikön kiinnittämiseen olisi sellainen, jossa alkuperäistä voiteluyksikköä muutetaan mahdollisimman vähän. Se tarkoittaisi sitä, että voiteluyksikön kiinnittämiseen käytettäisiin samoja voiteluyksikön reikiä, kuin X-vaihdesarjassa. X- ja M1N-vaihteiden kotelot eroavat toisistaan hyvin paljon, jonka takia tällaiseen ratkaisuun tarvitaan jonkinlainen adapterilevy (Kuva 13).

Kuva 13. Voiteluyksiköiden kiinnitys M1N- ja X-vaihteissa.



Adapterilevyjä tulee olla ainakin kaksi kappaletta, sillä X-sarjassa voiteluyksiköiden kiinnitykset on suunniteltu vain kullekin vaihdekoolle tarpeellisille voiteluyksiköille (Voiteluyksiköiden 3D-mallit). Tämän takia ei ole mahdollista valita yhtä X-sarjan vaihdekokoon sopivaa voiteluyksikkömallia, joka mahdollistaisi kaikki voiteluyksikkö-vaihtoehdot.

4.3.1 40–70-kokoiset M1N-vaihteet

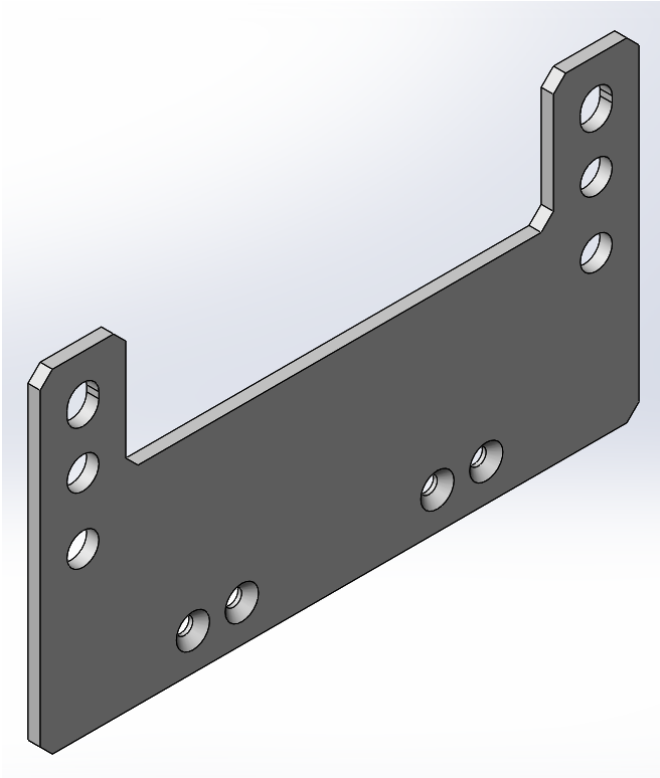
Ensimmäinen adapterilevy suunniteltiin M1N-sarjan 40–70-kokoisia vaihteita varten (Kuva 14). Siihen sopii X-vaihdesarjan X200- ja X210-vaihteisiin suunnitellut voiteluyksiköt. Tähän valittiin sellainen X-sarjan vaihdekoko, jolle on saatavilla pienin tarvittava voiteluyksikkökoko, ja joka riittää samalla mahdollisimman suureen M1N-vaihteeseen. X200–210-vaihteiden voiteluyksikkö on suurin, joka täyttää nämä vaatimukset, sillä siihen on saatavilla pienimmät, 8- ja 10-kokoiset yksiköt. Lisäksi sen suurimpien, 20-kokoisten voiteluyksikköjen avulla, se soveltuu 70-kokoiseen vaihteeseen asti. Suurin voiteluyksikkömalli valittiin, jotta sen taustalevy olisi riittävän leveä. Sillä voidaan välttää kiinnitysruuvien osuminen M1N-vaihteen koteloon.

Adapterilevy on 10 mm paksua teräslevyä, kuten myös voiteluyksikön taustalevy. Se kiinnitetään vaihteeseen kahdella M12-uppokantaruuvilla. Tätä varten levyssä on neljä reikää, jotka sopivat 40–70-kokoisten vaihteiden jakotason alapuolella oleviin kierrereikiin. Näistä sisemmät ovat 40- ja 50-kokoisia vaihteita varten. Uloimmat reiät sopivat 60- ja 70-kokoisiin vaihteisiin. Ruuvit ovat uppokantaruuveja, jotta voiteluyksikkö voidaan kiinnittää suoraan adapterilevyä vasten. Tällainen kiinnitys ei kuitenkaan ole mahdollista ilmajäähdytetyillä yksiköillä, koska niiden suodattimen liitännä ulottuu taustalevystä vaihteen puolelle. Tämän takia adapterilevyn ja voiteluyksikön väliin tarvitaan välilevyt, joilla voiteluyksikkö saadaan kauemmas vaihteen kotelosta (Kuva 15).

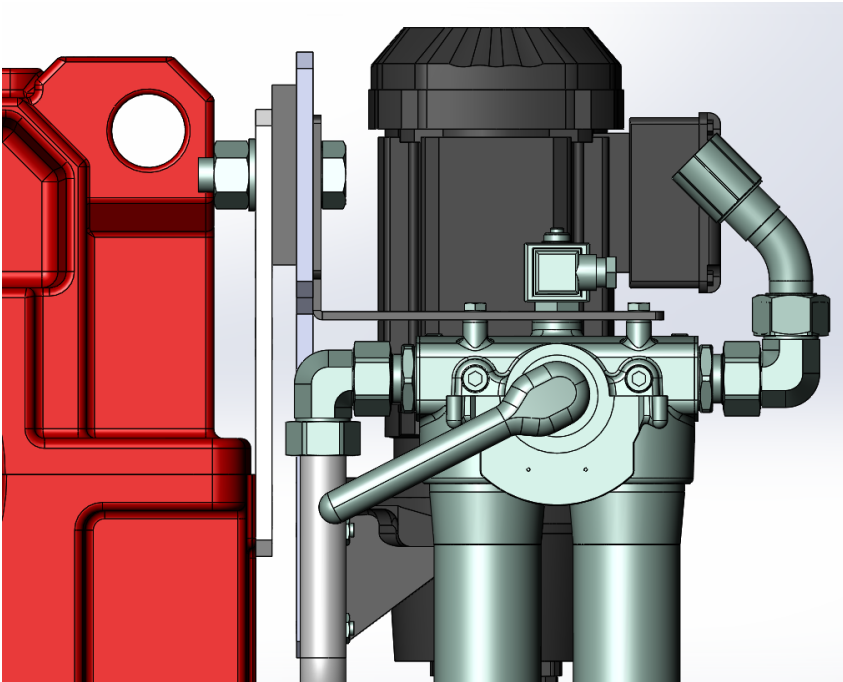
Voiteluyksikkö kiinnitetään adapterilevyyn M24-ruuveilla ja muttereilla, jota varten levyssä on neljä reikäparia. Neljän reikäparin avulla, voiteluyksikkö voidaan asentaa sopivalle korkeudelle jokaisessa vaihdekoossa. Ylimmät kaksi reikää yhdistettiin ovaalireiäksi, sillä ne olivat liian lähellä toisiaan. Näihin kiinnitetään voiteluyksikkö 40- ja 50-kokoisissa vaihteissa. Kahdet alempana olevat reikäparit 60- ja 70-kokoisia vaihteita varten.

Voiteluyksikön korkeutta pyritään hallitsemaan, jotta pumppu voitaisiin asettaa vaihteessa olevan öljynpinnan alapuolelle. Voiteluyksikköä ei voida kuitenkaan asettaa liian alas, sillä suodattimessa olevan suodatinpanoksen vaihtamista varten, on jätettävä riittävästi tilaa sen alapuolelle (Suodattimien mittakuvat). Tämä on huomioitava, sillä voiteluyksikön rakennetta ei ole tarkoitus muuttaa. Suodattimen tilantarpeen takia, voiteluyksiköiden asennuskorkeus täytyi mitoittaa niin, että pumppu on käytännössä aina öljynpinnan yläpuolella.

Kuva 14. Adapterilevy M1N-vaihdesarjan 40–70-kokoisille vaihteille.



Kuva 15. Ilmajäähdytetyn voiteluyksikön välilevyt.



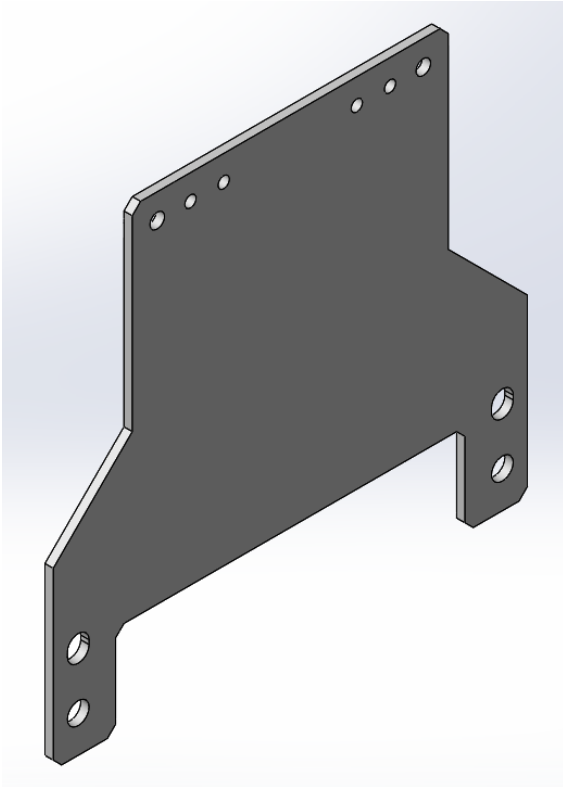
4.3.2 80–100-kokoiset M1N-vaihteet

M1N-sarjan 80–100-kokoisiin vaihteisiin sopiva adapterilevy (Kuva 16) noudattaa samoja periaatteita, kuin 40–70-kokoisiin vaihteisiin sopiva adapterilevy (Luku 4.3.1). Se kiinnitetään vaihteen jakotason alapuolella oleviin kierrereikiin, kahden ruuvien avulla. Tähän voidaan käyttää tavallisia kuusiokantaruuveja, sillä voiteluysikköä ei tarvitse asentaa näiden ruuvien päälle. Ruuveja varten, levyssä on jokaista vaihdekoko varten omat reiät. Sisemmät kaksi, M12-ruuveille sopivaa reikäparia ovat 80- ja 90-kokoisia vaihteita varten. Uloimmat reiät ovat 100-kokoisen vaihteen M16-ruuveja varten. M16-reikiä ei ole pakko käyttää, sillä 100-kokoisessa vaihteessa on M16-kierteiden lisäksi, samat M12-kierteet, kuin 90-kokoisessa vaihteessa (Koteloiden valmistuskuvat).

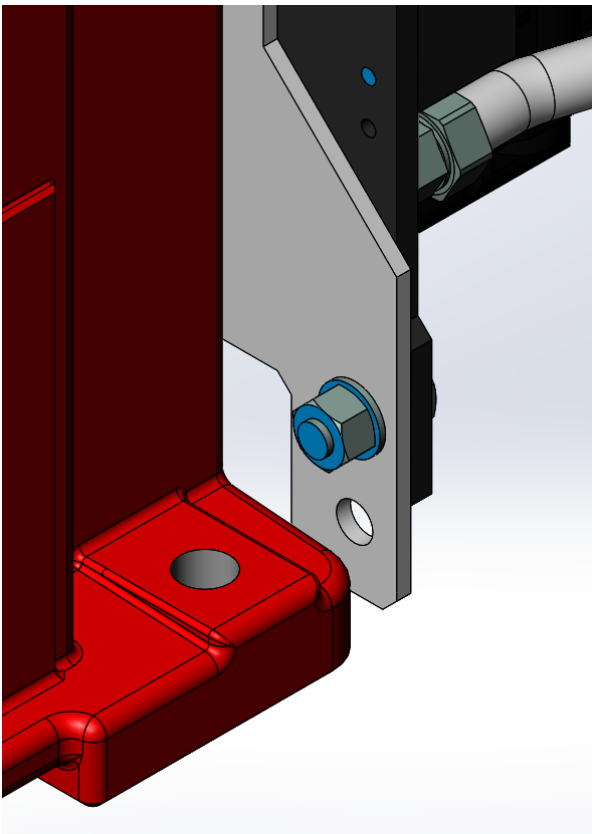
Yhteensopivuustaulukon (Liite 9) perusteella, 80–100-kokoisissa vaihteissa tarvitaan 16–50-pumppukokoihin perustuvia voiteluysikköjä. Tämän takia, näiden vaihteiden adapterilevyyn tulee sopia suurempia voiteluysikköjä, kuin 40–70-kokoisten vaihteiden adapterilevyssä. Voiteluysiköksi valittiin, X-sarjan X240–X250-vaihteiden 2F-, 3K-, 3T-, 3F-, 4K- ja 4T-konfiguraatioissa käytettäviin koteloihin sopiva yksikkö. Kyseisen voiteluysikön taustalevy on pienin, jonka kiinnitysreikien leveys on riittävä, kiinnityksen toteuttamiseksi. X220 ja sitä suurempien X-vaihteiden voiteluysiköt kiinnitetään vaihteen alareunassa oleviin reikiin (Kuva 13). Tämän takia, adapterilevyssä olevat voiteluysikön kiinnitykset ovat sen alareunassa. Siksi tarvitaan suuri adapterilevy (Kuva 16).

Rakenteessa on paljon ylimääräistä levymateriaalia päällekkäin. Jos voiteluysikön kiinnitysreiät olisivat yksikön yläreunassa, materiaalia tarvittaisiin huomattavasti vähemmän. Voiteluysikön kiinnitysruuvit voivat haitata vaihteen asennusta, sillä ne ovat lähellä vaihteen jalkaa (Kuva 17).

Kuva 16. Adapterilevy M1N-vaihdesarjan 80–100-kokoisille vaihteille.



Kuva 17. 80-kokoisen vaihteen jalka ja voiteluyksikön kiinnitys.



4.3.3 Adapterilevyjen parannukset

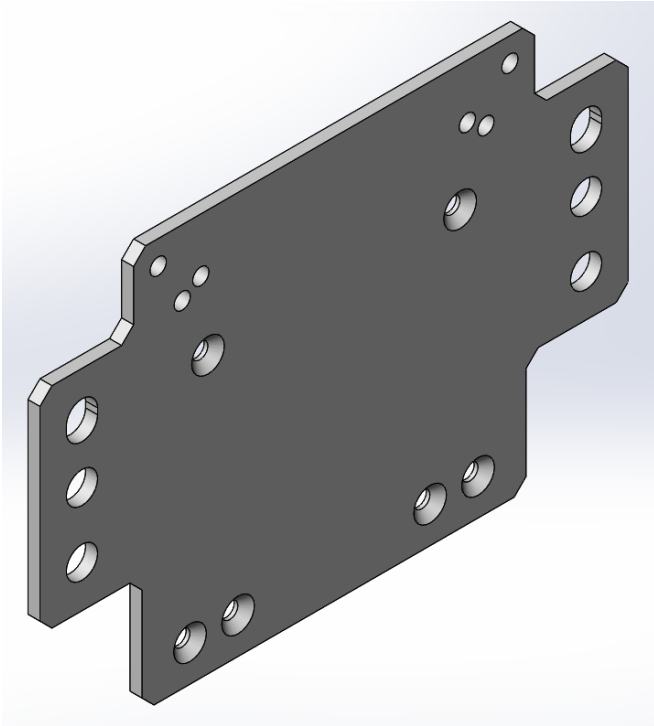
Adapterilevyihin haluttiin tehdä parannuksia. Epäily aiheutti, adapterilevyn kiinnitys vaihteeseen, vain kahdella M12-ruuvilla. Pelkästään kahden ruuvin takia, kiinnityksessä voi olla eräänlainen sarana, joka voi heilua vaihteen käydessä.

M1N-vaihdesarjan 40–70-kokoisten vaihteiden adapterilevyyn, lisättiin uudet reikäparit M12-ruuveille. Niiden ansiosta, adapterilevy on kiinnitetty vaihteeseen neljällä ruuvilla. Tähän hyödynnettiin M1N-vaihteiden koteloissa olevia kierrereikiä, jotka sijaitsevat vaihteen yläosassa (Kuva 13).

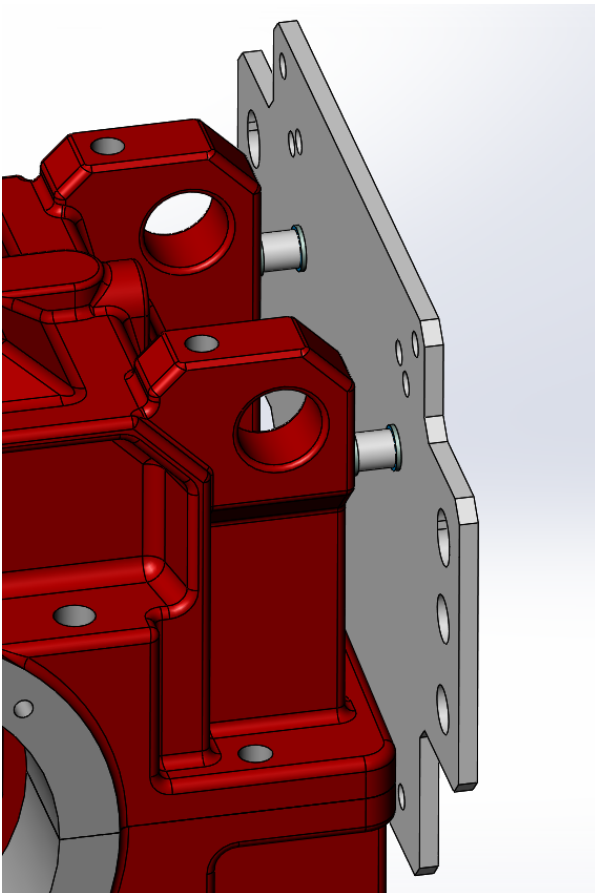
40-kokoiseen vaihteeseen sopivat reiät tuli tehdä uppokantaruuveille sopiviksi, sillä voiteluyksikön taustalevy peittää ne. 50–70-kokoisia vaihteita varten, voitiin käyttää tavallisia M12-ruuveja.

Uusien reikien kohdalla, vaihteen ja adapterilevyn välissä on rako, joka tulee täyttää jollain tavalla. Tätä varten, rakoon suunniteltiin teräsputkesta tehdyt holkit, joiden pätyihin laitetaan aluslevyt (Kuva 19). Aluslevyjen ansiosta, holkit voidaan valmistaa epätarkemmin, sillä päätypintojen laadulla ei ole suurta merkitystä. Holkkien pituutta muuttamalla, sama ratkaisu sopii myös muihin vaihdekokoihin, joissa vaihteen ja adapterilevyn välinen etäisyys on eri suuruinen (Koteloiden valmistuskuvat). Kotelon pinta, on kierrereikiä kohdalta koneistamaton, jonka takia pinnan sijainti ja kulma voi vaihdella hieman (Koteloiden valmistuskuvat). Siksi raon täyttävät osat, kannattaa pitää mahdollisimman yksinkertaisina, jotta niiden muuttaminen onnistuu tarvittaessa helposti.

Kuva 18. Paranneltu adapterilevy M1N-vaihdesarjan 40–70-kokoisille vaihteille.



Kuva 19. Adapterin holkit.

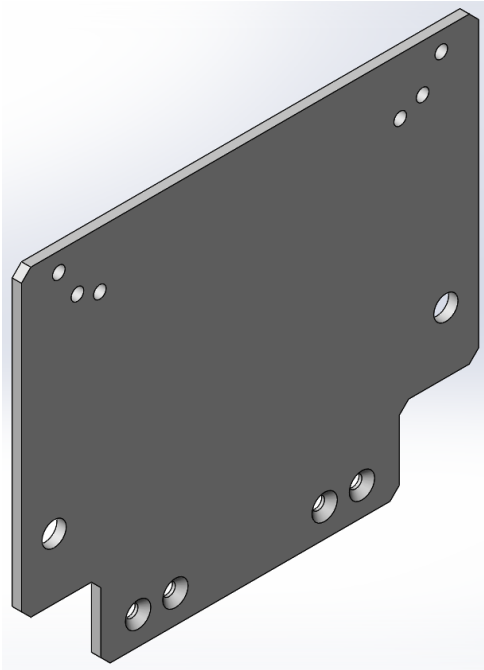


80–100-kokoisille vaihteille, tehtiin kokonaan uusi adapterilevy, niiden 16- ja 20-kokoisia voiteluyksikköjä varten (Kuva 20). Tällä muutoksella, voiteluyksikkömallit vaihdettiin samoiksi, mitä on suunniteltu käytettäväksi M1N-sarjan 40–70-kokoisissa vaihteissa. Silloin kyseessä on X-vaihdesarjan X200–210-kokoisten vaihteiden voiteluyksikkö. Tämän ansiosta käytettävien voiteluyksikkömallien määrä vähenee, koska ennen muutosta 16- ja 20-voiteluyksikkökokoja oli kahta eri mallia, joita oli tarkoitus vaihtaa riippuen vaihdekoosta.

Ylimääräisen voiteluyksikkömallin poistamisen lisäksi, muutoksesta on hyötyä rakenteellisesti. Tällä ratkaisulla voidaan käyttää samantapaista adapteria, kuin 40–70-kokoisissa vaihteissa, joiden adapterin kiinnityksessä käytetään neljää M12-ruuvia (Kuva 18 ja Kuva 19). Ratkaisu on huomattavasti yksinkertaisempi ja säästää materiaalia, sillä siinä ei tarvita suurta adapterilevyä, kuten aikaisemmassa ratkaisussa (Kuva 16).

Tämän ratkaisun heikkous on se, että voiteluyksikön asennuskorkeutta rajoittaa vaihteen jakotaso. Kun jakotaso osuu voiteluyksikön kiinnitysruuvien kohdalle, ei asennus ole enää mahdollista. Tämän takia adapterilevyssä on vain yksi mahdollinen asennuskorkeus, joka on nostettu normaalia korkeammalle, jakotason väistämiseksi. Tämän takia öljypumppu on reilusti öljyypinnan yläpuolella. Yhden asennuskorkeuden takia, ratkaisu tarvitsee myös lukumäärältään enemmän erimittaisia imuputkia, sillä pumpun korkeus verrattuna kotelon imuliitäntään, vaihtuu jokaisessa vaihdekoossa.

Kuva 20. 16- ja 20-kokoisten voiteluyksiköiden adapteri 80–100-kokoisille vaihteille.



M1N-sarjan 80–100-kokoisten vaihteiden suurimpiin voiteluyksikköihin ei voida toteuttaa vastaava ratkaisua, kuten niiden pienemmille yksiköille (Kuva 20). Tämä johtuu siitä, että X-vaihdesarjassa, 32- ja 50-yksikkökoot on suunniteltu pelkästään sellaisille vaihteille, joissa se kiinnitetään vaihteiden alaosassa oleviin reikiin (Kuva 13). Poikkeuksena on ilmajäähdytetty, 32-kokoinen voiteluyksikkö, joka on suunniteltu X200–210-vaihteisiin (Voiteluyksiköiden 3D-mallit). Tätä ei kuitenkaan käytetty, jotta ratkaisu olisi yhtenäinen ilma- ja vesijäähdytettyjen voiteluyksiköiden kannalta. Vaihteen alaosassa sijaitsevien kiinnitysten takia, täytyy käyttää suurta adapterilevyä (Kuva 16).

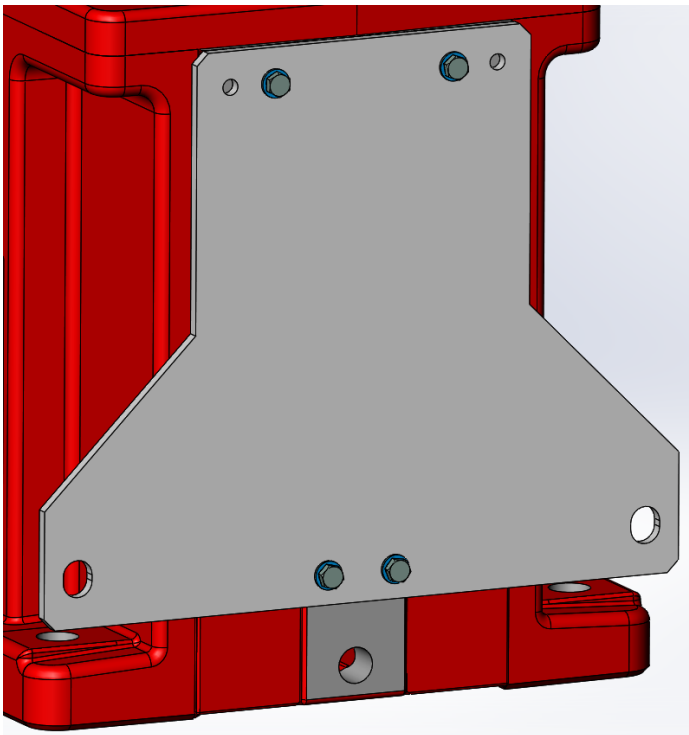
Suuren adapterilevyn (Kuva 16) kiinnityksen parantamiseksi, ei ole järkevää lisätä uusia M12-ruuveille sopivia reikiä vaihteen yläosaan (Kuva 18 ja Kuva 19), sillä adapterilevyä täytyisi suurentaa entisestään. Kiinnityspisteitä voidaan lisätä vaihteen alaosaan. Tätä varten koteloihin on tehtävä uusia kierrereikiä.

Kaksi uutta kierrereikiä suunniteltiin öljynpoistoreiän yläpuolelle (Kuva 21). Reiät sijaitsevat 70 mm öljynpoistoreiän yläpuolella ja ovat vaakasuunnassa 60 mm:n etäisyydellä toisistaan. Sijainti valittiin niin, että samat mitat toimivat kaikissa vaihdekoossa. Kyseinen sijainti mahdollistaa myös tavallisten kuusioruuvien käytön, sillä voiteluyksikön taustalevy ei peitä sitä (Kuva 22).

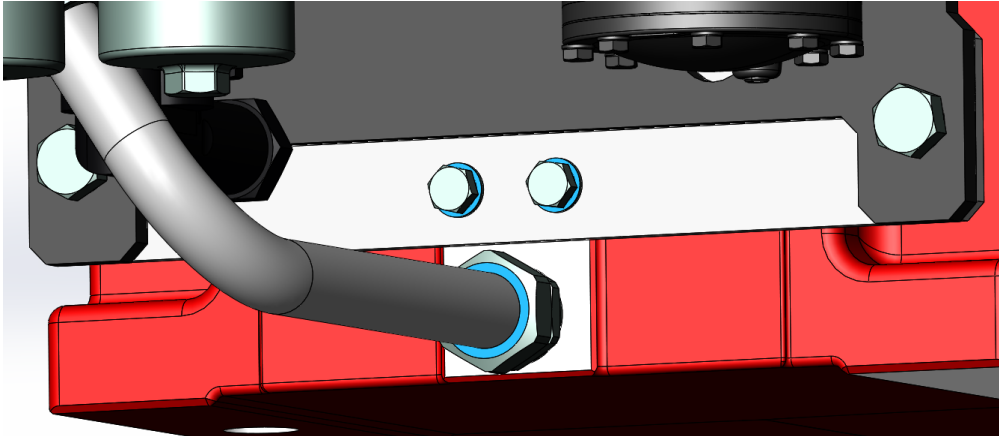
Uusien kierteiden alkureikä voi olla enintään 25 mm syvä, sillä koteloiden seinämävahvuus on noin 3–35 mm kyseisessä kohdassa. Silloin reikään voidaan tehdä noin 20 mm syvä kierre. Kierteiden koko valittiin jakotason alapuolella olevien kierrereikien mukaiseksi, jotta kotelon koneistuksessa ei tarvita uusia työkaluja. 80- ja 90-kokoisissa vaihteissa kierteet ovat M12-kokoiset (Koteloiden valmistuskuvat).

100-kokoiseen vaihteeseen tehtiin oma adapterilevy, sillä sen alapuolen kiinnityskohta, peittäisi 80- ja 90-kokoisten vaihteiden öljynpoistoreiän. Koteloon tehtävät poraukset suunniteltiin M16-kokoisiksi, jotta kaikki adapterilevyn kiinnitykseen käytettävät ruuvit olisivat samankokoisia.

Kuva 21. Suuren adapterilevyn kiinnitys.



Kuva 22. Uudet adapterilevyn kiinnityskohdat ja voiteluyksikön taustalevy.



4.4 Muokattu voiteluyksikkö

Adapterilevyjen avulla, X-vaihdesarjan voiteluyksiköt voidaan asentaa M1N-sarjan vaihteisiin. Niissä on kuitenkin heikkouksia, joita voidaan korjata muokkaamalla voiteluyksikköjä. Muokkaukset on pyrittävä pitämään pieninä, jotta yhtäläisyys alkuperäiseen säilyy.

4.4.1 Voiteluyksikköjen rakenne

Rakenteellisesti adapterilevyillä saavutettu ratkaisu on hyvä, 20-kokoisille ja sitä pienemmille voiteluyksiköille, sillä niissä käytettävät kiinnityspisteet, on sijoitettu taustalevyn yläosaan. Tämä soveltuu hyvin M1N-sarjaan, sillä vakioidut voiteluyksikön kiinnitykset, ovat niissä vaihteiden keski- ja yläosassa (Koteloiden valmistuskuvat).

32- ja 50-kokoisissa voiteluyksiköissä kiinnityspisteet ovat taustalevyn alaosassa. Tämä johtuu siitä, että niitä pumppukokoja ei ole suunniteltu X-vaihdesarjan pienempiin vaihteisiin, joissa kiinnitykset olisivat vaihteen yläosassa. Poikkeuksena on ilmajäähdytetty 32-kokoinen voiteluyksikkö, joka on suunniteltu pienemmille vaihteille. Tätä ei kuitenkaan käytetty adapterilevyjen kanssa, jotta sarja olisi ratkaisuiltaan yhtenäinen. Alhaalla olevien kiinnityspisteiden takia kyseisten voiteluyksiköiden kiinnitykseen tarvitaan suuri adapterilevy, joka ulottuu vaihteen jakotasosta lähes maahan asti (Kuva 21).

Ongelma voidaan ratkaista, suunnittelemalla 32- ja 50-kokoiset voiteluyksiköt sopimaan X200–210-vaihteissa käytettävien voiteluyksiköiden taustalevyihin. Silloin kaikki voiteluyksiköt perustuisivat samankokoiseen taustalevyyn ja suurta adapterilevyä ei tarvitsisi käyttää.

32-kokoinen, ilmajäähdytetty voiteluyksikkö on suunniteltu valmiiksi kyseiseen kokoon, X-sarjaa varten. Tämän ansiosta, 50-kokoinen voiteluyksikkö voidaan toteuttaa helposti, pelkästään pumppua vaihtamalla. Tämä on mahdollista taustalevyä muuttamatta, sillä 32- ja 50-kokoiset pumput ovat kiinnitysmoiltaan samanlaiset (Pumppujen mittakuvat).

Vesijäähdytettyjen 32- ja 50-kokoisten voiteluyksiköiden suunnittelu, X200–210-vaihteissa käytettävälle taustalevyille, tarkoittaisi käytännössä sitä, että niitä varten suunniteltaisiin uusi taustalevy, jonka päämitat vastaavat alkuperäistä. Uuteen taustalevyyn tehtäisiin pumpun kiinnitysreiät, 32- ja 50-kokoisille pumpuille. Tarvittaessa taustalevyä voidaan suurentaa, jos tila ei riitä suuremmille komponenteille.

Suurempien muutosten tekeminen voi mahdollistaa adapterilevyjen poistamisen kokonaan. Silloin voiteluyksikön taustalevyissä olisi niihin vaihdekokoihin sopivat kiinnitysreiät, joihin voiteluyksikkö olisi tarkoitus kiinnittää. Tämän toteuttaminen voi olla kuitenkin hyvin vaikeaa, M1N-vaihteiden kiinnitysreikien sijainnin takia. Kiinnitysreiät ovat vaihteen keskiosassa, jakotason alapuolella (Koteloiden valmistuskuvat). Samaan paikkaan tulisi muun muassa voiteluyksikön pumppu ja vesijäähdytin, jonka takia yksikön asentaminen voi olla vaikeaa tai mahdotonta (Voiteluyksiköiden 3D-mallit). Ratkaisu voi olla mahdollinen, jos komponentteja siirretään riittävästi. Silloin voiteluyksikön ulkomitat voivat suurentua. Ratkaisulla saavutettava hyöty voi olla liian pieni, jotta niin suuret muutokset olisivat kannattavia.

4.4.2 Käynnistysviskositeetti

Uudelle voiteluyksikkösarjalle luvataan X-vaihdesarjassa normaalia korkeampi käynnistysviskositeetti (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 19). Sen ansiosta voiteluyksikkö voidaan käynnistää entistä alhaisemmassa lämpötilassa. Korkea viskositeetti kasvattaa

virtausvastusta, mikä lisää kavitaation riskiä. Kavitaation välttämiseksi, imuputki tulee suunnitella niin, että siinä ei muodostu liian suurta virtausvastusta (Yrityksen sisäinen ohje).

Yksinkertaisin tapa varmistaa korkean käynnistysviskositeetin toteutuminen, on käyttää samanlaisia ratkaisuja, kuin X-vaihdesarjan voiteluyksiköissä. Tämä onnistuu imuputkilla, joiden halkaisijat ja muoto pidetään samanlaisena X-sarjan kanssa.

Adapterilevyjä hyödyntävässä ratkaisussa (Luku 4.3) on kaksi tekijää, jotka voivat vaikuttaa heikentävästi sen toimintaan, korkealla viskositeetilla. Nämä ovat imuliitännän koko ja pumpun asennuskorkeus.

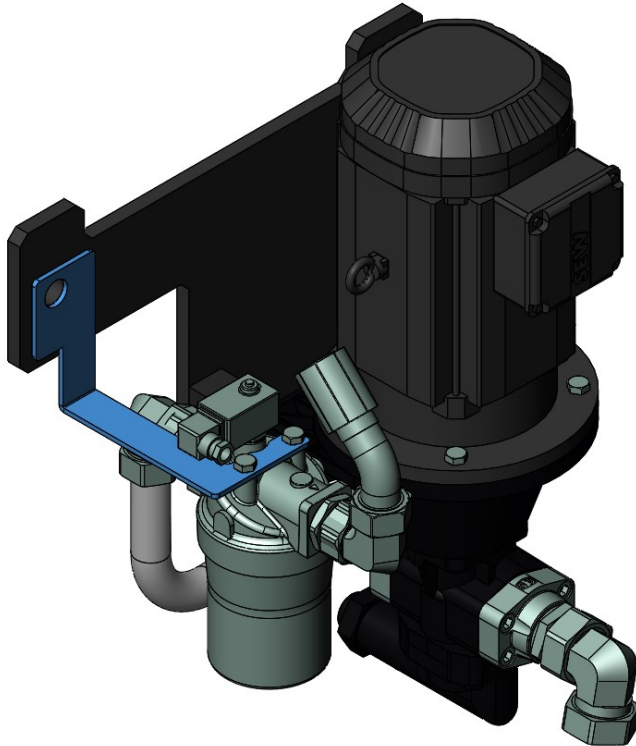
Imuliitäntään käytetään M1N-sarjassa vaihteen öljynpoistoreikää, jossa on G1-kokoinen putkikierre (Koteloiden valmistuskuvat). Poikkeuksena on 100-kokoinen vaihde, jonka öljynpoistoreiän kierre on G1-1/2 kokoinen (Koteloiden valmistuskuvat). Kierteeseen sopiva putkiliitin aiheuttaa imuliitäntään kuristuksen, sillä sen sisähalkaisija on pienempi, kuin imuputkessa. Kuristus voi aiheuttaa virtausvastusta, josta voi seurata kavitaatio, suurella viskositeetilla. Tämä voidaan välttää suurentamalla kotelossa olevaa porausta tai tekemällä uusi poraus imuliitäntää varten. Uusi poraus voidaan tehdä öljynpoistoreiän yläpuolelle. Tämän hyötynä olisi myös veden ja kulumispartikkeleiden jääminen kotelon pohjaan, sillä öljyn imu ei tapahtuisi kotelon pohjan tasolta (Kauranne ym., 2013, s. 413).

Voiteluyksiköiden adaptereita suunnitellessa, pumpun pyrittiin asentamaan vaihteen öljynpinnan alapuolelle. Tämä olisi eduksi korkealla käynnistysviskositeetilla, sillä öljyn hydrostaattinen paine vähentää pumpun imupuolella syntyvää alipainetta (Kauranne ym., 2013, ss. 416–417). Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista useimmissa tapauksissa. Pumpun asennuskorkeutta rajoittaa voiteluyksikön suodatin, jonka alapuolelle tarvitaan vapaata tilaa, suodatinpanoksen vaihtamista varten (Suodattimien mittakuvat).

Jos pumpun halutaan asentaa alemmas, on voiteluyksiköissä olevia suodattimia nostettava ylemmäs. Tämä voidaan toteuttaa pidentämällä pumpun ja suodattimen välistä putkea.

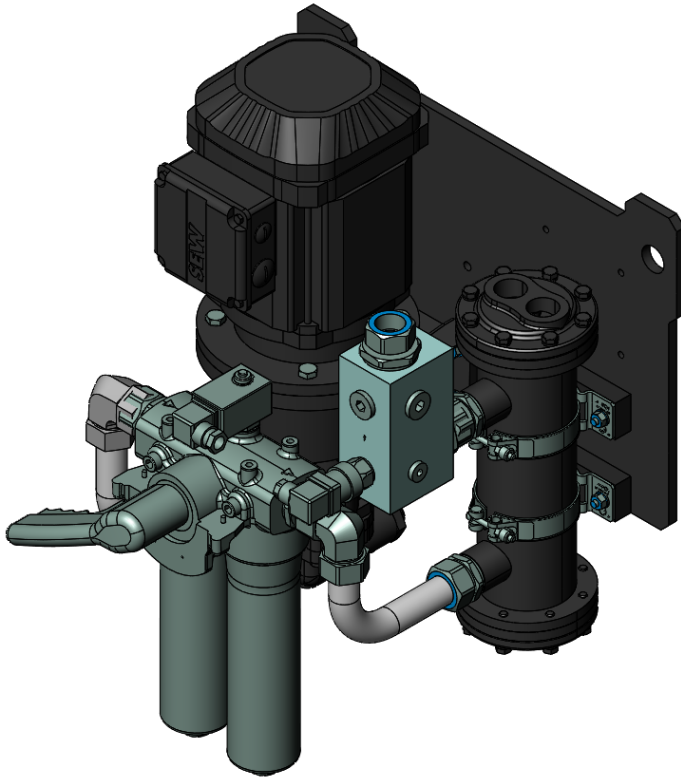
Ilmajäähdytetyissä yksiköissä, suodattimella on ohutlevystä valmistettu tuki, jota tulisi muuttaa suodattimen korkeuden muuttamiseksi. Suodattimen jälkeen, öljy kulkee ilmajäähdytimeen letkua pitkin, joka ei vaadi muutoksia. (Kuva 23)

Kuva 23. Suodattimen tuki.



Vesijäähdytteisissä voiteluyksiköissä, suodatin on kannatettu pelkästään sen kahdesta öljyliitoksesta, jotka ovat kiinteitä putkia (Kuva 24). Pumpun ja suodattimen välisen putken pidentämisen lisäksi, täytyy vesijäähdytintä siirtää, suodattimen mukana. Näin täytyy tehdä, jotta suodattimen liitos, ei törmää mittalaitteiden jakotukkiin (Kuva 24).

Kuva 24. Vesijäähdytetty voiteluyksikkö.

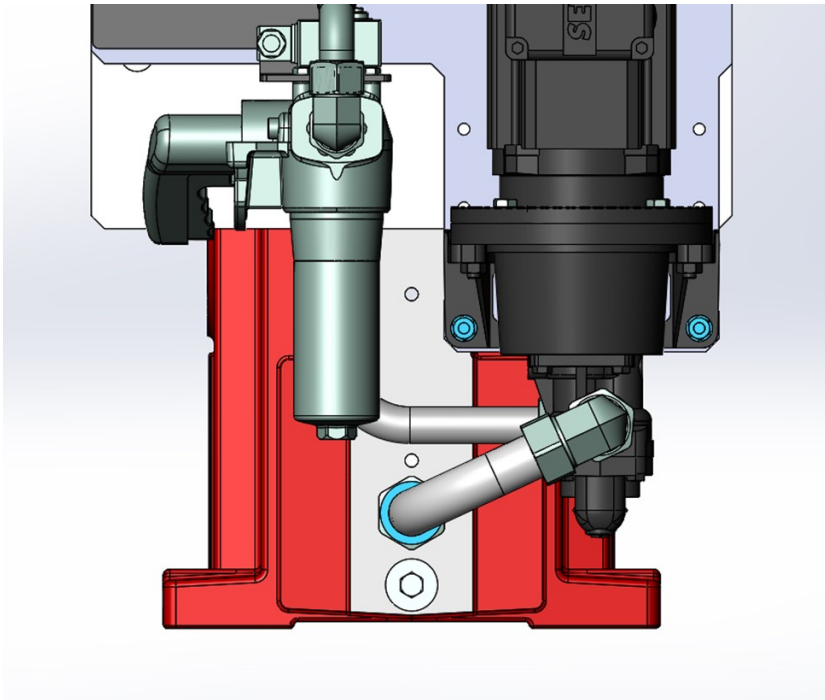


Kun suodattimia on nostettu ylemmäs, voiteluyksikköjä voidaan laskea alemmas, muokkaamalla voiteluyksikön tai adapterin kiinnityspisteiden sijaintia. Tällä tavalla, voiteluyksiköiden pumput voidaan asentaa vaihteiden öljynpinnan alapuolelle.

Jos päädytään tekemään uudet poraukset pumpun imuliitäntää varten ja laskemaan pumpun asennuskorkeutta, on huomattava imuputken merkittävä lyheneminen. Tämä voi olla haitaksi, sillä putken taivutukselle ja liitoksille on jätettävä riittävästi tilaa.

Kuvan tapauksessa (Kuva 25) on 40-kokoinen vaihde, johon on tehty suurempi poraus imuliitäntää varten. Siinä on myös ilmajäähdytetty voiteluyksikkö, joka on asennettu tavallista alemmas, jotta pumpun imuaukko olisi öljynpinnan alapuolella. Muokkauksien takia, imuputki on lyhyt, mutta kuitenkin riittävän pitkä taivutusta ja liitoksia varten (Kuva 25). Tilanne voi kuitenkin muuttua, sillä suurempaa putkea käytettäessä tarvitaan suurempi taivutussäde. Lisäksi pumpun sijainti vaihtuu, ilma- ja vesijäähdytetyissä yksiköissä.

Kuva 25. Uusi imuliitäntä ja matala pumpun asennus.



4.5 Ilmajäähdyttimen kiinnitys

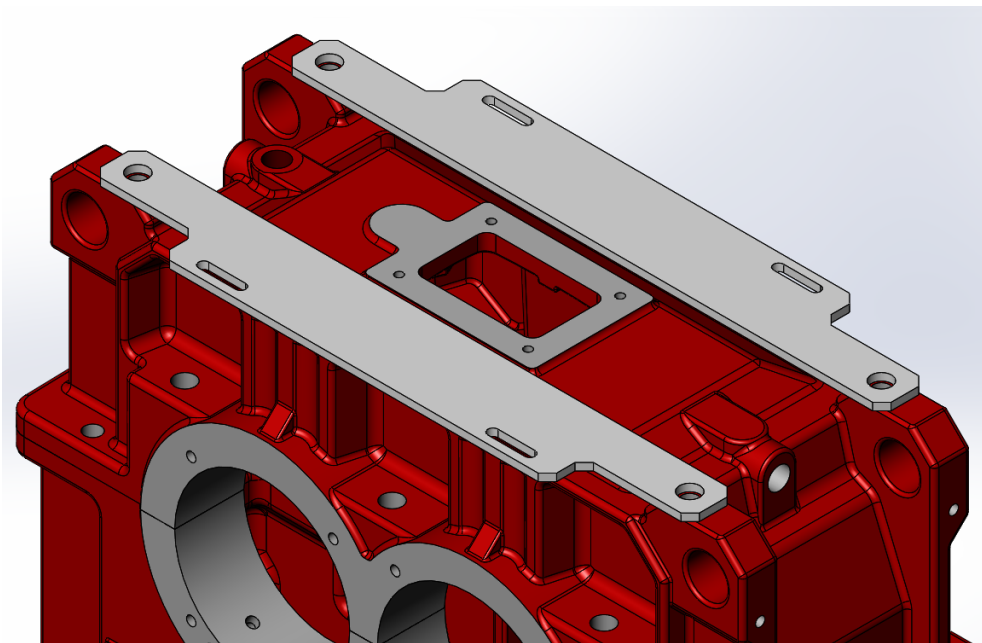
Ilmajäähdytetyt voiteluyksiköt toteutetaan yleensä erillisellä alustalla olevalla voiteluyksiköllä. Niiden asentamista vaihteeseen, vältetään ilmajäähdyttimien suuren koon takia. (M. Kyöstilä, keskustelu, 6.11.2020) Sen harvinaisuudesta huolimatta, ilmajäähdyttimen kiinnitystä haluttiin tarkastella. Yksinkertaisin ratkaisu on kiinnittää jäähdytin vaihteen päälle, jota varten haluttiin suunnitella ratkaisu.

Ilmajäähdyttimen kiinnittämisessä, voidaan hyödyntää vaihteen kotelon päällä, sijaitsevaa neljää kierrereikää. Nämä ovat M20-, M24- tai M30-kokoisia, riippuen vaihdekoosta (Koteloiden valmistuskuvat). Näihin reikiin voidaan kiinnittää tukilevyt, jotka mahdollistavat ilmajäähdyttimien kiinnittämisen.

Vaihteiden ja ilmajäähdytettyjen voiteluyksiköiden yhteensopivia yhdistelmiä on 18 kappaletta, kun vaihdekoko on 40–100 (Liite 9). Jos jokainen tukilevy suunnitellaan sopimaan vain yhteen vaihde- ja voiteluyksikköön, tarvitaan niitä enintään 14 kappaletta, sillä 16- ja 20-kokoisissa voiteluyksiköissä käytettävät jäähdyttimet, ovat kiinnitysmoiltaan samanlaisia (Ilmajäähdyttimien mittakuvat).

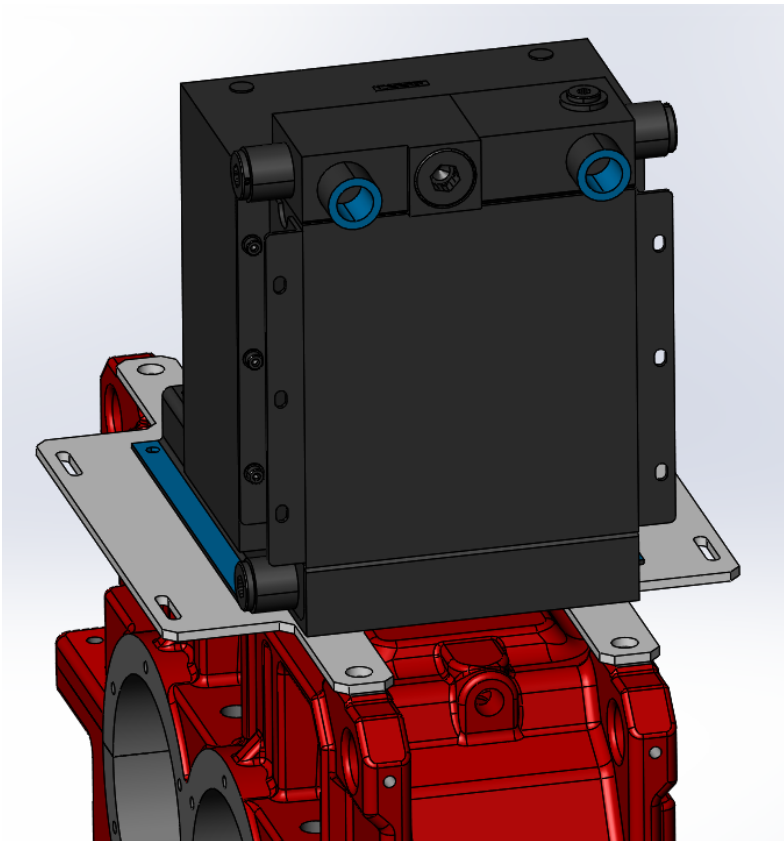
Tällainen ratkaisu suunniteltiin 40-kokoiseen vaihteeseen (Kuva 26). Ratkaisussa käytetään kahta samanlaista tukilevyä, jotka sopivat 40-kokoiseen vaihteeseen. Tukilevyt on suunniteltu OAP1 10/220-voiteluyksikköä varten, jolloin niihin voidaan kiinnittää 220-kokoinen ilmajäähdytin. Nämä tukilevyt ovat ainoat, jotka tarvittaisiin 40-kokoiseen vaihteeseen, sillä muut ilmajäähdytetyt voiteluyksiköt eivät sovellu siihen (Liite 9). Tukilevyissä on ovaalireiät, jäähdyttimen M10-ruuveja varten. Näiden ansiosta jäähdyttimen asennuskohtaa voidaan muuttaa tarvittaessa. Tämän mahdollistaa myös se, että jäähdyttimen öljyliitokset tehdään letkuilla.

Kuva 26. Ilmajäähdyttimen tukilevyt 40-kokoiselle vaihteelle.



Jos erilaisten tukilevyjen lukumäärää halutaan vähentää, niihin täytyy suunnitella kiinnitys useaan vaihteeseen tai jäähdytimeen. Jos tukilevyt suunnitellaan vaihdekohtaisiksi, niissä täytyisi olla kiinnitykset kaikkiin vaihteen tarvitsemiin jäähdyttimiin. Usein yhteen vaihdekokoon sopii kolme erikokoista jäähdytintä. Esimerkiksi, vaihdekokoon 60, sopii 10-, 16- ja 20-kokoiset voiteluyksiköt (Liite 9). Tämä tarkoittaa, että jäähdytin voi olla 220-, 320- tai 420-kokoinen. Silloin tukilevyjen tarvitsee olla riittävän leveitä, jostaista jäähdytintä varten. Tämän heikkoutena on tukilevyjen käyttämä turha tila, jos käytetään pienintä jäähdytintä. Tämä huomattiin, kun tukilevyjä suunniteltiin 50-kokoiseen vaihteeseen (Kuva 27).

Kuva 27. 220-kokoinen ilmajäähdytin, 50-kokoisessa vaihteessa.



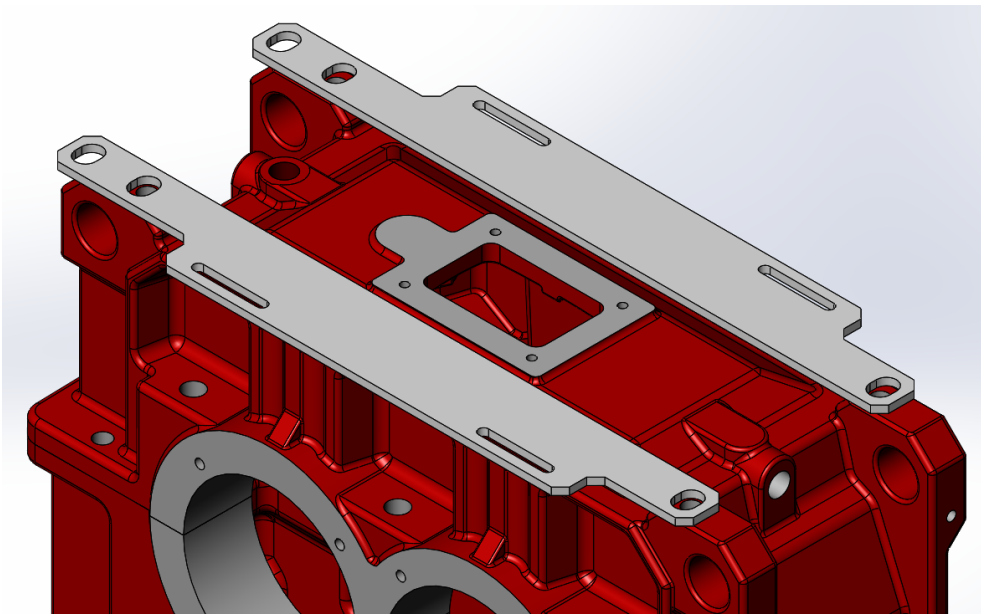
Toinen vaihtoehto on suunnitella tukilevyt jäähdytinkohtaisiksi. Silloin tukilevyjen ei tarvitse olla tarpeettoman leveitä. Ratkaisun heikkoutena on se, että saman tukilevyn täytyisi sopia jopa viiteen erikokoiseen vaihteeseen (Liite 9). Silloin tukilevyjen täytyisi olla pitkiä, verrattuna pienimpään sopivaan vaihteeseen. Lisäksi vaihteen päällä olevien kierrereikien koko vaihtuu vaihdekoon mukaan, mikä tekee kyseisen ratkaisun hankalaksi.

Tukilevyjen ylimääräinen pituus ja kierrekokojen vaihtuminen voidaan välttää, valitsemalla tukilevyille sopivat vaihteet ja jäähdyttimet niin, etteivät niissä käytettävät kierrekoot vaihdu. Silloin kuhunkin tukilevyyn tulisi kiinnitykset kahteen tai kolmeen eri vaihdekokoon. Tämän ansiosta tarvittavia tukilevyjä olisi seitsemän kappaletta, eli lukumäärä puolittuisi.

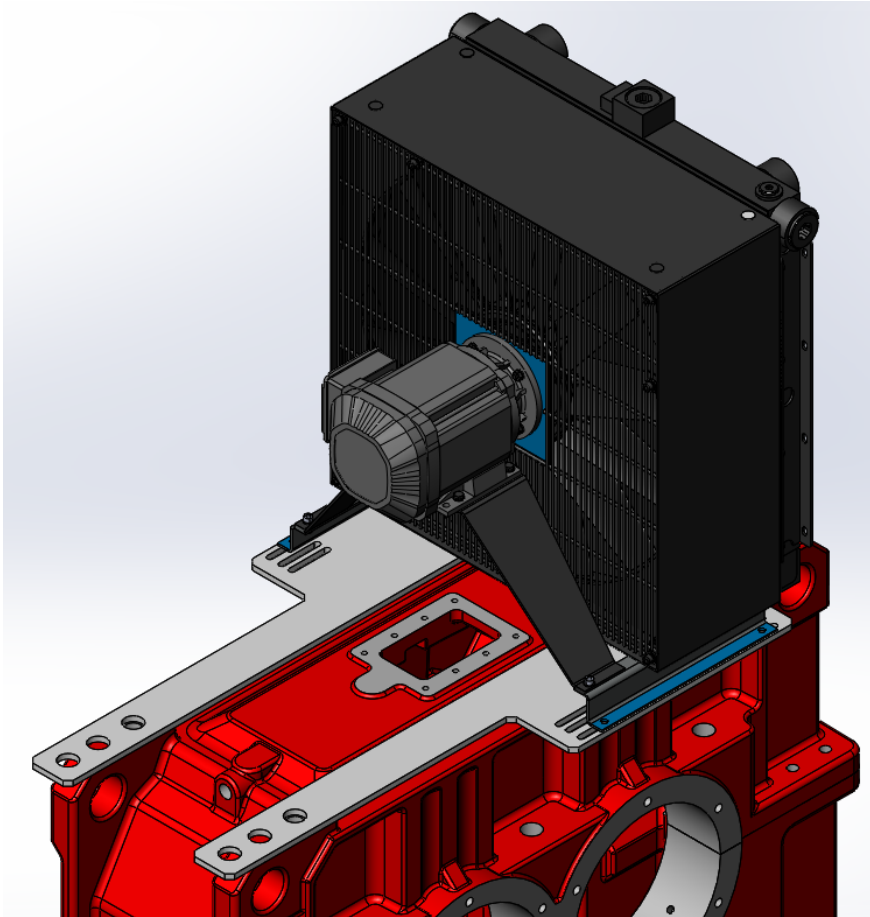
Tällaiset tukilevyt suunniteltiin 40- ja 50-kokoisiin vaihteisiin, joihin molempiin sopii 220-kokoinen jäähdytin (Kuva 28). Ne ovat pääpiirteiltään hyvin samanlaisia aikaisemman, vain 40-kokoiseen vaihteeseen sopivien levyjen kanssa (Kuva 26). Uudet tukilevyt ovat pidemmät ja niihin on lisätty kolmas M20-ruuville sopiva reikä, jota käytetään 50-kokoiseen vaihteeseen kiinnittämisessä (Kuva 28).

Vaihteiden kotelot ovat leveydeltään erimittaisia, jonka takia tukilevyjen kiinnitysreiät tehtiin lyhyiksi ovaaleiksi (Kuva 28). Tämän avulla tukilevyjen välistä etäisyyttä voidaan muuttaa, eri vaihekokoja varten. Toinen tapa mahdollistaa asennus kahteen eri levyiseen vaihteeseen, on tehdä useat kiinnitysreiät jäähdytintä varten. Tämä onnistuu vain, jos vaihteiden leveyden ero on tarpeeksi suuri, jotta ovaalireikien väliin jää riittävästi materiaalia. Tämä toteutuu esimerkiksi 80- ja 100-kokoisiin vaihteisiin sopivassa tukilevyssä (Kuva 29). Näissä tukilevyissä on kiinnitykset, kolmeen eri kokoiseen vaihteeseen. Se voidaan nähdä käyttämättömistä rei'istä, tukilevyjen päissä. Jos ylimääräisiä reikiä halutaan välttää, voidaan 100-kokoiseen vaihteeseen tehdä omat tukilevyt, jonka ansiosta tukilevyt olisivat 80- ja 90-kokoisissa vaihteissa lyhyemmät ja käyttämättömiä reikiä jäisi vähemmän.

Kuva 28. Ilmajäähdyttimen tukilevyt 40- ja 50-kokoisille vaihteille.



Kuva 29. 520-kokoinen ilmajäähdytin, 80-kokoisessa vaihteessa.



Ratkaisun harvinaisuuden takia, kaikkia tukilevyjen kokoja ei tarkasteltu. Sen takia lopullista ratkaisua tehdessä, on oltava tarkkana ja muuttaa sitä tarvittaessa. Erityisesti vaihteissa, joissa käytetään pientä jäähdytintä, on huomattava, että vaihteen päällä oleva tarkistuskansi voi peittyä tai jäähdyttimen ruuvit osua vaihteen koteloon.

4.6 Alihankittavat kokonaisuudet

Työn ohessa oli tarkoitus selvittää, millaisina kokonaisuuksina uudet voiteluyksiköt voitaisiin alihankkia. Tätä varten hyödynnettiin työtä tehdessä kerääntynyttä kokemusta, uudesta voiteluyksikkösarjasta.

Voiteluyksikkö voidaan kiinnittää vaihteeseen tai erilliselle alustalle (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 10). Vaihteesta erilliset voiteluyksiköt soveltuvat sellaisenaan alihankittaviksi, koska ne ovat selkeästi rajattuja kokonaisuuksia. Vaihteeseen kiinnitettävät yksiköt, eivät muodosta

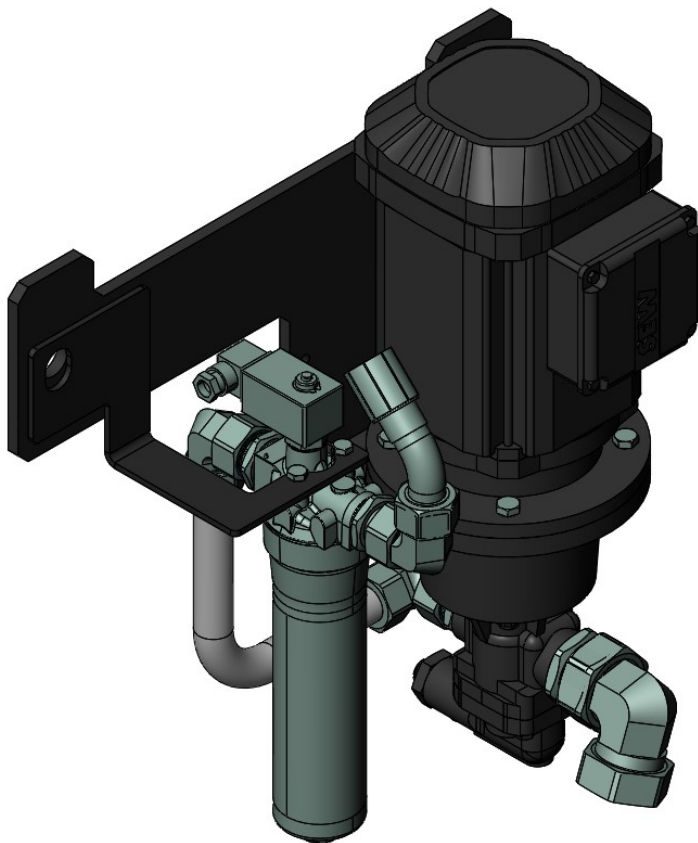
selkeitä, vaihteesta erillisiä kokonaisuuksia. Siksi niiden sisältö tuli rajata alihankittaviksi kokonaisuuksiksi.

Ilmajäähdytetyissä voiteluysiköissä on kaksi helposti rajattavaa kokonaisuutta. Ne ovat voiteluysikkö (Kuva 30) ja jäähdytin (Kuva 31). Kokonaisuudet muodostuvat helposti, sillä voiteluysikkö ja jäähdytin kytketään toisiinsa letkuilla ja ovat sijoitettu erossa toisistaan. Ilmajäähdytin on erillään muusta voiteluysiköstä, sen suuren koon takia.

Ilmajäähdytetty voiteluysikkö (Kuva 30) koostuu

- pumpusta ja sen moottorista
- öljynsuodattimesta
- komponenttien välisistä kiinnikkeistä
- pumpun ja suodattimen välisestä putkesta ja liittimistä.

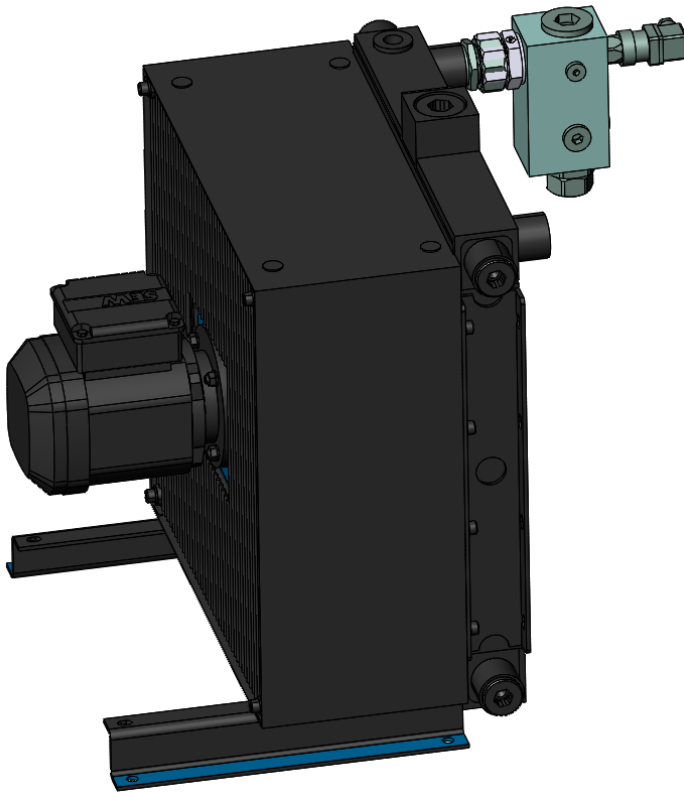
Kuva 30. Ilmajäähdytetty voiteluysikkö.



Ilmajäähdyttimen kokonaisuus (Kuva 31) sisältää

- ilmajäähdyttimen
- tuuletinta pyörittävän moottorin
- mittalaitteiden jakotukin ja siihen kiinnitettävät mittalaitteet.

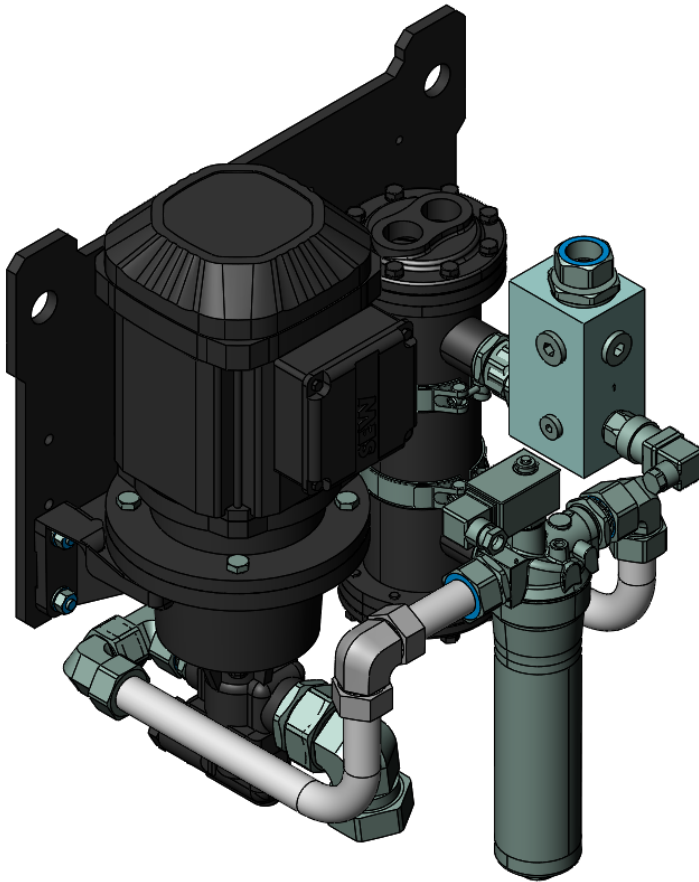
Kuva 31. Ilmajäähdytin.



Vesijäähdytetyillä voiteluyksiköillä ei tarvita erillistä jäähdyttimen kokoonpanoa, sillä vesijäähdytin asennetaan niissä samaan kokoonpanoon, muiden voiteluyksikön komponenttien kanssa. Siksi vesijäähdytetty voiteluyksikkö muodostaa yhden kokoonpanon (Kuva 32), johon kuuluu

- pumppu ja sen moottori
- suodatin
- jäähdytin
- mittalaitteiden jakotukki
- kiinnikkeet ja putket.

Kuva 32. Vesijäähdytetty voiteluyksikkö.

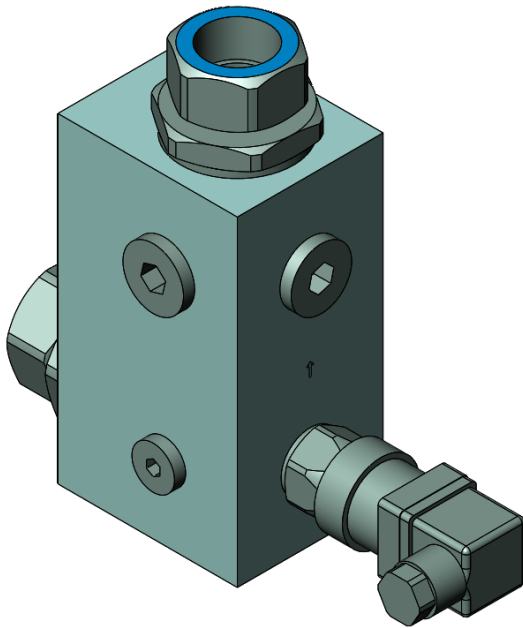


Voiteluyksiköiden imuliitintään käytetään putkea, jonka mitat muuttuvat vaihdekoon ja siinä käytettävän voiteluyksikön perusteella. Tämän takia, imuputkea ei kannata sisällyttää alihankittaviin kokoonpanoihin.

Mittalaitteiden jakotukki (Kuva 33) kuuluu vakiovarusteena OAP1- ja OWP1-voiteluyksikköihin. Siihen kiinnitetään kaikki voiteluyksikössä tarvittavat mittalaitteet. Jakotuessa on useita ylimääräisiä reikiä, joilla mahdollistetaan lisävarusteena hankittavien mittalaitteiden, kuten lämpötila- tai paineanturin asennus. (SEW-EURODRIVE, 2018, s. 24)

Useiden mittalaitteenvaihtoehtojen takia, jakotuelta voidaan vaatia muokattavuutta. Sen takia voidaan harkita, sen jättämistä pois alihankittavista kokonaisuuksista. Tämä johtaisi siihen, että ilmajäähdyttimen kokoonpanossa (Kuva 31) olisi pelkästään jäähdytin ja sen moottori.

Kuva 33. Mittalaitteiden jakotukki.



5 Päätelmä

Opinnäytetyölle varattuna aikana tutustuttiin uusiin X-vaihdesarjan OAP1- ja OWP1-voiteluyksikköihin. Työn suurena lähtökohtana oli kyseisen voiteluyksikkösarjan standardisoiminen M1N-vaihdesarjaan. Koska kokonaisen tuotesarjan standardisoiminen vaatisi paljon työtä ja aikaa, työtä rajattiin kolmeen pienempään osa-alueeseen.

Ensimmäisenä tuli selvittää uusien voiteluyksiköiden yhteensopivuus M1N-sarjan vaihteisiin. Tätä tehtiin, perustuen voiteluyksiköiden ja vaihteiden suoritusarvoihin ja vaatimuksiin.

Toiseksi tuli suunnitella voiteluyksiköiden kiinnitys vaihteisiin. Uudet voiteluyksiköt on suunniteltu X-sarjan vaihteisiin kiinnitettäväksi, jonka takia ne eivät sovi suoraan M1N-vaihteisiin. Kiinnitysratkaisuja suunniteltiin Solidworks-ohjelmistolla, hyödyntäen M1N-vaihteiden ja uusien voiteluyksikköjen 3D-malleja.

Kolmanneksi haluttiin selvittää, millaisina kokonaisuuksina uudet voiteluyksiköt voitaisiin alihankkia. Tätä varten voiteluyksiköiden rakenteeseen tutustuttiin ja muodostettiin yksinkertaiset kokoonpanot, joilla alihankinta voidaan toteuttaa.

5.1 Tulos

OAP1- ja OWP1-voiteluyksiköiden ja M1N-vaihdesarjan yhteensopivuuden selvittämiseksi, laadittiin Excel-taulukoita. Ne perustuvat voiteluyksiköiden ja vaihteiden suoritusarvoihin ja vaatimuksiin.

Yhteensopivuuden tärkeimpänä lähtökohtana on se, että voiteluyksikkö ei ole liian suuri, mutta ei myöskään liian pieni. Voiteluyksikkö voi olla liian suuri, jos sen tuottama tilavuusvirta on yli puolet vaihteen öljytilavuudesta. Tämän tarkastelun tulokset listattiin taulukkoihin (Liite 1). Voiteluyksikkö on liian pieni, jos se ei täytä vaihteen voiteluun vaadittua voitelutarvetta (Liite 6). Kahden yleisesti käytössä olevan käyttötaajuuden takia, useimmista taulukoista tuli tehdä kaksi versiota, joilla huomioitiin 50- ja 60 Hz:n taajuudet.

M1N-sarjan ja uusien voiteluyksiköiden yhteensopivuutta kuvataan liitteiden taulukoilla (Liite 7, Liite 8 ja Liite 9). Nämä tehtiin yhdistämällä liitteiden 1 ja 6 muodostamat yhteensopivuuden ylä- ja alarajat, jolloin muodostuu yhteensopivuusalue.

Muodostetusta yhteensopivuusalueesta voidaan huomata, että M1N-vaihdesarjan 20- ja 40-kokoisissa vaihteissa esiintyy puutteita. Niistä ilmeisin, on 20-kokoisessa vaihteessa, johon ei sovi mikään valmiiksi suunniteltu OAP1- tai OWP1-voiteluyksikkö.

40-kokoisen vaihteen puutteet ilmenevät vain tietyillä käyttötaajuuksilla. 60 Hz:n taajuudella, siitä puuttuu yhteensopiva ilmajäähdytetty voiteluyksikkö, kun taas 50 Hz:n taajuudella vesijäähdytetyt yksiköt puuttuvat. Molemmat puutteet voidaan korjata tekemällä olemassa olevien yksiköiden välikoko. Tämä tarkoittaisi, että ilmajäähdytettyjen 6- ja 10-kokoisten voiteluyksiköiden väliin tehtäisiin 8-kokoinen ilmajäähdytetty yksikkö. Sama tehtäisiin vesijäähdytetyille 8- ja 12-kokoisille voiteluyksiköille, eli 10-kokoinen vesijäähdytetty yksikkö.

Yhteensopivuusalueesta huomataan lisäksi, että uuden voiteluyksikkösarjan 63- ja 80-kokoiset voiteluyksiköt ovat liian suuria M1N-vaihteisiin. Erikoistapauksissa niitä voidaan käyttää, jos vaihteeseen asennetaan lisäöljysäiliö.

Yhteensopivuutta pyrittiin arvioimaan myös voiteluysikköjen jäähdytystehon perusteella. Tätä varten eri vaihekokojen arvioituja häviötehon suuruuksia verrattiin voiteluysikköjen jäähdytystehoihin. Tällä pyritään arvioimaan jäähdytystehon riittävyttä. Vertailu tehtiin neljällä eri tavalla, joissa käytettiin yksinkertaista, sekä tarkempaa laskutapaa. Lisäksi vaihteiden välitystä ja kierrosnopeutta vaihdettiin niin, että saatiin arviot suurimmasta ja tavallisesta häviötehosta. (Liite 2, liite 3, liite 4 ja liite 5)

Jäähdytystehon riittävyden arvioiminen on hyvin hankalaa, sillä vaihteilla on hyvin laaja käyttöalue. Tämän takia on käytännössä mahdotonta määrittää milloin, voiteluysikön jäähdytysteho, on tiettyyn vaihekokoon riittävä.

Koska voiteluysikköjen jäähdytystehojen riittävyttä ei pystytty arvioimaan, vaihteiden häviötehoihin vertaamalla, uusien voiteluysikköjen jäähdytystehoja verrattiin aikaisempiin voiteluysikköihin. Tämä toteutettiin, selvittämällä jokaiseen vaihekokoon sopivat suurimmat voiteluysiköt ja niiden jäähdytystehot, molemmilla voiteluysikkösarjoilla. Selvitys tehtiin perustuen samaan sääntöön, kuin yhteensopivuuden ylärajassa (Liite 1).

Voiteluysikkösarjoilla saavutettavia jäähdytystehon arvoja vertailtiin vaihdekohtaisesti. Vertailusta selvisi, että uuden voiteluysikkösarjan jäähdytysteho on yleensä pienempi, kuin aikaisemmalla sarjalla.

On kuitenkin huomattava, että molemmissa sarjoissa saatetaan käyttää samoja pumppuja. Tästä huolimatta, voiteluysikköjen tuottamien tilavuusvirtojen suuruudet on määritelty eri tavalla. Tämä voi olla syynä uuden sarjan pienempään jäähdytystehoon. Toisaalta uusi sarja hyötyy pienemmästä tuotosta rajatapauksissa, joissa uudella sarjalla mahdollistetaan suurempi pumppu, verrattuna aikaisempaan sarjaan.

Pumppuihin liittyvien seikkojen takia, voiteluysikkösarjoja on vaikea verrata keskenään. Vertailun perusteella jäähdytystehojen ero oli kuitenkin niin suuri, että voidaan arvioida uuden voiteluysikkösarjan olevan jonkin verran heikompi, jäähdytystehon kannalta. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että lisäöljysäiliötä tarvitaan useammin, suurimman mahdollisen jäähdytystehon saavuttamiseksi. Voiteluysiköltä ei kuitenkaan aina vaadita suurinta mahdollista jäähdytystehoa, vaan pienempi on usein riittävä. Tämän takia uuden voiteluysikkösarjan pienemmällä jäähdytysteholla, ei välttämättä ole käytännön merkitystä.

Uudet voiteluyksiköt haluttiin kiinnittää M1N-vaihteisiin, kuten X-vaihdesarjassa. Tämä on mahdollista 40–100-kokoisiin vaihteisiin, joissa on vakioidut voiteluyksikön kiinnitykseen, tarkoitetut poraukset. Muihin vaihdekokoihin on käytettävä erillisellä alustalla olevaa voiteluyksikköä tai suunnitella kiinnitys tapauskohtaisesti.

Kiinnitystä päädyttiin ratkaisemaan niin, että X-sarjassa käytettäviä voiteluyksikköjä muokattaisiin mahdollisimman vähän. Tätä varten suunniteltiin, vaihteen ja voiteluyksikön väliin sopivia adapterilevyjä.

Adapterilevyt suunniteltiin yhteensopivaksi, kahteen eri X-vaihdekokoon sopivalle voiteluyksikömallille. Malleja tarvittiin kaksi, jotta kaikki tarvittavat voiteluyksikkökoot voitiin toteuttaa. Voiteluyksikömalleista pienempi, on X-vaihdesarjan, X200–210-vaihteissa käytetty malli. Suurempi, on X240–250-vaihteiden, 2F-, 3K-, 3T-, 4K-, ja 4T-konfiguraatioissa käytetty voiteluyksikkö.

Adaptoreita suunniteltiin neljä kappaletta. Niistä ensimmäinen sopii 40–70-kokoisten vaihteiden kaikkiin yhteensopiviin voiteluyksikköihin. Seuraava adapteri mahdollistaa 80–100-kokoisiin vaihteisiin, 16- ja 20-kokoisten voiteluyksiköiden kiinnittämisen. Nämä kaksi adapteria, sopivat pienempään voiteluyksikömalliin (X200–210). Jäljellä olevat kaksi adapteria, tehtiin suurempia voiteluyksikömalleja varten (X240–250 2F/3K/3T/4K/4T). Niistä ensimmäinen, on tarkoitettu 80- ja 90-kokoisiin vaihteisiin, 32-kokoisen voiteluyksikön kiinnittämiseen. Toinen niistä on tarkoitettu vain 100-kokoiseen M1N-vaihteeseen ja mahdollistaa 32- ja 50-kokoisten voiteluyksikköjen asentamisen.

Adapterien suunnittelussa, pyrittiin välttämään muutoksia vaihteiden koteloihin. Tämä onnistui kahdessa pienimmässä adapterissa. Kahden suurimman adapterilevyn kiinnittämiseen, tarvittiin uudet kierrereiät, vaihdekokoihin 80–100. Ne pystytään tekemään samankokoisiksi, kuin muut samalla vaihteen kyljellä olevat kierrereiät, joten niiden vaikutukset valmistuskustannuksiin ovat luultavasti hyvin pienet.

Uusien kierrereikien ja suurimpien adapterimallien käyttö olisi mahdollista välttää, jos voiteluyksikköjä muokattaisiin. Muokkaukset kohdistuisivat 32- ja 50-kokoisiin voiteluyksikköihin, jotka muokattaisiin, pienempään voiteluyksikömalliin (X200–210) sopivaksi. Silloin sarjan kiinnitysratkaisusta tulisi yhtenäisempi.

Uudessa voiteluysikkösarjassa sallitaan korkea käynnistysviskositeetti. Tämän takia, suunnittelussa tuli huomioida kavitaation vaarat. Siksi voiteluysiköt pyrittiin pitämään mahdollisimman samanlaisina, X-vaihdesarjan voiteluysikköihin nähden.

Työn tuloksena syntyneestä ratkaisusta, tunnistettiin kaksi tekijää, jotka voivat heikentää voiteluysikön toimintaa korkealla viskositeetilla. Ensimmäiseksi, M1N-vaihteiden pieni imuliitännän koko tarkoittaa, että siihen sopivan liittimen sisähalkaisija kuristaa liitosta. Lisäksi voiteluysiköiden pumppuja ei pystytty asentamaan öljynpinnan alapuolelle. Voiteluysiköiden toimintavarmuutta, korkealla viskositeetilla, voidaan parantaa vaihteen kotelon tai voiteluysikön muutoksilla, joita pohdittiin luvussa 4.4.2.

Voiteluysikön kiinnityksessä haluttiin huomioida myös ilmajäähdyttimien kiinnitykset. Tähän tarvittiin ratkaisu, sillä ilmajäähdyttimet asennetaan erikseen muusta voiteluysiköstä, niiden suuren koon takia. Kiinnitys suunniteltiin vaihteen katolle, kahden tukilevyn avulla. Ratkaisussa käytetään seitsemää erimallista tukilevyä, eri vaihde- ja jäähdytinkokoja varten. Jokainen tukilevy suunniteltiin kahteen tai kolmeen vaihdekokoon sopivaksi, mikä vähennetään tarvittavien tukilevymallien määrää. Kaikkia tukilevyjen malleja ei suunniteltu valmiiksi, sillä ilmajäähdytetyt voiteluysiköt toteutetaan useammin erilliselle alustalle, kuin vaihteeseen kiinnitettynä.

Voiteluysiköiden alihankittavuutta haluttiin selvittää työn ohessa. Voiteluysiköistä tehtiin yksinkertaiset jaottelut kokoonpanoihin. Ilmajäähdytetty voiteluysikkö jakautuu helposti kahteen osaan. Nämä ovat voiteluysikkö ja jäähdytin. Jako tapahtui luonnollisesti, niiden eri asennuspaikkojen ansiosta. Vesijäähdytetyt yksiköt muodostavat vain yhden kokoonpanon, sillä kaikki komponentit asennetaan niissä samalle taustalevyille.

5.2 Oma arviointi

Opinnäytetyötä tehtiin Karkkilassa, SEWin omissa toimistotiloissa, sekä kotona etäyhteyden avulla. Molemmissa tapauksissa, työn tekeminen onnistui hyvin ja apua löytyi tarvittaessa.

Opinnäytetyön tekemiseen varattiin aikaa neljä kuukautta. Aika olisi voinut riittää, jos työn etenemisen olisi suunnitellut hyvin etukäteen. Tämä ei kuitenkaan toteutunut, mikä aiheutti

kiirettä työn loppuvaiheessa. Kiirettä lievennettiin, yksinkertaistamalla työssä käsiteltäviä ratkaisuja. Tämä vaikutti muun muassa ilmajäähdyttimien kiinnittämisen, ja alihankittavien kokonaisuuksien ratkaisuihin. Yksinkertaistamisen ansiosta, työn toteutusvaihe valmistui määräajassa. Tämän jälkeen saatiin lisää aikaa, raportin viimeistelemistä varten.

Työn laaja-alaisuus yllätti. Aiheeseen liittyi tavallisen koneensuunnittelun lisäksi, muun muassa tribologiaa, hydraulikkaa ja termodynamiikkaa. Tämä vaikutti osaltaan työn suunnitteluun, sillä kuhunkin aiheeseen kuluva aika oli vaikea arvioida etukäteen, koska kaikista ei ollut aikaisempaa kokemusta.

Työssä tehdyt ratkaisut jäivät niin sanotusti ideatasolle, jonka takia niitä ei voida ottaa välittömästi käyttöön. Tämä oli ennakkoon arvattavissa, sillä kokonaisen tuotesarjan standardisoiminen, voi usein vaatia paljon aikaa.

Lähteet

- Asposalo, K. (18.6.2019). *Karkkilan SEWillä valmistui sen historian suurimmat teollisuusvaihteet*. Karkkilalainen. <https://karkkilalainen.fi/ajankohtaista/karkkilan-sewilla-valmistui-sen-historian-suurimmat-teollisuusvaihteet/>
- 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* (6. uud. p.). Sanoma Pro Oy.
- Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. (2013). *Hydrauliteknikka* (2. uud. p.). Sanoma Pro Oy.
- Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. (2007). *Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu* (5. korj. p.). Otatieto.
- Aarnio, M., Haili, 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., Antila, K., Kajander, K., ... Vuolle, P. I. (2013). *Teollisuusvoitelu* (5. uud. p.). KP-Media Oy.
- SEW-EURODRIVE. (2005). *Industrial Gear Units of the MC... Series* [katalogi]. <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11237910.pdf>
- SEW-EURODRIVE. (2017). *Addendum for EMEA and North-America area* [katalogin liite]. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG.
- SEW-EURODRIVE. (2018). *Industrial gear Units: External Oil Supply and Oil Cooling Systems* [katalogi]. <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/23560851.pdf>
- SEW-EURODRIVE. (2019). *Single Stage Helical Gear Units M1..N Series* [katalogi]. <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/29139457.pdf>
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-a). *SEW-EURODRIVE Suomessa*. Haettu 29.9.2020 osoitteesta https://www.sew-eurodrive.fi/yritys/mikae_meitae_liikuttaa/lc_karkkila.html
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-b). *Yritysesittely*. Haettu 29.9.2020 osoitteesta https://www.sew-eurodrive.fi/yritys/mikae_meitae_liikuttaa/yritysesittely/yritysesittely.html
- SEW-EURODRIVE. (n.d.-c). *M1..N-sarjan teollisuusvaihteet*. Haettu 29.9.2020 osoitteesta https://www.sew-eurodrive.fi/products/industrial_gear_units/helical_gear_units_bevel-helical_gear_units/helical_gear_units_m1/helical_gear_units_m1-2.html

Liite 2: Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden suurimmalla häviöteholla.

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20			x	x	x	x	x	
30						x	x	
40						x	x	
50							x	
60								x
70								
80								
90								
100								
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20			x	x	x	x	x	
30					x	x	x	
40						x	x	
50							x	
60								x
70								
80								
90								
100								
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OWP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla										
	06	08	12	16	20	32	50		80	Pumppukoko
20				X	X	X	X	X	X	
30					X	X	X	X	X	
40						X	X	X	X	
50							X	X	X	
60								X	X	
70									X	
80									X	
90										
100										
110										
120										
M1N-vaihdekoko										

OWP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla										
	06	08	12	16	20	32	50		80	Pumppukoko
20			X	X	X	X	X	X	X	
30					X	X	X	X	X	
40						X	X	X	X	
50							X	X	X	
60								X	X	
70								X	X	
80									X	
90									X	
100										
110										
120										
M1N-vaihdekoko										

Liite 3: Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden tavallisella häviöteholla.

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden tavallisella häviöteholla								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20	x	x	x	x	x	x	x	
30	x	x	x	x	x	x	x	
40			x	x	x	x	x	
50			x	x	x	x	x	
60					x	x	x	
70						x	x	
80							x	
90								x
100								
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden tavallisella häviöteholla								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20	x	x	x	x	x	x	x	
30	x	x	x	x	x	x	x	
40			x	x	x	x	x	
50			x	x	x	x	x	
60				x	x	x	x	
70						x	x	
80							x	
90								x
100								x
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OWP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden tavallisella häviöteholla										
	06	08	12	16	20	32	50		80	Pumppukoko
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
30		x	x	x	x	x	x	x	x	
40			x	x	x	x	x	x	x	
50				x	x	x	x	x	x	
60					x	x	x	x	x	
70						x	x	x	x	
80							x	x	x	
90								x	x	
100								x	x	
110									x	
120										
M1N-vaihdekoko										

OWP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden tavallisella häviöteholla										
	06	08	12	16	20	32	50		80	Pumppukoko
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
40		x	x	x	x	x	x	x	x	
50			x	x	x	x	x	x	x	
60					x	x	x	x	x	
70					x	x	x	x	x	
80						x	x	x	x	
90							x	x	x	
100								x	x	
110									x	
120									x	
M1N-vaihdekoko										

Liite 4: Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden suurimmalla häviöteholla, ympäristöolosuhteet huomioiden.

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla (Ympäristöolosuhteet huomioiden)								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20			x	x	x	x	x	
30					x	x	x	
40						x	x	
50							x	
60								x
70								
80								
90								
100								
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla (Ympäristöolosuhteet huomioiden)								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20			x	x	x	x	x	
30					x	x	x	
40						x	x	
50							x	
60								x
70								
80								
90								
100								
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OWP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla (Ympäristöolosuhteet huomioiden)										
	06	08	12	16	20	32	50		80	Pumppukoko
20			x	x	x	x	x	x	x	
30					x	x	x	x	x	
40						x	x	x	x	
50							x	x	x	
60								x	x	
70									x	
80									x	
90									x	
100										
110										
120										
M1N-vaihdekoko										

OWP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden suurimmalla häviöteholla (Ympäristöolosuhteet huomioiden)										
	06	08	12	16	20	32	50		80	Pumppukoko
20			x	x	x	x	x	x	x	
30					x	x	x	x	x	
40					x	x	x	x	x	
50						x	x	x	x	
60							x	x	x	
70								x	x	
80									x	
90									x	
100										
110										
120										
M1N-vaihdekoko										

Liite 5: Voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys vaihteiden tavallisella häviöteholla, ympäristöolosuhteet huomioiden.

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (50 Hz) vaihteiden tavallisella häviöteholla (Ympäristöolosuhteet huomioiden)								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20	x	x	x	x	x	x	x	
30	x	x	x	x	x	x	x	
40	x	x	x	x	x	x	x	
50			x	x	x	x	x	
60			x	x	x	x	x	
70					x	x	x	
80						x	x	
90								x
100								x
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

OAP1-voiteluyksiköiden jäähdytystehon riittävyys (60 Hz) vaihteiden tavallisella häviöteholla (Ympäristöolosuhteet huomioiden)								
	06	10	16	20	32	50	63	Pumppukoko
20	x	x	x	x	x	x	x	
30	x	x	x	x	x	x	x	
40	x	x	x	x	x	x	x	
50			x	x	x	x	x	
60			x	x	x	x	x	
70					x	x	x	
80						x	x	
90							x	x
100								x
110								
120								
M1N-vaihdekoko								

Liite 8: Yhteensopivat voiteluyksiköt.

Yhteensopivat OAP1-voiteluyksiköt (50 Hz)								Voiteluyksikkö
06	10	16	20	32	50	63		
20								
30	x	x						
40		x						
50		x	x					
60			x	x				
70			x	x				
80				x	x			
90				x	x			
100				x	x	x		
110					x	x		
120					x	x		
M1N-vaihdekoko								

Yhteensopivat OAP1-voiteluyksiköt (60 Hz)								Voiteluyksikkö
06	10	16	20	32	50	63		
20								
30	x							
40								
50		x						
60		x	x					
70		x	x	x				
80			x	x	x			
90			x	x	x			
100				x	x			
110					x			
120					x			
M1N-vaihdekoko								

Liite 9: Yhteensopivat voiteluyksiköt 50- tai 60 Hz:n taajuudella.

Yhteensopivat OAP1-voiteluyksiköt (50 Hz tai 60 Hz)								Voiteluyksikkö
06	10	16	20	32	50	63		
20								
30	x	x						
40		x						
50		x	x					
60		x	x	x				
70		x	x	x				
80			x	x	x			
90			x	x	x			
100				x	x	x		
110					x	x		
120					x	x		
M1N-								
vaihdekoko								

Yhteensopivat OWP1-voiteluyksiköt (50 Hz tai 60 Hz)								Voiteluyksikkö
06	08	12	16	20	32	50	80	
20								
30	x	x						
40		x						
50		x	x	x				
60			x	x	x			
70			x	x	x			
80				x	x	x		
90				x	x	x		
100					x	x	x	
110						x	x	
120						x	x	
M1N-								
vaihdekoko								