



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

Sahakoneen jäähdytysjärjestelmä

TEKIJÄ/T:

Jere Suvanto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jere Suvanto	
Työn nimi Jäähdytysjärjestelmä	
Päiväys 5.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 36/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Veisto Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tuotekehitystyö, jossa tarkoituksena oli suunnitella nestejäähdytysjärjestelmät sahalinjan hydrauliiikan ja vääntömoottoreiden jäähdyttämiseksi. Työn tilaajana toimii Veisto Oy. Tehtävänanto rajautui hydrauliiikkoneikoiden ja nestejäähdytteisten vääntömoottoreiden jäähdytyksen tarkasteluun. Tavoitteena työssä oli suunnitella nesteestä nesteeseen -lämmönsiirtoperiaatteella toimivat jäähdytysjärjestelmät, joissa tarkastellaan järjestelmän ohjausta, komponentteja sekä anturointia. Hydrauliiikan jäähdytysjärjestelmä tuli suunnitella siten, etteivät hydraulineste tai ulkoinen lämmönsiirtoneste pääse sekoittumaan järjestelmässä.</p> <p>Työssä suunniteltiin kaksi versiota hydrauliikkoneikon jäähdytysjärjestelmästä. Versioita olivat välipiirijärjestelmä sekä kahdennettu järjestelmä. Molemmissa tapauksissa hydrauliiikkaöljy jäähdytetään levylämmönvaihtimella, jonka toimintaperiaatteena on nesteestä nesteeseen tapahtuva lämmönvaihtuminen ulkoiseen jäähdytyskiertoon. Nestejäähdytteisten vääntömoottoreiden jäähdytyspiirit suunniteltiin samankaltaiseksi kuin hydrauliikkoneikoiden jäähdytysjärjestelmä, mutta tähän järjestelmään ei lisätty välipiiriä tai kahdennettua piiriä, sillä jäähdytettävä ja jäähdyttävä neste ovat ominaisuuksiltaan lähellä toisiaan. Jäähdytysjärjestelmätyypeistä luotiin kattava selvitystyö, jonka pohjalta käsiteltiin järjestelmien toimintaperiaatteita. Lopuksi järjestelmistä luotiin periaatekaaviot, joissa esitetään toimintaperiaate, ohjaus, komponentit sekä anturoinnit.</p> <p>Työssä onnistuttiin luomaan kattavan selvitystyön perusteella jäähdytysjärjestelmät hydrauliiikan ja vääntömoottoreiden jäähdytystarpeisiin. Työn päätelmänä hydrauliiikan järjestelmä tulisi toteuttaa kahdennetulla järjestelmässä, joka mahdollistaa jatkuvan tuotantoprosessin ja mahdollistaa vuototurvatun toiminnan, jossa nesteiden sekoittumisen on estetty. Vääntömoottoreiden järjestelmä tulee toteuttaa yksinkertaisella vesikiertojärjestelmällä.</p> <p>Tuloksien avulla toimeksiantaja saa tiedot tarvittavasta jäähdytysjärjestelmätyypistä ja sen toimintaperiaatteista sekä tarvittavasta laitteistosta. Työssä ei mitoitettu järjestelmän komponentteja, sillä kaikkien muuttujien arvot eivät olleet työn aloitusvaiheessa tiedossa. Huomioitavaa mitoitusvaiheessa on mahdolliset järjestelmän muutokset johtuen esimerkiksi virtauksista, paineesta ja lämmönsiirtymisestä.</p>	
Avainsanat jäähdytysjärjestelmä, nestejäähdytys, jäähdytyspiiri, lämmönvaihtuminen, lämmönvaihdin, hydrauliikkoneikko, vääntömoottori	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Jere Suvanto	
Title of Thesis Cooling System	
Date 5 May 2021	Pages/Appendices 36/4
Client Organisation /Partners Veisto Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The topic of the thesis was to design a liquid cooling system for the hydraulic system of a saw machine and electric motors. The client of the study was Veisto Oy. The goal was to design liquid-to-liquid heat transfer cooling systems. The operating principles of the systems, a review of the control system, components and the sensor system were evaluated. A leak proof hydraulic cooling system in which hydraulic liquid and coolant liquid cannot mix with each other was designed.</p> <p>Two versions of the cooling systems were designed for the hydraulic oil. The first system was an additional cooling circuit system and the second one was a duplicated cooling system. In both of these systems the plate heat exchanger transfers hydraulic oil heat energy to the external cooling circuit system. The electric motor's cooling system was based on the hydraulic cooling system, but there was no need to add or design a additional circuit cooling system nor duplicated cooling systems because both cooling liquids had the same properties. Schematic diagrams of the cooling systems were created showing the operating principle of the system, components and sensors which are needed.</p> <p>The results show that the hydraulic cooling system should be implemented with the duplicated cooling system. The electric motor cooling system was developed with a simple water circulation system. The results provide the client with information on the required types of cooling systems and their operating principles, as well as the required equipment. Before implementation of the systems the next step is to synchronize dimensions with the real operation parameters.</p>	
<p><b>Keywords</b> cooling system, liquid cooling, cooling circuit, heat exchange, heat exchanger, hydraulic unit, electric motor</p>	

## ESIPUHE

Opinnäytetyön toimeksi antajana toimi Veisto Oy. Työn toteutus aloitettiin 1.1.2021 ja työ valmistui 5.5.2021. Haluan kiittää Veisto Oy:n teknistä johtajaa Raimo Karjalaista opinnäytetyön mahdollisuudesta ja ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää toimeksiantajan ohjaajaa Leo Ukkosta opinnäytetyön ohjauksesta ja pohdintatuokioista.

Haluan erityisesti kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun ohjaajaani Arto Liuhaa erinomaisesta opinnäytetyön ohjauksesta ja neuvoista. Lisäksi haluan kiittää jäähdytysjärjestelmien suunnitteluun liittyviin kysymyksiin vastanneita asiantuntijoita Savonia-ammattikorkeakoulun koulutuspäällikköä Markku Huhtista ja Painetehto Oy:n Jarno Blombergia ja Heikki Tiirikaista.

Kuopiossa 5.5.2021

Jere Suvanto

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	ORGANISAATIOIDEN ESITTELY .....	7
3	LÄMMÖNSIIRTYMISEN PERUSTEET .....	8
4	LÄMMÖNVAIH DIN .....	10
4.1	Levylämmönvaihtimen rakenne .....	10
5	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMIEN TEHONTARVE.....	11
5.1	Hydraulikoneikon jäähdytysteho: .....	11
5.2	Vääntömoottorin jäähdytysteho .....	12
5.2.1	Laskutoimitus.....	12
5.2.2	Tulos.....	13
5.3	Ulkopuolinen jäähdytysteho .....	13
6	YLEISTÄ HYDRAULIJÄRJESTELMÄN JÄÄHDYTYKSESTÄ.....	14
7	SUUNNIITTELUN LÄHTÖKOHDAT HYDRAULIIKAN JÄÄHDYTYKSEEN .....	17
8	HYDRAULIIKAN JÄRJESTELMÄVERSIOT .....	18
8.1	Jäähdytysjärjestelmä välipiirillä .....	18
8.1.1	Piirin toiminta ja ohjausperiaatteet .....	20
8.1.2	Välipiirin periaatekaavio .....	21
8.2	Jäähdytysjärjestelmä kahdennetulla piirillä .....	23
8.2.1	Ohjaus- ja toimintaperiaate.....	23
8.2.2	Kahdennetun piirin ominaisuudet .....	24
8.2.3	Kahdennettu piiri, Periaatekaavio .....	24
9	VESIKIERRON JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ.....	26
9.1	Periaatekaavio .....	28
10	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET .....	31
	LIITE 1: VÄÄNTÖMOOTTOREIDEN TIEDOT .....	32

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimii Veisto Oy, joka on yksi maailman johtavista sahalinjojen valmistajista. Veisto Oy suunnittelee, valmistaa ja toimittaa HEWSAW-sahakoneitaan maailmanlaajuisesti (Veisto Oy 22.4.2021). Opinnäytetyön aihe liittyy sahakoneprojektiin, jossa sahalinjan hydrauliiikan ja vääntömoottoreiden jäähdytys tullaan toteuttamaan nestejäähdytyksellä. Työn tehtävänä on tuotekehitys-tehtävä, jossa suunniteltiin jäähdytysjärjestelmät edellä mainittuihin laitekokonaisuuksiin.

Työn aiheena oli suunnitella sahalinjan jäähdytysjärjestelmä nesteestä nesteeseen -lämmönvaihtoperiaatetta hyödyntäen sahalinjan hydrauliiikkakoneikoille ja nestejäähdytteisille vääntömoottoreille. Työn tavoite oli saada suunniteltua toimiva jäähdytysjärjestelmäkokonaisuus, jota toimeksiantajayritys voi hyödyntää tulevilla projekteillaan. Työssä tarkastellaan jäähdytysjärjestelmäpiirien ohjausperiaatteita, komponentteja ja anturointia, sekä vertaillaan hydrauliiikan osalta kahta erilaista järjestelmäversiota. Jäähdytyskomponenttina molemmissa järjestelmissä käytettiin levylämmönvaihdinta. Työssä ei mitoitettu järjestelmäkokonaisuuksia.

Hydrauliiikan jäähdytysjärjestelmässä tuli huomioida nesteiden sekoittumisen vaara, jonka vuoksi työssä suunniteltiin kaksi eri versiota jäähdytysjärjestelmistä, joiden lähtökohtana oli kahden erityyppisen nesteiden välisen sekoittumisen estäminen tai ehkäiseminen. Vääntömoottoreiden jäähdytysjärjestelmässä ei kyseenomaista näkökulmaa tarkastella, sillä järjestelmässä käytettiin samantyyppisiä nesteitä, joiden sekoittumisella ei ollut väliä järjestelmän toiminnan kannalta.

## 2 ORGANISAATIOIDEN ESITTELY

Vuonna 1964 perustetun Veisto Oy:n pääkonttori ja tehdas sijaitsevat Etelä-Savossa Mäntyharjulla. Perheyritys on tunnettu maailmanlaajuisesti HEWSAW-brändinimellä suunnitelluista ja tuotetuista sahalinjoista, sahakoneista, varaosista ja näiden huoltopalveluista. Veisto Oy:llä on myös tytäryhtiöitä seitsemässä eri maassa. Tytäryhtiöt toimivat markkinointiin ja huoltoon liittyvissä tehtävissä. Työntekijöitä Veisto Oy:llä on noin 250 henkilöä. Yritys toimii yhtenä suurimmista sahakoneiden valmistajista maailmassa. Veisto Oy:n tuotteita on toimitettu yli 30 maahan, ja viennin osuus tuotannosta on 80 prosenttia. (Veisto Oy 22.4.2021.) Veisto Oy:n liikevaihto oli vuonna 2019 noin 32 miljoonaa euroa (Finder 22.4.2021).

Savonia-ammattikorkeakoulu toimii kolmella eri kampuksella, ja se on yksi Suomen suurimmista ammattikorkeakouluista. Monipuolinen Savonia kouluttaa Kuopion, Iisalmen ja Varkauden kampuksillaan yli 7000 opiskelijaa noin 530 työntekijänsä voimin. Savonia toimii yhteistyökumppanina myös monille yrityksille ja tarjoaa heille tutkimus-, testaus- ja kehitystyöpalveluita. (Savonia 22.4.2021.)

### 3 LÄMMÖNSIIRTYMISEN PERUSTEET

Jäähdytysjärjestelmän suunnittelun lähtökohtana tulee huomioida lämmönsiirron perusteet, joiden avulla lämmönvaihtoprosessin periaatteita voidaan tarkastella. Suunnitellussa jäähdytysjärjestelmässä jäähdytys tuli toteuttaa nesteestä nesteeseen -periaatteella, jossa sahakoneen järjestelmissä syntynyt lämpöenergia täytyy siirtää ulkoiseen jäähdytysnestekiertoon. Lämmönsiirtyminen ja lämmönvaihtuminen tapahtuvat termodynamiikan periaatteiden ja pääsääntöjen mukaisella tavalla. Huomioitavia asioita jäähdytysjärjestelmän suunnittelussa olivat muun muassa nesteiden ominaisuudet, tuotettu lämpöteho, ympäristön lämpötila ja laitteiston ominaisuudet, jotka vaikuttavat lämmönvaihtumiseen järjestelmässä. Lämmönvaihtumista jäähdytysjärjestelmissä esiintyy ympäristöön säteilemällä laitteiston rakenteen läpi siirtyvästä lämpöenergiasta sekä passiivisesti että pääsääntöisesti aktiivisesti lämpöä siirtävän jäähdytyslaitteiston avulla.

Virtaava neste kuljettaa nestejäähdytteisessä järjestelmässä lämpöenergiaa järjestelmää pitkin. Lämmönsiirtyminen tapahtuu siis virtaavan nesteen mukana kulkeutumalla. Lämpöä siirtyy järjestelmän komponenteista lämpösäteilemällä ja johtumalla ympäristöön. Lämmönsiirtyminen tapahtuu termodynamiikan sääntöjen mukaisesti. Termodynamiikan 0. pääsäännön mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan siten, että lämpötilaerot lämpimän virtauksen ja kylmän jäähdytysvirtauksen välillä tasoittuisivat (Nydal 2008, 8). Tällöin jäähdytettävästä virtauksesta siirtyy lämpöenergiaa jäähdyttävään virtaukseen edellä mainittujen lämmönsiirtotapojen mukaisesti. Lämpötilaerot pyrkivät saavuttamaan termisen tasapainotilan, jossa molempien virtausten lämpötilat saavuttavat samansuuruisen lämpötilan (Kianta 2013, 79). Jäähdytysjärjestelmissä pyritään tehostamaan tätä lämpötilojen välistä tasoittumista. Termodynamiikan energian säilymislain eli 1. pääsäännön mukaisesti systeemin energia säilyy, mutta voi muuttua muotoa (Kianta 2013, 80). Esimerkiksi hydraulikkajärjestelmässä mekaanisesti tuotettu energia muuttuu liikkeeksi ja lämpöenergiaksi. Syntynyt lämpöenergia täytyy jäähdyttää. Termodynamiikan 2. pääsääntö tunnetaan energian siirtymisen lakina. Lämpöenergia siirtyy lämpimästä kylmään eli korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan (Kianta 2013, 80). Tätä lämpötilan siirtymistä hyödynnetään lämmönvaihtimessa. Mitä suurempi lämpötilaero virtaavien nesteiden välillä on, sitä suurempi on lämmönsiirron teho.

Jäähdytysjärjestelmien lämmönsiirrossa käytetään kylmäliuosta eli jäähdytysnestettä, jonka tehtävä on siirtää lämpöenergiaa nesteen virtauksen mukana. Jäähdytysnesteissä ei tapahdu olomuodon muutosta ja ne ovat yleensä vesi-glykoli-yhdistelmiä, jossa glykolin määrä valitaan tarvittavien jäähdytysolosuhteiden mukaisesti. (Kianta 2013, 43.) Tästä esimerkkinä toimii muun muassa yleisesti käytetty propyleeniglykoli.

Lämmönvaihtoprosessiin pyrittiin tässä työssä suunnittelemaan jäähdytysjärjestelmälaitteisto, joka toimii tehokkaimmin edellisten kohtien mukaisesti. Huomioon otettavia asioita ovat esimerkiksi nesteiden ominaislämpökapasiteetti ja tiheys, jotka vaikuttavat lämmönsiirron tehokkuuteen. Lisäksi laitteistossa tulee huomioida järjestelmän seinämien paksuus ja materiaalien lämmönjohtavuus, joka liittyy komponenttien lämmönsiirtokykyyn. Lämmönvaihtimen rakenne ja materiaalit tulee valita järjestelmän nesteiden ominaisuuksien mukaisesti, jotta jäähdytysjärjestelmällä saavutetaan mahdollisim-



man tehokas lämmönvaihtoprosessi. Lisäksi järjestelmän virtauksessa tulee huomioida virtauksen ominaisuudet, kuten mahdollinen pyörrevirtaus eli turbulenttinen virtaus, jossa nesteen molekyylit vaihtavat jatkuvasti suuntaa, josta seuraa lämmönvaihtumisen tehostuminen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää laminaarista virtausta, jossa ei tapahdu molekyylien sekoittumista. Turbulenttinen virtaus saa aikaan kuitenkin tehokkaamman lämmönsiirtymisen, sillä virtaussuunta muuttuu jatkuvasti ja näin ollen lämpöenergiaa siirtyy enemmän jäähdytyslaitteiston, kuten lämmönvaihtimen, rakenteisiin ja tätä kautta jäähdytysnesteeseen. Virtausten suunnat ovat erisuuntaiset ja tätä tehostetaan myös vaihtelevan virtauksen avulla, jolloin öljy virtaa poikkisuuntaisesti jäähdytysnestevirtaukseen nähden. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 403.) Edellä mainittujen virtausten käyttö järjestelmässä liittyy lähinnä lämmönvaihtimessa tapahtuvaan prosessiin. Tämän mitoittaminen jää lämmönvaihtimen valmistajan suunniteltavaksi.

## 4 LÄMMÖNVAIHDIN

Työn jäähdytysjärjestelmiin päätettiin käyttää levylämmönvaihdinta, jonka toimintaperiaatteena toimii nesteestä nesteeseen -lämmönsiirtäminen. Hydraulikkaöljyn virtauksen mukana siirretty lämpöenergia kulkeutuu tankkiin, josta lämpöenergia siirretään tankin erilliseen sivuvirtauskiertoon liitettyyn lämmönvaihtimeen, jossa tapahtuu öljyn ja ulkoisen jäähdytysnestevirtauksen välillä lämpöenergian siirtyminen. Vastaavasti vääntömoottoreiden jäähdytysjärjestelmässä vääntömoottoripiirissä tuotettu lämpöenergia siirretään levylämmönvaihtimen avulla jäähdyttävään virtaukseen.

Jäähdytysjärjestelmiin valittiin lämmönvaihdin, jossa lämmönsiirtyminen on mahdollisimman tehokasta ja laitteiston koko on kompakti. Työssä päädyttiin käyttämään levylämmönvaihdinta näiden periaatteiden vuoksi. Levylämmönvaihtimia päätettiin hyödyntää hydraulikan jäähdytysjärjestelmässä sekä vääntömoottoreiden jäähdytysjärjestelmässä. Lähtökohtaisesti valittiin käyttää hitsattuja levylämmönvaihtimia.

### 4.1 Levylämmönvaihtimen rakenne

Levylämmönvaihdin koostuu pääsääntöisesti levyryhmästä, joka muodostaa levyjen väliin virtauskanavat. Näissä virtauskanavissa virtaukset vaihtelevat joka toisessa levyvälissä. Lisäksi virtaussuunnat vaihtuvat tavallisesti vastaavalla tavalla, joka mahdollistaa tehokkaamman lämmönsiirtymisen. Levylämmönvaihtimen rakenne voi olla tiivistekäyttöinen, joka koostuu päätyrunkojen väliin asetetuista levyistä. Jokaisessa levyvälissä on tiiviste, joka estää virtaavien nesteiden sekoittumisen keskenään, sekä estää vuodon laitteen ulkopuolelle. Rakenne saadaan tiiviiksi puristamalla levyt päätyrunkojen väliin nipuksi. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää hitsattuja levylämmönvaihtimia, joissa rakenne on täysin hitsattu. Hitsatussa levylämmönvaihtimessa ei käytetä tiivisteitä levyjen välissä. Jäähdytysjärjestelmän piirit kytketään lämmönvaihtimeen päätyihin asetettuihin yhteisiin, eli järjestelmän liitännäkohtiin. Levylämmönvaihtimet ovat kooltaan kompakteja, verrattuna saman tehosiin putkilämmönvaihtimiin. (Aittomäki, Antero, Aalto, Esa & Suomen kylmäyhdistys 2012, 171)

## 5 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMIEN TEHONTARVE

Jäähdytysjärjestelmää ja tähän kuuluvaa lämmönvaihdinta suunnitellessa oli tiedettävä jäähdytettävän laitteiston tuottaman lämpötehon ja jäähdyttävän laitteiston tuottaman jäähdytystehon muuttujat, sillä nämä vaikuttavat jäähdytysjärjestelmän komponenttien valintaan ja ohjaukseen sekä komponenttien mitoittamiseen. Työssä selvitettiin hydraulikkakoneikoiden vaatimat jäähdytystehon tarpeet ja laskettiin nestejäähdytteisen vääntömoottorin tuottama lämpöteho, jotta tarvittava jäähdytysteho saatiin selvitettyä. Hydraulikkakoneikoiden jäähdytystehon tarve selvitettiin asiantuntijoiden suosittelemilla laskentamenetelmällä.

Vääntömoottoreiden jäähdytystehon tarve laskettiin lämpöenergian kaavaa käyttäen. Jäähdytysnesteenä vääntömoottoreilla käytetään alhaista määrää glykoli-vesi-sekoitusta. Jäähdytystehon laskentaa yksinkertaistettiin laskemalla vääntömoottorin jäähdytystehon tarve käyttäen veden ominaislämpökapasiteetin arvoa ja tiheyttä, sillä käytettävän jäähdytysnesteen ominaisuuksia ei valittu työn tässä vaiheessa. Lisäksi veden ja alhaisen glykolipitoisuuden omaavan veden ominaisuudet vastaavat lähes toisiaan, sillä esimerkiksi veden tiheys on 1000 kg/m<sup>3</sup> ja glykoli 30 % (20 °C) tiheys noin 1029 kg/m<sup>3</sup> (Energiakauppa.com 2021).

### 5.1 Hydraulikoneikon jäähdytysteho:

Jäähdytysteho hydraulikoneikolle mitoitettiin asiantuntijalähteistä saadun säännön mukaisesti, jossa koneikon kokonaistehosta lasketaan 30 % (Blomberg & Tiirikainen 2021.) Saatu arvo vastaa koneikon yleistä jäähdytystehon tarvetta. Arvio määrittää esimerkiksi lämmönvaihtimen mitoituksen ja jäähdytysjärjestelmän koon.

Toimeksiantajan ilmoittamat hydraulikoneikoiden kokonaistehot

Koneikko 1, 6000 litraa teho 490 kW

Koneikko 2, 6000 litraa teho 390 kW

Jäähdytysteho laskettiin seuraavalla kaavalla (Vastaukseksi saatu kW-määrä vastaa lämmönvaihtimelta tarvittavaa jäähdytystehon tarvetta)

$$\text{Koneikon teho} \times 0,30 = \text{kW} \quad (\text{Kaava 1})$$

Koneikoiden kokonaistehot sijoitettiin kaavaan (1), jonka perusteella saadut koneikkojen tuottamat lämpötehot ovat

$$\text{Koneikko I, Jäähdytystehontarve (30 \%)} = 490 \times 0,30 = 147\text{kW} \quad (\text{Lasku 1})$$

$$\text{Koneikko II, Jäähdytystehontarve (30 \%)} = 390 \times 0,30 = 117\text{kW} \quad (\text{Lasku 2})$$

Jäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimien jäähdytystehon tulee siis olla kooltaan vähintään noin 150 kW ja noin 120 kW. Lämmönvaihtimia valittaessa tulee huomioida mahdolliset laiterikot, jonka vuoksi lämpötehon tuotto kasvaa järjestelmässä ja näin ollen myös järjestelmän lämpöenergian määrä kasvaa. Tämän vuoksi lämmönvaihtimia hankkiessa tulisi järjestelmään valita hieman suuremmat vaihtimet kuin tehon mukainen tarve olisi. (Blomberg & Tiirikainen 2021.) Esimerkiksi 10–20 prosenttia

tehokkaammat lämmönvaihtimet riittäisivät, mutta tämä tulee tarkastella järjestelmän mitoitusvaiheessa.

## 5.2 Vääntömoottorin jäähdytysteho

Nestejäähdytteisten vääntömoottoreiden jäähdytystarve selvitettiin valmistajan antamista ohjeistoista ja moottoria jäähdyttävän nesteen aineominaisuuksien avulla. Vääntömoottorin luoma lämpöteho laskettiin moottorin lämpökertoimen ja läpivirtauksen mukaan. Laskennassa huomioitiin moottoria jäähdyttävän nesteen lämmönsiirto-ominaisuudet eli ominaislämpökapasiteetti ja nesteen tiheys. Vääntömoottoreiden jäähdytysnesteen lämpötilan tulee pysyä suotuisassa lämpötilassa, jotta moottorin hyötysuhde pysyy mahdollisimman korkeana. Moottorin läpi virtaavan jäähdytysnesteen lämpötilan tuli olla 10–25 celsiusasteen välillä (LIITE 1, kohta 1.4.1). Mikäli lämpötila ylittää tai alittaa rajatun lämpötila-alueen, muun muassa moottori ei pysty toimimaan täydellä kapasiteetilla. Pitkään kestävä epäsuotuisa lämpötila vaurioittaa mahdollisesti moottorin komponentteja (LIITE 1, kohta 1.3). Moottoreita arvioitiin jäähdytettävän glykolipitoisella jäähdytysnesteellä. Lämpöteho laskettiin käyttäen veden arvoja jäähdytysnesteen sijaan.

Vääntömoottorin tiedot: (LIITE 1, kohta 1.4.3)

- Virtausnopeus: 15 l/min.
- Lämpökerroin 15 K
- Jäähdytysnesteen lämpötilan raja-arvot välillä 10–25 °C astetta.

Vääntömoottoreiden jäähdytysnesteen ominaisuudet: (Mäkelä, Mikko, Soininen, Lauri, Tuomola, Seppo & Öistämö Juhani 2016, 178)

- Veden tiheys,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .
- Veden ominaislämpökapasiteetti,  $c = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .
- Jäähdytysnesteen virtausnopeus eli kulutus,  $V = 15 \text{ l/min}$ .
- Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila,  $T_1 = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Moottorin lämpötilan vaikutus 15 K jäähdytysnesteen lämpötilaan,  $T_2 = 7 \text{ }^\circ\text{C} + 15 \text{ }^\circ = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
(Lämpötila muuttuu moottorissa 15 lämpöyksikköä, sekä kelvineissä että celsiusasteissa.)

### 5.2.1 Laskutoimitus

Vääntömoottorin tuottama lämpöteho, eli tarvittava jäähdytysteho laskettiin lämpöenergian kaavalla (Mäkelä, Mikko, Soininen, Lauri, Tuomola, Seppo & Öistämö Juhani 2016, 107) ja (Nydal 2008, 5 ja 16–17).

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (\text{Kaava 2})$$

josta kaava (Kaava 2) saatetaan muotoon

$$Q = \rho \times V \times c \times (T_2 - T_1) \quad (\text{Kaava 3})$$

missä, Lämpöenergia,  $Q = \text{J}$

Jäähdytysnesteen massa,  $m = \text{kg}$

Ominaislämpökapasiteetti,  $c = \text{J/kg}^\circ\text{C}$

Lämpötilan muutos,  $\Delta T = ^\circ\text{C}$

Veden tiheys,  $\rho = \text{kg/m}^3$

Jäähdytysnesteen kulutus,  $V = \text{m}^3$

Kaavaan (Kaava 3) sijoitettiin kohdan 5.2 esitetyt arvot, jonka perusteella suoritettiin laskutoimitus (Lasku 3)

$$Q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\left(\frac{15}{\text{min}} \times 60\right) \text{m}^3}{1000 \text{ h}} \times \frac{4,2 \text{ kJ}}{\text{kg}} ^\circ\text{C} \times (7 ^\circ\text{C} + 15 ^\circ\text{C} - 7 ^\circ\text{C}) = 56700 \text{ kJ} \quad (\text{Lasku 3})$$

### 5.2.2 Tulos

Laskutoimituksen (Lasku 6) perusteella saatu tulos on

$$56700 \text{ kJ} / 3600 = 15,75 \text{ kWh} \quad (\text{Lasku 4})$$

Yhden sähkömoottorin tarvitsema kylmäteho on siis laskun (Lasku 4) perusteella noin 16 kW/h, mikäli jäähdytysnesteenä käytetään vettä. Kuuden vääntömoottorin jäähdytystarve on tällöin  $6 \times 16 \text{ kWh} = 96 \text{ kWh}$ .

Tulos esitetään yksikössä watti (W) eikä joule (J), sillä joule kuvastaa lämpöenergiaa ja watti jäähdytystehoa (Nydal 2008, 17).

### 5.3 Ulkopuolinen jäähdytysteho

Ulkopuolisen jäähdytyskierto toteutetaan glykolipitoisella jäähdytysnesteellä. Ulkopuolista jäähdytystehoa säädetään virtausnopeutta muuttamalla. Jäähdytyskapasiteetiksi asetettiin 150 kW ja lämpötilaksi +7 celsiusastetta. Virtausnopeus asetettiin 170 l/min. Edellä mainitut arvot määrittivät toimiesiintaja.

## 6 YLEISTÄ HYDRAULIJÄRJESTELMÄN JÄÄHDYTYKSESTÄ

Hydrauliikassa mekaanisesti tuotettu liike-energia tuottaa lämpöenergiaa, joka siirtyy järjestelmässä virtaavan ja paineistetun hydrauliikkanesteen mukana. Termodynamiikan perusteiden mukaisesti lämpöenergia pyrkii tasoittumaan lämpimästä tilasta kylmempään tilaan. Tätä lämpötilaeron liikettä hyödynnetään hydrauliikan jäähdytysjärjestelmissä.

Hydraulijärjestelmän jäähdytyskomponentteina käytetään perinteisesti ilma- ja nestejäähdytteisiä lämmönvaihtimia, joissa lämpöenergia siirtyy virtaavasta hydrauliikkanesteestä johtumalla ja säteilemällä seinämän läpi jäähdyttävään ainevirtaukseen. Tavallisesti ilman erillistä jäähdytysjärjestelmää hydraulijärjestelmän jäähdytys tapahtuu passiivisesti eli ilmaan johtumalla eli toisin sanoen lämpöhäviönä, jolloin lämpötilaero tasoittuu käytön yhteydessä ympäristöön komponenttien, putkien ja pääasiassa hydrauliikkakoneikon säiliön seinämien läpi termodynamiikan perusteiden mukaisesti säteilemällä ja johtumalla. Mikäli ympäristön lämpötila eli ympäristön jäähdytysteho ei riitä tasoittamaan järjestelmän lämpötilaa, käytetään aktiivista jäähdytysjärjestelmää. Aktiivisessa järjestelmässä ulkoinen jäähdytin, kuten lämmönvaihdin, liitetään esimerkiksi hydrauliipiirin paluulinjaan tai tankin sivuvirtasuodatuspiiriin. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 402–403.)

Hydraulijärjestelmän lämpeneminen johtuu pääasiassa järjestelmän komponenteissa syntyvistä kitka- ja vuotohäviöistä. Tehohäviöiden vaikutuksesta syntyy lämpöenergiaa järjestelmään, jolloin lämpötila nousee järjestelmässä esiintyvien tehohäviöiden verran. (Kunnossapitoyhdistys ry, 19.) Syntynyt lämpöenergia siirtyy järjestelmässä virtaavan paineistetun nesteen välityksellä. Lämpötilaerot pyrkivät aiemmin mainitulla tavalla tasoittumaan korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Tämän vuoksi järjestelmän lämpötilan kohoaminen tasoittuu saavuttaessaan ympäristön kanssa tilan, jossa häviötehon tuoman lämpötilan suuruinen lämpöenergian määrä siirtyy ympäristöön. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 83.)

Hydraulijärjestelmälle asetetaan tietty toimintalämpötila, jossa laitteisto toimii optimaalisesti. Yleisesti tämä asetettu raja on 35–65 °C:n välillä (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 86). Tyypillisesti hydraulijärjestelmät jäähdytetään hydrauliöljytankin avulla järjestelmissä, joissa jäähdyttäminen toimii edellä mainitusti lämpösäteilyn ja johtumisen avulla. Kyseistä menetelmää kutsutaan passiiviseksi lämmönsiirroksi. Mikäli passiivinen jäähdyttäminen ei riitä järjestelmän koon tai olosuhteiden vuoksi, eli lämpötilaero ei tasaannu haluttuun lämpötilaan, tarvitaan järjestelmään lisäjäähdytin. Lisättyä jäähdytysjärjestelmää kutsutaan aktiiviseksi järjestelmäksi. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 86.) Hydraulijärjestelmän aktiivisessa jäähdytyksessä hyödynnetään neste- ja ilmajäähdytystä. Jäähdytysprosessissa käytetään lämpötilaeroista johtuvaa lämpöenergian siirtymistä väliaineen läpi johtumalla ja säteilemällä, kuten aiemmin mainittiin. Hydrauliöljyn lämpötilaa säädetään ja ohjataan siis passiivisen ja aktiivisen järjestelmän avulla verraten järjestelmässä syntyvän lämpötehon määrään, jotta öljyn lämpötila saadaan pysymään asetetuissa raja-arvoissa. Lisäjäähdyttimet tulee asentaa keskisuuriin ja suuriin järjestelmiin tankin erilliseen kiertoan, kuten säiliökiertosuodatuspiiriin, ja pienemmissä hydrauliikkapiireissä paine- tai paluulinjaan (Kunnossapitoyhdistys ry, 19–20 ja 34).

Hydrauliöljyn päätehtävänä on siirtää mekaanisesti tuotettua energiaa toimilaitteisiin, jossa siirretty energia muuttuu muun muassa liikkeeksi ja voimaksi. Öljyn tehtävä on myös edeltävän ohessa siirtää

lämpöä, kuljettaa epäpuhtauksia ja voidella järjestelmää. Hydraulikkajärjestelmän jäähdyttäminen on erittäin tärkeää, sillä mikäli hydraulioöljyn lämpötila eroaa liikaa asetetuista lämpötilarajoista, joihin järjestelmä on mitoitettu tai suunniteltu, aiheuttaa se muun muassa järjestelmän käyttöön, ohjaukseen ja komponenttien kestoon sekä toimintaan häiriöitä, kuten ennenaikaista kulumista ja laiterikkoja. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 402) ja (Kunnossapitoyhdistys ry, 19.) Tähän vaikuttavat sekä liian korkea että liian matala lämpötila.

Korkea lämpötila aiheuttaa hydraulioöljyn viskositeetin laskua. Tämän seurauksena öljyn ominaisuudet muuttuvat epäedullisiksi järjestelmän komponenteille. Korkean lämpötilan johdosta öljyn voitelukalvo ohentuu viskositeetin laskun seurauksena. Tämä vaikuttaa öljyn kykyyn voidella toimilaitteiden komponentteja, joka johtaa lopulta laiterikkoon, sillä toisiaan vasten liikkuvien toimilaitteiden komponenttien välinen öljykalvo, joka estää mekaanista kulumista, ei toteudu tarkoituksen mukaisesti. Mikäli komponentit, jotka vaativat voitelukalvoa, liukuvat tai liikkuvat toisiaan vasten, syntyy kitkaa. Tämä johtaa lopulta komponenttien kulumiseen ja mahdollisiin vuotoihin. Lisäksi korkea lämpötila hydraulineesteessä aiheuttaa kulumista ja vaurioita osissa, jotka eivät kestä järjestelmän kuumuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi tiivisteet. Koska järjestelmä on suunniteltu tietyn viskositeetin omaaville komponenteille, aiheuttaa alhaisempi viskositeetti vuotoja järjestelmän komponenteissa. Hydraulineesteet on suunniteltu toimimaan tehokkaasti tietyn lämpötilan rajoissa. Liian korkea lämpötila aiheuttaa hydraulineesteen vanhenemista, jolloin sen voitelu- ja lämmönsiirto-ominaisuudet heikkenevät. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 402) ja (PSK Standardisointiyhdistys ry, 13.)

Matalammassa lämpötilassa järjestelmän hydraulineesteen viskositeetti kasvaa, jolloin myös nesteen virtausvastus nousee. Kasvaneen viskositeetin seurauksena syntyy suorituskyvyn laskeminen, joka johtuu kitkahäviöstä komponenteissa. Lisäksi viskositeetillä on suuri vaikutus hydraulipumpun imuputken kavitaation syntymisessä. Myös matalammalla viskositeetillä syntyy komponenttien kulumista, sillä matalan viskositeetin omaava hydraulineeste ei pääse tunkeutumaan komponenttien pienimpiin välyksiin ja koloihin. Tästä johtuu myös kitkahäviön syntyminen, sillä komponentit liikkuvat metallipinnat vastakkain, samoin kuten korkeassa lämpötilassa, jossa ohentunut öljykalvo ei vastaa tarvittavaa kalvoa. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 402) ja (PSK Standardisointiyhdistys ry, 13.)

Hydraulikassa lämmönsiirtojärjestelmän tehokkuus käytettäessä lämmönvaihdinta riippuu ainevirtojen lämpötilaeroista, lämmönsiirron pinta-alasta ja virtausnopeudesta, sekä virtaussuunnista. Mitä suuremmat ovat lämpötilaerot jäähdytettävän hydraulineesteen ja jäähdytysvirran välillä, sitä suurempi on lämpöenergian siirtoteho. Lämmönsiirtotapahtumaa tulee kuitenkin pystyä ohjamaan. Lämmönsiirtoa tehostetaan lämmönvaihdinjärjestelmissä virtausnopeudella, virtaussuuntien valinnalla ja erilaisilla lämmönvaihdinrakenteilla. Kyseiset ohjaustavat vaikuttaa lämmönsiirron tarkkuuteen ja tehokkuuteen. Ohjaus voidaan toteuttaa aktiivisella portaattomalla ohjauksella, jossa ohjauselektroniikka säätelee lämmönsiirron tehoa jäähdyttävän lämmönsiirtonesteen virtausnopeuden avulla. Kyseinen tapa kuormittaa laitteistoa vähemmän, sillä lämpötila pysyy asetetussa ihannelämpötilassa. Vaihtoehtoisesti ohjaus voi toimia kaksipistejärjestelmällä päällä ja pois -periaatteella, joka on yksinkertainen ja toimintavarma menetelmä jäähdytyksen ohjaukseen, mutta tällöin lämpötilaerot ja jäähdytyskuormi-

tus nousevat hetkellisesti asetettujen raja-arvojen saavuttamiseksi. Lämmönvaihtimen pinta-ala vaikuttaa taas lämmönsiirtymisen tehokkuuteen ainevirtojen välillä. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 403.)

Jäähdytystehon ohjaus tulee toteuttaa edellä mainitusti jäähdytysnestevirtauksen nopeutta säätelämällä, jossa säätö toteutetaan tavallisesti lämpötilaohjatuilla venttiileillä, jotka toimivat portaattomasti. Ohjauslämpötila tulee mitata hydraulinetetankista, jonka avulla säätöpiiri avaa tai sulkee venttiiliä, joka ohjaa jäähdyttävän virtauksen nopeutta. Kyseinen ohjaustapa on lähtökohtaisesti pakollinen, mikäli hydrauliohjauksen lämpötila tulee pysyä asetettujen rajojen sisäpuolella tarkasti. Vaihtoehtoisesti voitaisiin käyttää termostaattiventtiileitä, mutta säätöpiirillä varustettuun järjestelmään voidaan lisätä myös muita lämpötila-antureita ja myös tankin lämmittimen ohjaus. Tämän vuoksi säätöpiirillä varustettu lämpötilan ohjaus on monipuolisempi tapa jäähdytysjärjestelmän ohjaukseen. (Kunnossapitoyhdistys ry, 20.)

Jäähdytysjärjestelmässä on painetta hydrauliiikan sekä ulkoisen jäähdytysnestekierron puolelta. Mikäli lämmönvaihtimen rakenteessa syntyy vuoto, jonka seurauksena nesteet pääsevät sekoittumaan, on virtaavien nesteiden paineilla merkitystä. Vuodon seurauksena korkeamman paineen omaavasta piiristä sekoittuu nestettä alhaisemman paineen alaiseen piiriin määrällisesti enemmän kuin toisin päin. Tämän vuoksi on tärkeää ottaa huomioon paineiden merkitys jäähdytysjärjestelmän toiminnan kannalta ja valita, kumpaan piiriin vuoto tulisi ohjata nesteestä nesteeseen -toimintaperiaatteen omaavassa jäähdytysjärjestelmässä. (PSK Standardisointiyhdistys ry, 13.) Vaihtoehtoisesti jäähdytysnestepiirin paineen tulee olla aina öljynpainetta pienempi, joten virtaussuunta on hydrauliiikasta pois päin. (Kunnossapitoyhdistys ry, 39).



## 7 SUUNNIITTELUN LÄHTÖKOHDAT HYDRAULIIKAN JÄÄHDYTYKSEEN

Hydrauliikan jäähdyttämiseksi suunniteltiin kaksi erilaista vaihtoehtoa jäähdytysjärjestelmän toteuttamiseksi. Jäähdytysjärjestelmät luotiin lähtökohtaisesti 6000 litran hydrauliikkakoneikon jäähdyttämiseksi. Järjestelmä suunniteltiin välipiirillä ja kahdennetulla piirillä varustettuna, joista molemmat toteutettiin kahden lämmönvaihtimen avulla. Järjestelmien komponentit valittiin hydrauliikkasuunnitteluohjeiden mukaisesti ja liitettiin osaksi hydrauliikkakoneikon tankin erillistä kiertopiiriä. Erillisen nestejäähdytteisen jäähdytysjärjestelmän myötä hydrauliikan jäähdytys toimii siis aiemmin mainitulla aktiivisella jäähdytystavalla.

Välipiirijärjestelmän suunnittelun lähtökohtana oli kahden lämmönvaihtimen välille luotu kierrätyspiiri, joka turvaa hydrauliikan ja ulkoisen kiertopiirin vuodon varalta. Välipiirijärjestelmä koostuu siis kolmesta virtauspiiristä ja näiden komponenteista sekä ohjauspiiristä eli säätöpiiristä.

Kahdennetussa järjestelmässä hydrauliikkatankkiin liitettiin puolestaan kaksi erillistä lämmönvaihdinpiiriä, joista ensimmäinen piiri toimii pääjärjestelmänä ja toinen piiri tämän varajärjestelmänä. Edellä mainitut järjestelmät pystyvät toimimaan toisistaan riippumatta. Välipiirijärjestelmän tavoin laitteiston tarkoituksena on estää vuodosta johtuvia seurauksia ja välipiirijärjestelmästä eroten pitää tuotantoprosessi jatkuvassa toiminnassa. Kahdennettu järjestelmä koostuu kahdesta kahden virtauspiirin järjestelmästä ja näiden komponenteista sekä ohjauspiiristä.

Erilliset aktiiviset jäähdytysjärjestelmät liitettiin osaksi hydrauliikkakoneikon säiliön erillistä jäähdytyspiiriä. Etuna järjestelmän liittämässä sivuvirtasuodatuspiiriin paluulinjan sijaan on toimintavarmuuden lisääminen ja vakiona pysyvä jäähdytysteho (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 408.) Lisäksi järjestelmän koneikon suuruuden vuoksi tulee jäähdytysjärjestelmä liittää osaksi tankin sivukiertoa (Kunnossapito ry, 20). Tankin erilliseen kiertopiiriin lisätty jäähdytysjärjestelmä ei tällöin vaikuta muun laitteiston toimintaan tai päinvastoin. Mikäli järjestelmä joudutaan sammuttamaan, toimii säiliö passiivisena jäähdyttimenä, kuten pienemmissä laitteistoissa. Lisäksi erillistä kiertoa on helpompaa ohjata ja hallita jäähdytyksen periaatteen mukaisesti.

Jäähdyttimen sijoittaminen vaihtoehtoisesti hydrauliikan paluulinjaan toisi haasteeksi hydraulinestevirtauksen nopeuden säätelyn. Mikäli virtauksen nopeutta tarvitsee lisätä tai vähentää tehokkaan lämmönsiirron takia, jouduttaisiin järjestelmään lisäämään erillisiä virtausputkistoja. Tämän vuoksi tankin erilliseen piiriin sijoitettu vaihdin mahdollistaa hydraulinesteen ja jäähdytysnesteen virtausten nopeuden säätelyn ilman, että se vaikuttaa muuhun laitteistoon.

Komponentit jäähdytysjärjestelmään valittiin hyödyntäen hydrauliikkajärjestelmän suunnitteluoppaita ja asiantuntijoita. Komponentit on sijoitettu järjestelmään yleisten hydrauliikkaohjeiden mukaisessa järjestyksessä. Lämmönvaihtimen välipiirin komponentit on valittu hydrauliikkapiirin ohjeiden mukaisesti, jotta piiristä saatiin teoriassa toimintavarma.

## 8 HYDRAULIIKAN JÄRJESTELMÄVERSIOT

Hydrauliikka on sahakoneen kannalta tärkein toimilaitetekonaisuus, jonka vuoksi tämän jäähdyttäminen on erittäin tärkeässä osassa sahalinjan toiminnan kannalta. Sahakoneen hydrauliikan jäähdytysjärjestelmän toimivuus on turvattava varajärjestelmällä, joka ehkäisee hydrauliikkalaitteen rikkoutumista ja laitteen toiminnan jatkuvuutta vian sattuessa. Lisäksi toimeksiannossa määritettiin, ettei hydrauliikan jäähdytys saa vaikuttaa ulkoisenjäähdytysnestekierron kautta muihin laitekokonaisuuksiin.

Jäähdytysjärjestelmän kahdessa suunnitellussa versioissa hydrauliikkapiirit ja ulkoiset jäähdytysnestekierron piirit toteutettiin identtisiksi komponenteiltaan ja ohjausperiaatteiltaan. Hydrauliikkapiirin kiertoon vaadittavat komponentit selvitettiin suunnitteluohjeiden mukaisesti useasta lähteestä. Tarvitavat komponentit olivat yksinkertaisimmillaan hydraulitankin piiriin lisättyyn jäähdytysjärjestelmään seuraavat: pumppu, paineenrajoitusventtiili, suodatin, sulkuventtiili, lämmönvaihdin ja sulkuventtiili. Lisäksi järjestelmien piireihin lisättiin tarvittavia komponentteja, liittyen esimerkiksi ohjaukseen ja toiminnan tarkkailuun. Tällaisia ovat muun muassa seosanturit ja paineenmittausanturit. Järjestelmien välisiä eroja tarkastellaan seuraavissa kohdissa, jotka liittyvät vuodon turvaamiseen ja jatkuvan tuotantoprosessin toteuttamiseen. Ulkoinen jäähdytyskiertopiiri toteutettiin molemmissa versioissa identtisesti. Komponentit ulkoisessa piirissä ovat seuraavassa järjestyksestä virtaussuunnasta tarkasteltuna: sulkuventtiilit tulo- ja lähtö puolille, jonka jälkeen sijoittaa sähköllä ohjattava säätöventtiili tai termostaattiohjattu venttiili, virtaus nopeuden ohjaukseen. Piirin tulee lisäksi liittää suodatin ennen lämmönvaihdinta. (PSK Standardisointiyhdistys ry, 10) ja (Kunnossapitoyhdistys ry, 38–39).

### 8.1 Jäähdytysjärjestelmä välipiirillä

Välipiirillä varustettu jäähdytysjärjestelmä koostuu kahdesta lämmönvaihtimesta ja näiden välisestä välipiiristä, joka yhdistää kahden lämmönvaihtimen jäähdytyspiirit. Välipiiri lisää toimintavarmuutta mahdollisen vuodon varalta. Suljettu välipiiri siirtää siis hydrauliöljyn lämpöenergian ulkoiseen jäähdytyspiiriin jäähdytysnestekiertoon. Lämmönvaihtimien välinen piiri siirtää lämpöenergiaa lämmönvaihtimien 1.1 (Kaavio 1) ja lämmönvaihtimen 1.2 välillä hydrauliöljystä ulkoiseen jäähdytyskiertoon. Lämmönvaihdin 1.1 siis jäähdyttää hydrauliikkajärjestelmän öljyä ja siirtää lämpöenergian välipiiriin, joka välittää lämmön jälkimmäiseen lämmönvaihtimeen 1.2. Jälkimmäinen lämmönvaihdin siirtää välipiiriin lämpöenergian ulkoiseen lämmönsiirtonesteeseen. Näin lämmönsiirtyminen tapahtuu kahdessa osassa kyseisessä jäähdytysjärjestelmässä. Piirin rakenne turvaa pääjärjestelmät eli hydrauliikkakoneikon tai ulkoisen jäähdytysnestepiiriin, mikäli toisessa edellä mainituista lämmönvaihtimista syntyisi vuoto. Näin hydrauliöljyä ei pääse suoranaisesti vuotamaan ulkoiseen jäähdytyspiiriin lämmönsiirtonesteeseen tai päinvastoin.

Lähtökohtana välipiiriin suunnittelussa oli saada se vastaamaan hydrauliikkajäähdytyspiiriin toiminta-periaatteita liittyen virtauksen kiertoon, suodatukseen, sulkemiseen, eristämiseen ja huoltoon. Välipiiriin suunnittelusta ei löydetty yleistä ohjeistusta, kuinka kyseinen piiri tulisi toteuttaa. Yhteydenotot hydrauliikan ja lämmönvaihtimien asiantuntijoihin ja valmistajiin varmistivat, ettei kyseisiä järjestelmiä ole valmistettu heidän tietojensa perusteella. (Blomberg & Tiirikainen 2021). Laitteistot turvataan ta-

vallisesti kahdennetulla järjestelmillä eli kahdella erillisellä lämmönvaihdin piirillä. Savonia-ammatti-korkeakoulun henkilöstöön kuuluvan asiantuntijan Markku Huhtisen lausunnon mukaan välipiiriratkaisulla on hänen tietojensa mukaan toteutettu toimivia jäähdytysjärjestelmiä teollisuuteen.

Välipiirijärjestelmän suunnittelussa tuli huomioida lämmönsiirtymisen perusteet, joita tarkastellaan kohdassa (3), jonka mukaan lämpö siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Tämän vuoksi välipiirin lämpötilan tulee pysyä matalampana kuin hydraulioöljyn, mutta korkeampana kuin ulkoisen lämmönsiirtonesteen lämpötila, jotta lämpöenergia siirtyy halutusti ja tehokkaasti ulkoiseen jäähdytysnestekiertoon. Lisäksi tuli huomioida virtausnopeus, jonka tulisi teoreettisesti olla välipiirissä nopeampaa kuin hydraulikkapiirissä, mutta hitaampaa kuin ulkoisessa lämmönsiirtopiirissä. Asiantuntijana toimineen Markku Huhtisen mukaan hydraulikkapiiriin ja välipiirin pumput tuli kuitenkin asettaa vakio-tilavuuspumpulla siirtämään nesteiden virtausta maksiminopeudella ja -teholla. Jäähdytysjärjestelmän tehon säätö suunniteltiin ohjattavaksi ulkoisen kierron nopeudella. Tämä mahdollistaa maksimaalisen lämmönsiirron ja jäähdytystehon. Järjestelmän paineilla ei Markku Huhtisen mukaan ole vaikutusta lämmönsiirtoprosessiin lämmönvaihdinta hyödyntäessä. Paine vaikuttaa ainoastaan komponenttien kestoon ja aiemmin mainitusti vuodon ohjaukseen korkeammasta paineesta matalampaan.

Hydraulikkakoneikon jäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimien arvioidut tehontarpeet ovat koneikolle yksi noin 150kW (Lasku 1) ja koneikolle kaksi noin 120 kW (Lasku 2), riippuen hydraulikkoneikon tehosta. Tällöin voitiin olettaa molempien levylämmönvaihtimien olevan samankokoisia välipiirijärjestelmässä riippuen koneikon tehosta, sillä lämpöenergia siirtyy hydraulikan puoleisesta lämmönvaihtimesta 1.1 (Kaavio 1) ulkoisen jäähdytyspiiriin puoleiseen lämmönvaihtimeen 1.2 välipiirin nesteen mukana. Vaihtimet valittiin samankokoisiksi, sillä lämpöenergia ei kasva välipiirissä. Lisäksi välipiirissä tapahtuva passiivinen lämmönsiirtyminen ympäröivään ilmaan, eli lämpöhäviö, voidaan olettaa erittäin vähäiseksi, ja vastaavasti ympäristöstä siirtyvä lämpöenergia järjestelmään olemattomaksi.

Välipiirin tehontarve ja käytettävä jäähdytysaine määräytyy jäähdytettävän hydraulikkaöljyn ja ulkopuolisen jäähdytysnesteen lämpötilan ja virtausnopeuden mukaisesti. Lämmönsiirtonesteeksi välipiiriin tulee valita neste, jonka lämmönsiirtokapasiteetti on suuri, eli neste pystyy sitomaan ja kuljettamaan suuren määrän lämpöenergiaa lämmönvaihtimien välillä. Lämmönsiirtoa välipiirissä hallitaan ulkoisen jäähdytysnesteen virtausnopeuksien avulla, sillä hydraulioöljy ja välipiiri asetettiin kiertämään vakio- nopeudella lämmönvaihtimen 1.1 (Kaavio 1) läpi.

Mahdollisena ongelmana välipiirin toiminnassa havaittiin jatkuva virtauksenkierto, jossa jäähdytysnesteen määrä on pieni verrattuna jäähdytysjärjestelmän virtausnopeuteen. Tämä havaittiin mahdolliseksi ongelmaksi, sillä pieni lämmönsiirtonesteen määrä kuluttaa nesteen lämmönsiirto-ominaisuuksia riippuen käytettävästä jäähdytysnesteestä. Ratkaisuksi välipiiriin lisättiin pumpullinen säiliö 3.0 (Kaavio 1), jolla välipiirin jäähdytysnestettä voidaan vaihtaa tarvittaessa. Nesteen lisäyksen yhteydessä tulee järjestelmä pystyä ilmaamaan. Välipiirin nesteen vaihtoa varten järjestelmään tulee lisätä erilliset pikaliitännät, jolloin järjestelmässä olevaa nestettä pystytään vaihtamaan ja lisäämään sekä ilmaamaan. Välipiirissä tulee olla paineventtiili eli varoventtiili, joka ohjaa jäähdytysnesteeseen syntyneen paineen turvallisesti laitteiston ulkopuolelle. Varoventtiilin kautta virtaava neste tulee ohjata erilliseen tankkiin tai edellä mainittuun säiliölliseen pumppuun.

### 8.1.1 Piirin toiminta ja ohjausperiaatteet

Välipiirijäähdytysjärjestelmän ohjauksen toimintaperiaatteeksi määritettiin tankin lämpötilaohjaus. Tankin lämpötilan noustessa säätöpiiri 0.3 (Kaavio 1) avaa ulkoisen jäähdytysnesteen virtausventtiiliä 1.3.1 portaattomasti tankin lämpötilan mukaan. Tällöin lämmönsiirtyminen tehostuu lämmönvaihtimessa 1.2, joka siirtää lämpöä välipiirin glykolikierrosta ulkoiseen jäähdytysnestekiertoon. Lämpötilan siirto tehostuu tällöin myös lämmönvaihtimessa numero 1.1. Hydraulikkaneeste kiertää tankkiin liitettyyn aktiiviseen jäähdytyspiiriin ja vaihtimen numero 1.1. lävitse, jolloin lämpö siirtyy välipiiriin, joka siirtää lämpöä lämmönvaihtimesta 1.1 vaihtimeen 1.2. Lämmönvaihtimesta 1.2 lämpöenergia siirtyy välipiiristä ulkoiseen jäähdytysnestekiertoon. Vastaavasti tankin lämpötilan laskiessa säätöpiiri 0.3 pienentää virtausnopeutta.

Öljyn lämpötilan mittausta tankin lämpötila-anturilla 0.2 (Kaavio1) ohjaa jäähdytysjärjestelmää edellä mainitun kappaleen mukaisella tavalla. Säätöpiiriohjaus toteutettiin aktiivisessa jäähdytysjärjestelmässä jatkuvalla portaattomalla säädöllä. Näin lämpötilaero ei pääse nousemaan hetkellisesti korkeaksi välipiirissä ON/OFF-tyyppiseen ohjaukseen verrattuna, kuten aiemmin mainittiin. Jatkuva ohjauslämpö kuormittaa järjestelmää vähemmän ja pystyy reagoimaan nopeammin muuttuviin lämpötilamuutoksiin, esimerkiksi kuormituksesta johtuen, kuten aiemmin todettiin. Ohjauksen lämpötilaa tulee myös mitata lämmönvaihtimen 1.1 jälkeen hydraulipiirissä sekä välipiirissä molempien lämmönvaihtimien jälkeen, jolloin virtauksen kiertonopeutta voidaan hienosäätää lämpötilojen mukaan. Hienosäätöön riittää kuitenkin piiriin mittauspisteet tai luettavat mittarit, koska virtausnopeus pysyy vakioarvossaan ja lämpötila ulkoisessa kierrossa pysyy lähes vakiona.

Suunnittelussa huomioitiin myös mahdollinen lämmityksen tarve, mikäli öljyn lämpötilaa jäähdytetään liikaa ja virtausnopeuksien säätely ei riitä lämpötilan nostamiseksi. Tällöin lämpötilan hallitsemiseksi tankkiin tulee sijoittaa lämmitin, jolloin se pitää öljyn ideaalilämpöisenä. Lämmitintä ohjataan säätöpiiriin liitetyllä lämpötila-anturilla tai termostaatilla, joka sijoitetaan tankkiin tai hydraulikan pääjärjestelmän paluuputkeen. Lämmittimen ohjaus tulisi toteuttaa yksinkertaisella ON/OFF-tyyppisellä kaksipistejärjestelmällä, jossa lämmitin kytkeytyy päälle ja pois asetettujen raja-arvojen mukaisesti. Lämpötilan alittaessa tietyn rajan lämmitin käynnistyy, ja vaihtoehtoisesti lämmitin sammuu öljyn lämpötilan noustessa asetettuun raja-arvoon.

Välipiirin suurimpana ongelmana havaittiin toiminnan pysäyttäminen huollon ajaksi tai mahdollisen vian syntyessä. Laitteistossa ei ole kahdennettua järjestelmää tai kiertoa, joka mahdollistaisi toimilaitteiston jatkuvan toiminnan, mikäli jäähdytysjärjestelmä joudutaan pysäyttämään. Lisäksi mahdollisessa laiterikossa lämmönvaihtimien kapasiteetti ja välipiirin toiminta ei mahdollisesti riitä järjestelmän jäähdyttämiseen nousevan lämpötilan seurauksena, jolloin tuotantoprosessi keskeytyisi. Tämän vuoksi järjestelmään tarvittaisiin mahdollisesti kahdennettu lisäjäähdytyspiiri, joka toimisi huollon ja laiterikon aikana. Välipiiriin olisi mahdollista lisätä erillinen lämmönvaihdinpiiri, mutta tällöin lämmönvaihtimien lukumäärä lisääntyisi ja samalla ohjauselektronikan tarve. Tällöin laitteiston hinta ja tilantarve kasvaa. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa jäähdytysjärjestelmä on lähtökohtaisesti järkevämpää toteuttaa kahdennetulla piirillä. Välipiirillä varustettu jäähdytysjärjestelmä ei tarvitse jatkuvaa huoltoa, jonka vuoksi ei välipiiriin lisätty kahdennettua järjestelmää, joka mahdollistaisi näin jatkuvan hydraulikan jäähdytyksen myös huoltotoimenpiteiden aikana.

### 8.1.2 Välipiirin periaatekaavio

Periaatekaavio luotiin Draw.io-ohjelmalla. Periaatekaavioon lisättiin hydrauliiKANpiiriin suunnitteluopaiden mukaiset komponentit, jotka tulee sijoittaa tankin sivuvirtauspiiriin sijoitettuun jäähdytysjärjestelmään. Piiriin lisättiin ohjeistettujen komponenttien lisäksi piirin ohjaukseen ja hallintaan liittyviä komponentteja. Järjestelmän komponentit on nimetty periaatekaavioon numerojärjestykseen seuraavasti.

Hydrauliikkapiirin komponentit ja tehtävät:

1. Tankki 0.0
2. Pumppu 1.0, pumppaa hydrauliöljyä tankista jäähdytyspiiriin.
3. Suodatin 1.1.1, kerää epäpuhtaudet hydrauliöljystä.
4. Paineenmittaus 1.1.2, mittaa paineroa ennen lämmönvaihdinta.
5. Sulkuventtiili 1.1.3, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
6. Lämmönvaihdin 1.1, levylämmönvaihdin.
7. Sulkuventtiili 1.1.4, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.
8. Paineenmittaus 1.1.5, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä paineroa.
9. Lämpötilanmittaus 1.1.6, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä öljyn lämpötilaa.
10. Seosmittaus 1.1.7, mittaa järjestelmästä esiintyvää veden määrää.
11. Paineenrajoitusventtiili 1.0.1, ohjaa järjestelmän painetta.

Välipiirin komponentit ja tehtävät:

1. Pumppu 2.0, pumppaa jäähdytysnestettä välipiirissä.
2. Suodatin 1.2.1, kerää epäpuhtaudet välipiiristä.
3. Sulkuventtiili 1.2.2, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
4. Lämmönvaihdin 1.1, levylämmönvaihdin.
5. Sulkuventtiili 1.2.3, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.
6. Varoventtiili 1.2.4, ohjaa järjestelmässä syntyneen ylipaineen tankkiin 3.0.
7. T-haara sulkuventtiilillä 1.2.5, nesteen vaihto ja ilmaus.
8. Pumpullinen tankki 3.0, nesteen lisäys järjestelmään.
9. Sulkuventtiili 1.2.6, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
10. Lämmönvaihdin 1.2, levylämmönvaihdin.
11. Sulkuventtiili 1.2.7, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.
12. Paineenmittaus 1.2.8, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä öljyn lämpötilaa.
13. Lämpötilan mittaus 1.2.9, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä öljyn lämpötilaa.
14. Seosmittaus 1.2.10, mittaa järjestelmästä esiintyvää veden määrää.

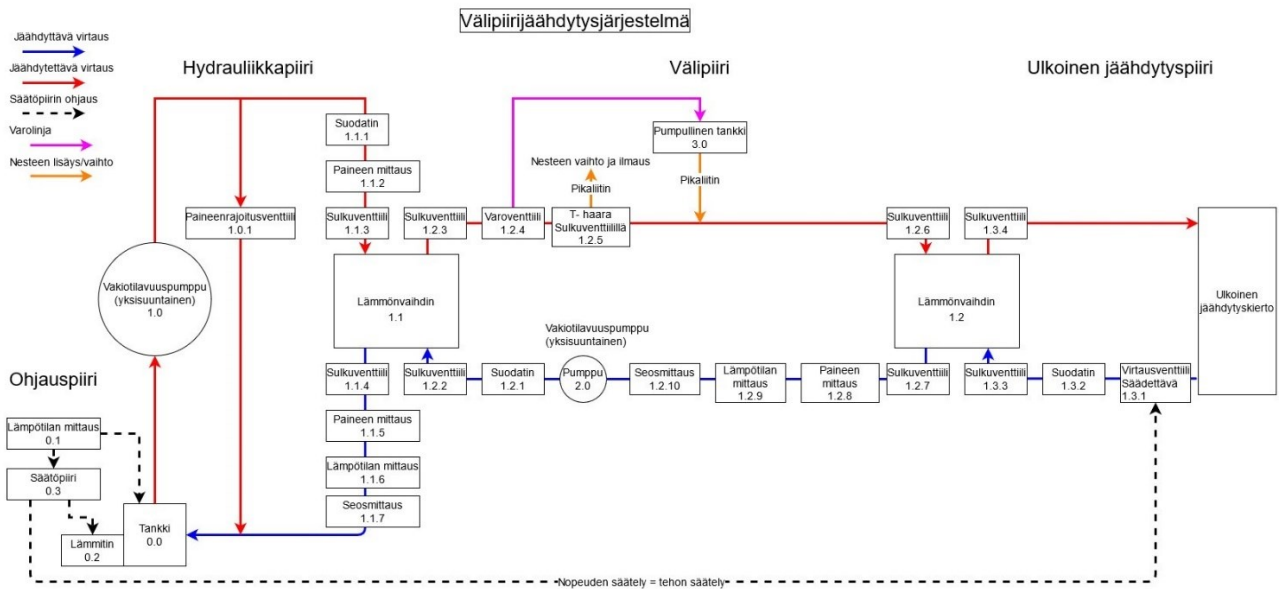
Ulkoisen jäähdytyspiirin komponentit ja tehtävät:

1. Virtausventtiili (säädettävä) 1.3.1, Virtausnopeuden säätely.
2. Suodatin 1.3.2, kerää epäpuhtaudet ennen lämmönvaihdinta.
3. Sulkuventtiili 1.3.3, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
4. Lämmönvaihdin 1.2, levylämmönvaihdin.

5. Sulkuventtiili 1.3.4, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.

Säätöpiirin komponentit ja tehtävät:

1. Tankki 0.0
2. Lämpötilan mittaus 0.1, mittaa hydraulitankin lämpötilaa, säätöpiirin 0.3 anturi.
3. Lämmitin 0.2, lämmittää hydraulioöljyä
4. Säätöpiiri 0.3, ohjaa venttiiliä 1.3.1, lämmitintä 0.2.



Kaavio 1. Välipiirijäähdytysjärjestelmä.

## 8.2 Jäähdytysjärjestelmä kahdennetulla piirillä

Vaihtoehtoisesti välipiirijärjestelmälle suunniteltiin kahdennettu jäähdytyspiirinjärjestelmä, joka asiantuntijoiden mukaan on yleisimmin käytössä jäähdytysjärjestelmissä, joissa hyödynnetään lämmönvaihtimia aktiivisessa jäähdytyksessä ja vaaditaan vuototurvattua lämmönvaihtumista nesteiden välillä (Blomberg & Tiirikainen 2021). Välipiirijärjestelmän tavoin kahdennetussa järjestelmässä hydrauliiKANESTEEN lämpötilaa hallitaan ulkoisen jäähdytyskierron virtausnopeuden avulla. Kahdennetun järjestelmän piirit ovat yksinkertaisempia kuin välipiirillä toteutettuna. Kahdennetussa järjestelmässä jäähdytyslaitteisto koostuu kahdesta erillisestä kahden virtauspiirin kokonaisuudesta. Lähtökohtana kahdennetulla järjestelmällä on pitää tuotantoprosessi jatkuvana ja estää nesteiden sekoittuminen keskenään.

Kahdennetun piirin laitteisto koostuu hydraulitankin sivuvirtauspiiriin liitetyistä kahdesta erillisestä aktiivisesta jäähdytysjärjestelmästä. Molemmat järjestelmät toimivat omina kokonaisuuksinaan, joista toinen järjestelmä toimii lähtökohtaisesti pääjärjestelmän varajärjestelmänä. Varajärjestelmä kytkeytyy tai kytketään päälle, mikäli pääjärjestelmän hydrauliiKAPIIRISSÄ seosanturit havaitsevat mahdollisen nesteiden sekoittumisen tai vuodosta seuranneen paineen muutoksen. Varajärjestelmää voidaan käyttää myös pääjärjestelmän rinnalla lisjäähdyttimenä, kuten aiemmin mainittiin, mikäli hydrauliiKAN TOIMILAITTEISSA tai muissa komponenteissa syntyy järjestelmän lämpöä nostava vaurio. Tämän seurauksena hydraulijärjestelmässä hydrauliiKANESTEEN lämpötila voi nousta merkittävästi. Tämä tulisi huomioida lämmönvaihdinta ja muuta järjestelmää suunnitellessa. Kahdennetulla järjestelmällä tästä ei syntyisi merkittävää ongelmaa, sillä molemmat järjestelmät voidaan kytkeä päälle. Kyseisen ongelman pystyisi myös ratkaisemaan ulkoisella jäähdytyslaitteella, joka antaisi lisää jäähdytystehoa hetkelliseen tarpeeseen.

### 8.2.1 Ohjaus- ja toimintaperiaate

Ohjaus ja toiminta kahdennetussa jäähdytysjärjestelmässä jakautuu pääpiiriin ja varapiiriin. Pääjärjestelmä toimii hydrauliiKKAKONEIKON tankin jäähdyttimenä, kunnes havaitaan ongelma seossuhteessa tai paineen muutoksena edellisen kappaleen mukaisesti, tai mikäli laitteisto täytyy huoltaa. Tällöin varajärjestelmä siirtyy käyttöön ja pääjärjestelmän toiminta pysäytetään. HydrauliiKAPIIRISSÄ nesteiden virtaus toteutetaan vakiotilavuuksisella pumpulla 1.1 / 2.0 (Kaavio 2), jonka virtausnopeus on asetettu maksimiin. Jäähdytystehoa ohjataan ulkopuolisen jäähdytysnesteiden virtausnopeuden säädöllä säätöpiiriin 0.3 avulla. Lämmönvaihtimen jäähdytystehoa ohjataan hydrauliiKKATANKIN öljyn lämpötilan mukaan ulkoisen jäähdytysnesteisiin virtausventtiiliä 1.2.1 / 2.2.1 säätämällä välipiiriin tapaamaan portaattomasti säätöpiiriin ohjaamana. Kahdennetussa järjestelmässä säätöpiiriin ohjauksella voidaan ohjata myös tankin lämmitintä 0.2, jotta hydrauliiKKATANKIN 0.0 nesteen lämpötila pysyy asetetuissa raja-arvoissa. Järjestelmien välistä toimintaa voidaan säätää manuaalisesti tai automaatiolla, mikä käynnistää järjestelmien pumput.

## 8.2.2 Kahdennetun piirin ominaisuudet

Etuna kahdennetun piirin järjestelmässä on välipiiriin verrattuna mahdollinen huollon toteuttaminen ilman toimilaitteiston pysäyttämistä. Lisäksi kahdennetun piirin suunnittelu on yksinkertaisempaa, sillä jäähdytysjärjestelmän mitoitus ja komponenttivalinnat voidaan tehdä yleisten suunnitteluohjeiden ja standardien mukaisesti. Etuna on myös yksinkertaisempi ohjaus, sillä lämmönvaihtoa ohjataan kahden virtaavan aineen välillä yhdellä lämmönvaihtimella. Kahdennetussa järjestelmässä voidaan hyödyntää kahta lämmönvaihdinpiiriä samanaikaisesti, jolloin jäähdytystehoa saadaan lisättyä tarpeen vaatiessa. Kahdennettu järjestelmä on myös yleisesti käytetty järjestelmätyyppi, joista laitevalmistajilla löytyy tietoa laitteistoa hankittaessa. Lähtökohtaisesti tämä järjestelmätyyppi havaittiin olevan parempi tapa toteuttaa varmatoiminen ja taloudellinen jäähdytysjärjestelmä hydrauliiikan jäähdyttämiseksi.

Huonoja puolia kahdennetulla piirillä on mahdollinen antureihin kohdentuva vika, joka ei havaitse seoksen muutosta järjestelmässä. Tämä voidaan ehkäistä lisäämällä esimerkiksi useampi seosanturi ja paineenmittausanturi. Kahdennettu jäähdytysjärjestelmä vaatii kaksi lämmönvaihdinta välipiirin taivoin ja molempiin identtiset komponentit. Tällöin järjestelmän hinta nousee ohjauselektroniikan ja tarvittavien virtauskomponenttien vuoksi. Järjestelmä on kallis toteuttaa, sillä se vaatii identtiset piirit ja lisäksi näiden välisen ohjauselektroniikan.

## 8.2.3 Kahdennettu piiri, Periaatekaavio

Periaatekaavio luotiin Draw.io-ohjelmalla. Periaatekaavioon lisättiin hydrauliiikanpiiriin suunnitteluoppaiden mukaiset komponentit, jotka tulee sijoittaa tankin sivuvirtauspiiriin sijoitettuun jäähdytysjärjestelmään. Piiriin lisättiin ohjeistettujen komponenttien lisäksi piirin ohjaukseen ja hallintaan liittyviä komponentteja. Järjestelmän komponentit on nimetty periaatekaavioon numerojärjestykseen seuraavasti.

Hydrauliiikkapiirien komponentit ja tehtävät:

1. Tankki 0.0
2. Pumppu 1.0 / 2.0, pumppaa hydrauliiöljyä tankista jäähdytyspiiriin.
3. Suodatin 1.1.1 / 2.1.1, kerää epäpuhtaudet hydrauliiöljystä.
4. Paineenmittaus 1.1.2 / 2.1.2 mittaa paineroa ennen lämmönvaihdinta.
5. Sulkuventtiili 1.1.3 / 2.1.3, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
6. Lämmönvaihdin 1.1 / 2.1, levylämmönvaihdin.
7. Sulkuventtiili 1.1.4 / 2.1.4, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.
8. Paineenmittaus 1.1.5 / 2.1.5, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä paineroa.
9. Lämpötilanmittaus 1.1.6 / 2.1.6, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä öljyn lämpötilaa.
10. Seosmittaus 1.1.7 / 2.1.7, mittaa järjestelmästä veden määrää.
11. Paineenrajoitusventtiili 1.0.1 / 2.0.1, ohjaa järjestelmän painetta.

Ulkoisen jäähdytysjärjestelmän komponentit ja tehtävät:

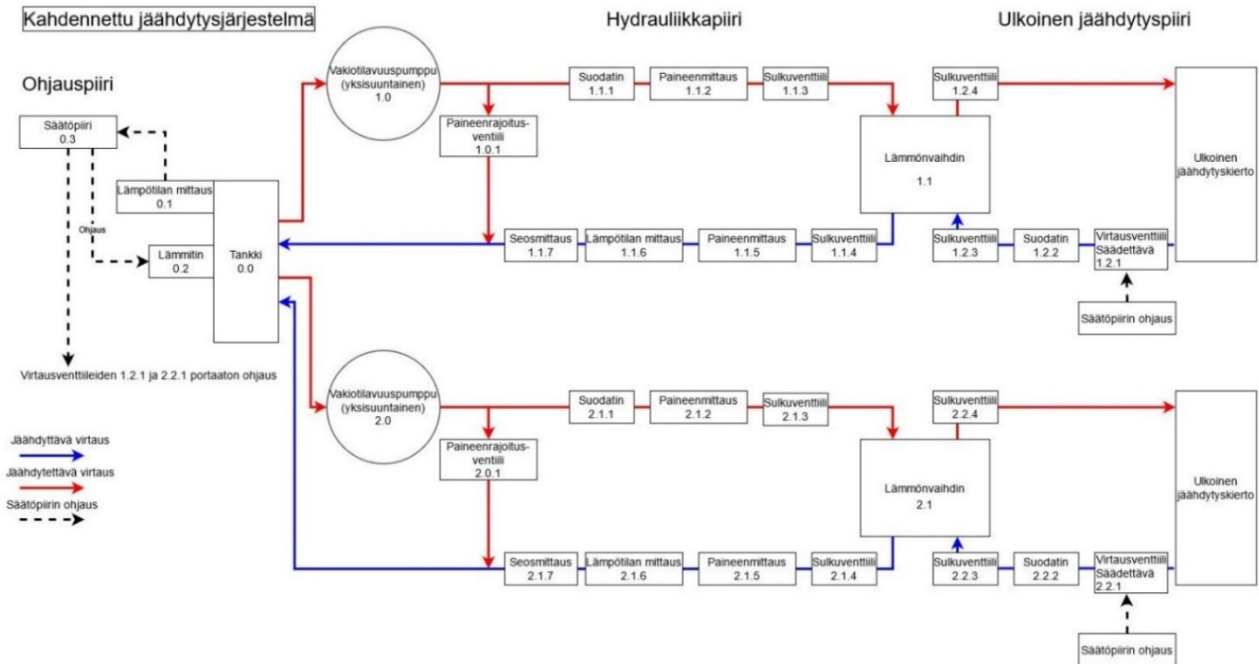
1. Virtausventtiili (säädettävä) 1.2.1 / 2.2.1, Virtausnopeuden säätely.
2. Suodatin 1.2.2 / 2.2.2, kerää epäpuhtaudet ennen lämmönvaihdinta.
3. Sulkuventtiili 1.2.3 / 2.2.3, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.



4. Lämmönvaihdin 1.1 / 2.1, levylämmönvaihdin.
5. Sulkuventtiili 1.2.4 / 2.2.4, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.

Säätöpiirin 0.3 komponentit ja selitykset:

1. Tankki 0,0
2. Lämpötilan mittaus 0.1, mittaa hydraulitankin 0.0 lämpötilaa.
3. Lämmitin 0.2, lämmittää hydraulitankin 0.0 hydraulioöljyä.
4. Säätöpiiri 0.3, ohjaa virtausventtiilejä 1.2.1 / 2.2.1 ja lämmittimen 0.2 käyttöä.



Kaavio 2. Kahdennettu jäähdytysjärjestelmä.

## 9 VESIKIERRON JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ

Vääntömoottoreiden jäähdytysjärjestelmä suunniteltiin siten, että se täyttää moottorin valmistajan asettamat raja-arvot (LIITE 1). Vesikiertojärjestelmä suunniteltiin kuuden nestejäähdytteisen vääntömoottorin jäähdytystarpeeseen. Moottoreiden jäähdytysnesteen lämpötilan tuli olla 10–25 celsiusastetta (LIITE 1). Tämän perusteella laitteelle luotiin kahden virtauspiirin järjestelmä, jossa levylämmönvaihtimella suoritetaan jäähdytysprosessi. Vääntömoottoriin suunniteltiin vesikiertojärjestelmäksi, jossa glykolipitoinen jäähdytysneste kiertää piirissä jäähdyttäen vääntömoottoreita siirtämällä lämpöenergiaa lämmönvaihtimesta ulkoiseen glykolijäähdytysnestekiertoon. Järjestelmän ulkoinen jäähdytyskiertopiiri toteutettiin hydraulikan jäähdytysjärjestelmän mukaisella tavalla, jossa lämmönvaihtimen tehoa ohjataan säädettävällä virtausventtiilillä 1.2.1 (Kaavio 3).

Vääntömoottoriin toimintaperiaatteena on suljettu vesikierto, jonka lämpötilaa ohjataan ulkoisen kierron virtausnopeuden avulla. Vääntömoottoreiden lämpötilaa ohjataan kaksipistejärjestelmällä, jossa lämpötilaohjatut virtausventtiilit 1.1.6, 1.1.7 ja 1.1.8 (Kaavio 3) aukeavat ääriasentoon moottorin lämpötilan ylittäessä 70 °C ja sulkeutuvat lähes kiinni asentoon vääntömoottorin 1, 2 ja 3 lämpötilan laskettua alle 50 °C. Määritetyn lämpötila-alueen välissä virtausta ja painetta ohjataan portaattomasti älypumpun 1.0 avulla. Älypumppu mahdollistaa erilaista jäähdytystarvetta vaativien vääntömoottoreiden tarkemman virtauksen ohjauksen. Pumppu mahdollistaa paineen muutoksen automaattisen säätelyn. Moottoreiden lämmönohjausta säädellään siis ulkoisen kierron virtausnopeuden sekä moottoriin kaksipistejärjestelmän välisellä portaattomalla ohjauksella.

Jokaiselle moottorille on oma sähköisesti ohjattu virtavastusventtiili. Älypumppu ohjaa järjestelmän painetta, sillä edellä mainitut moottoreiden venttiilit avautuvat, kun lämpötila moottorissa nousee. Tällöin vääntömoottorien määrän ollessa 1–3 tai 1–6 voivat venttiilit olla kaikki lähes kiinni tai kaikki auki -periaatteella. Älypumppu reagoi virtausventtiilien tilamuutoksiin. Tällöin lämpötilaa voidaan säätää vääntömoottoreissa portaattomasti säädettävien virtaventtiilien ja älypumpun avulla. Virtausventtiileitä moottoreissa ei suljeta täysin, sillä tämä aiheuttaisi mahdollisesti paineiskun järjestelmään. Paineiskuvaaran vuoksi tulee virtausventtiileiden säätönopeus olla erittäin hidasta, jotta pumpun ja venttiileiden välinen liike ei synnytä paineiskuja järjestelmään. Kyseinen ongelma syntyy virtausventtiilin sulkeutuessa, jolloin paine kasvaa virtausnopeuden laskiessa ja virtauksen pysäyttäessä venttiilissä. Tapahtuma saa aikaan tiheyden kasvua järjestelmän putkistossa ja virtaavassa nesteessä, jotka saavat aikaan edellä mainitun paineiskun järjestelmässä. (Pulli 2018, 40–41.) Paineiskuja voi syntyä myös järjestelmän muissa tilanteissa, kuten järjestelmän pysäytyksessä tai täyttötilanteessa (Pulli 2018, 45–47.) Tämän vuoksi toimeksiantajan tulee ennen kyseisen laitteiston mitoitusta ottaa yhteyttä virtaustekniikan asiantuntijoihin sekä valmistajiin, jotka voivat todentaa suunnitellun järjestelmän toimivuuden paineiskujen varalta ja siihen lisättävät komponentit. Järjestelmään voitaisiin lisätä esimerkiksi paineiskua vaimentavia komponentteja tai järjestelmiä, jotka ehkäisevät paineiskun syntymistä tai vaimentaa paineiskua järjestelmässä. Paineiskua voidaan ehkäistä esimerkiksi painesäiliöllä, ohitusputkella, ilmaventtiilillä varustetulla painesäiliöllä tai takaisiniskuventtiilillä (Pulli 2018, 51).

Jäähdytys-elementiksi valittiin levylämmönvaihdin. Vääntömoottoreiden jäähdytyspiiri toteutettiin yksinkertaisella lämmönvaihdinpiirillä, jossa yksi lämmönvaihdin 1.1 (Kaavio 3) vastaa kolmen vääntömoottorin jäähdyttämistä. Lämmönvaihdinjärjestelmiä on kaksi kappaletta, joihin kumpaakin sijoitettaisiin yksi lämmönvaihdin vastaamaan kolmen vääntömoottorin jäähdytyksestä. Jako kahteen erilliseen järjestelmään mahdollistaa laitteiston siirtämisen kahteen eri toimitilaan, tehokkaamman toiminnan sekä tarkemman ohjauksen, sillä toimilaitteiden määrä on puolet kokonaismäärästä ja tällöin myös virtausventtiileiden tarvittu määrä. Lämpötilan hallinnan voitiin olettaa olevan tämän vuoksi tarkempaa. Vääntömoottoreiden jäähdytys olisi voitu toteuttaa myös yhdellä suurella lämmönvaihtimella, jossa kaikki kuusi vääntömoottoria olisivat samassa jäähdytyspiirissä. Tämä lisäisi jäähdytystehon tarvetta, jolloin komponenttien koko olisi noussut, joka puolestaan vaikuttaa laitteiston hankintahintaan.

Järjestelmään ei lisätty kahdennettua piiriä, sillä jäähdytettävä ja jäähdyttävä neste ovat tyypiltään samanlaisia ja eivät siten aiheuta sekoittumisen seurauksena ongelmia toimilaitteissa, muussa järjestelmässä tai ympäristössä. Lisäksi lämmönvaihtimen toiminta voidaan olettaa olevan luotettavaa määritettyjen huoltovälien ajaksi, jonka vuoksi laitteelle ei laadittu varajärjestelmää. Tämä varmistettiin asiantuntijoilta, joiden mukaan laitteisto ei vaadi huoltoa, mikäli sinne ei ajaudu epäpuhtauksia tai synny vuotoja (Blomberg & Tiirikainen 2021).

Moottorin jäähdytystarve on laskettu kohdassa (5.2), jonka tuloksena (Lasku 4) moottorin vaatima jäähdytystarve on noin 15 kWh. Kolmen moottorin jäähdytykseen vaaditaan jäähdytysteholtaan noin 45 kW lämmönvaihdin. Ulkopuolisen kierron teho on noin 150 kW, joten jäähdytyksen teho riittää. Moottoreille suositeltu jäähdytysneste on noin 10–25 °C. Ulkoisen jäähdytysneste on noin 7 °C, joka tulee muuttaa lämmönvaihtimessa suotuisaksi käytettäväksi moottoreille. Mikäli jäähdytysteho ei riittäisi järjestelmään, piiriin voidaan liittää myöhemmin ulkoinen kylmälaite, joka lisää jäähdytystehoa tai vastaavasti lämmitin, joka muuttaa lämmönvaihtimelta jäähdytetyn virtauksen lämpötilaa.

Moottoreiden jäähdytyspiirin lämpötilaa ohjataan ulkoisen jäähdytysnestevirtausnopeuden avulla. Ulkoisen virtauksen tulisi olla nopeudeltaan suurempi kuin moottoreiden jäähdytysnopeus lämmönvaihdin kannalta, kuten työssä on aiemmin mainittu. Ulkoisen jäähdytyskierron nopeus on noin 150 l/min, jonka nopeutta muutamalla voidaan lämmönvaihtimen tehoa hallita. Tehon ohjaus toteutetaan säätöpiirillä ohjattavalla virtausventtiilillä 1.2.1 (Kaavio 3), joka sijoitettiin ennen lämmönvaihdinta ulkoiseen jäähdytyskierron piiriin. Virtausnopeuden säätö tapahtuu portaattomalla ohjauksella moottoripiiristä mitatun lämpötilan avulla. Ohjauslämpötila tulee mitata lämmönvaihtimen jälkeisestä virtausputkesta ennen vääntömoottoreita.

Vääntömoottoreiden piirin tuli lisätä varoventtiili 1.1.4 (Kaavio 3). Varojärjestelmä estävät paineen nousemasta liian suureksi järjestelmässä. Varoventtiilin virtauksen ohjaus tulee huomioida siten, että neste ohjataan turvalliseen keräyssäiliöön tai ilmakehään.

Suljetun vääntömoottoripiirin komponenttien järjestys on seuraavanlainen. Ennen lämmönvaihdinta 1.1 (Kaavio 3) sijoitetaan suodatin 1.1.9, pumppu 1.0 ja sulkuventtiili 1.1. Lämmönvaihtimen jälkeen piirissä on sulkuventtiili 1.1.2, lämpötila-anturi 1.1.3 ja jokaisella moottorilla oma sähköohjauksella säädettävä virtausventtiili 1.1.6, 1.1.7 ja 1.1.8. Järjestelmään lisättiin glykolin pumppuasema 2.0, jolla järjestelmään voidaan lisätä glykolinestettä. Piiriin lisättiin liitäntä nesteen poistoa ja uudelleen ilmausta varten 1.1.5. Ulkoinen jäähdytysnestepiiri vastaa aiempia hydrauliiikan tarpeisiini suunniteltua piiriä.

## 9.1 Periaatekaavio

Jäähdytysjärjestelmästä luotiin periaatekaavio edellä mainittujen tietojen ja havaintojen perusteella liittyen vääntömoottoreiden jäähdyttämiseen. Periaatekaaviossa kuvataan järjestelmän virtausta, komponentteja ja ohjausperiaatetta. Lisäksi esitetään periaatekaavion komponentit ja niiden päätehtävät. Kaavion tehtävänä on esittää jäähdytysjärjestelmän rakenne.

Vääntömoottoreiden jäähdytyspiirin komponentit ja selitykset:

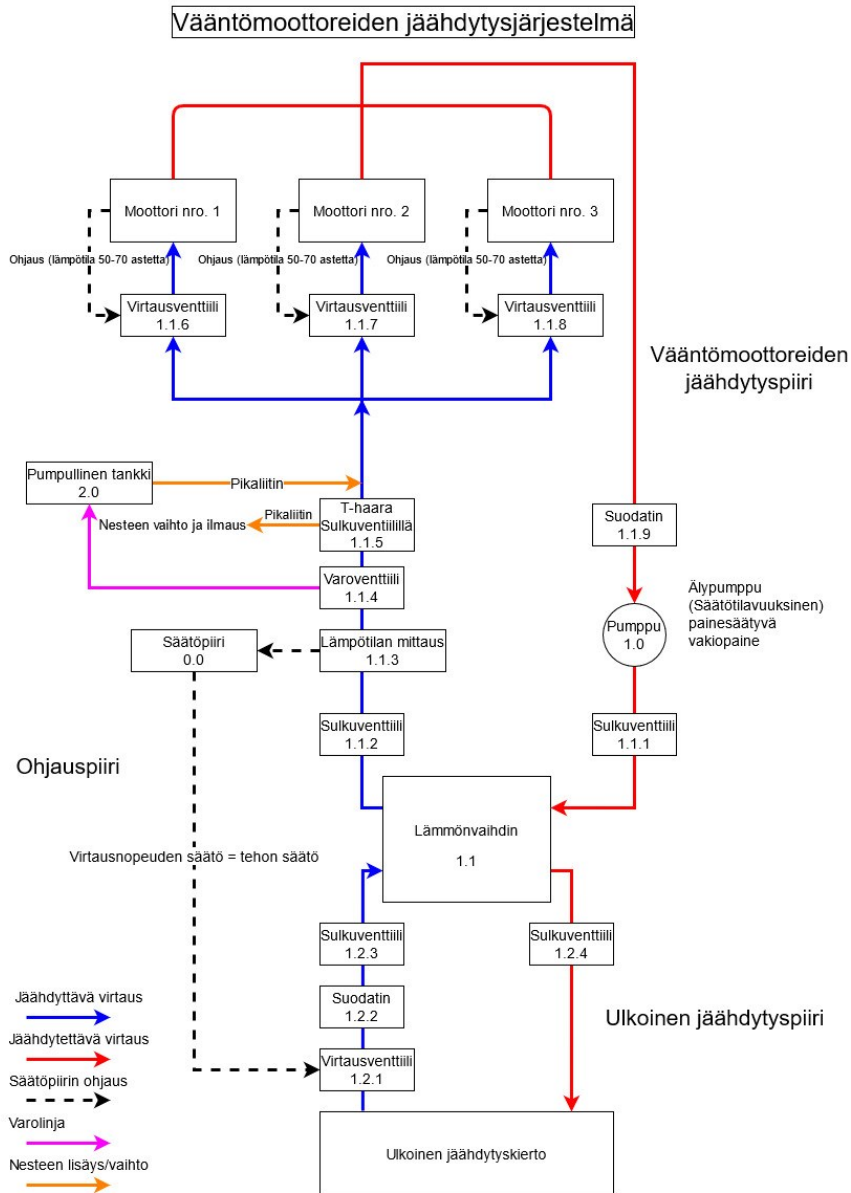
1. Pumppu 1.0, pumppaa jäähdytysnestettä vääntömoottoreiden jäähdytyspiiristä.
2. Sulkuventtiili 1.1.1, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
3. Lämmönvaihdin 1.1, levylämmönvaihdin.
4. Sulkuventtiili 1.1.2, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.
5. Lämpötilanmittaus 1.1.3, mittaa lämmönvaihtimen jälkeistä lämpötilaa.
6. Varoventtiili 1.1.4, ohjaa järjestelmässä syntyneen ylipaineen tankkiin 2.0.
7. T-haara sulkuventtiili 1.1.5, nesteen vaihto ja ilmaus.
8. Pumpullinen tankki 2.0, nesteen lisäys järjestelmään.
9. Virtausventtiili 1.1.6 / 1.1.7 / 1.1.8, Virtausnopeuden säätely (lämpötilaohjaus vääntömoottoreista).
10. Vääntömoottorit 1 / 2 / 3.
11. Suodatin 1.1.9, kerää epäpuhtaudet vääntömoottoreiden jäähdytyspiiristä.

Ulkaisen jäähdytyspiirin komponentit ja tehtävät:

1. Virtausventtiili (säädettävä) 1.2.1, Virtausnopeuden säätely.
2. Suodatin 1.2.2, kerää epäpuhtaudet ennen lämmönvaihdinta.
3. Sulkuventtiili 1.2.3, sulkee lämmönvaihtimen meno yhteen.
4. Lämmönvaihdin 1.2, levylämmönvaihdin.
5. Sulkuventtiili 1.2.4, sulkee lämmönvaihtimen paluu yhteen.

Säätöpiirin 0.0 komponentit ja tehtävät:

1. Lämpötilan mittaus anturista 1.1.3, ohjaa virtausventtiiliä 1.2.1.



Kaavio 3. Vääntömoottoreiden jäähdytysjärjestelmä.

## 10 POHDINTA

Jäähdytysjärjestelmien lähtökohdat saatiin selvitettyä laajasti ja yksityiskohtaisesti. Järjestelmiin etsittiin vastaukset toimeksiannon mukaisesti. Tuloksena saatiin kattava tieto laitteistojen vaatimuksista ja toteutustavoista sekä suunnittelun lähtökohdista. Tähän liittyivät tiedot esimerkiksi tarvittavista komponenteista, ohjausperiaatteista ja näiden tarvitsemista anturoinneista sekä ohjauksesta.

Työn edetessä havaittiin, että aktiiviset jäähdytysjärjestelmät, jotka liitetään hydraulikkakoneikon-tankkiin, ovat lähtökohtaisesti erittäin yksinkertaisia, mikäli näihin ei lisätä mittauskomponentteja sekä ohjausjärjestelmiä. Tämä pätee myös vääntömoottoreihin suunniteltuun vesikiertojärjestelmään, joka pohjautuu kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien vesikiertojärjestelmiin.

Työn tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä hydraulikan jäähdytysjärjestelmät suunniteltiin lukuisien kirjallisuuslähteiden mukaisesti, hyödyntäen asiantuntijoiden ja laitevalmistajien tietoja sekä kokeuksia. Vääntömoottoreiden jäähdytysjärjestelmän piiri toteutettiin ilman kirjallisuuslähteitä, sillä kyseiseen järjestelmään kuuluvat komponentit tekivät piiristä erikoistapauksen. Piirin virtaukseen ja paineen säätelyyn käytettyä älypumppua hyödynnetään kiinteistöissä olevissa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä. Kyseinen laitteisto kaipaa mitoitusvaiheessa tarkempaa tarkastelua, ja vaatii mahdollisesti muutoksia, sillä järjestelmän mitoitus antaa virallista tietoa esimerkiksi järjestelmään syntyvistä paineiskuista.

Työn pohjalta toimeksiantaja pystyy selvittämään oikeat komponenttivalinnat ja näiden perusteella jäähdytysjärjestelmiin liittyvät mitoitukset. Työssä mitoitusosio jätettiin suorittamatta, sillä tämä olisi lisännyt työn laajuutta ja lisäksi kaikkia tarvittavia mitoitusarvoja ja lopullista komponenttivalintaa ei suoritettu työn aikana. Työ antaa kuitenkin hyvän pohjan jatkaa suunnittelutyötä, sillä järjestelmän toimintaperiaatteet ja edellä mainitut asiat ovat käsitelty ja esitetty.

## LÄHTEET

- Aittomäki, Antero, Aalto, Esa & Suomen kylmäyhdistys 2012. Kylmäteknikka. 4. painos. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys 2012
- Blomberg, Jarno. Painetehto Oy:n Suunnittelupäällikkö. Suullinen tiedonanto 22.2.2021
- Finder. Esittely. Veisto Oy. <https://www.finder.fi/Puunty%C3%B6st%C3%B6koneet+ja+sahakoneet/Veisto+Oy/M%C3%A4ntyharju/yhteystiedot/183947> Viitattu 22.4.2021
- Huhtinen Markku. Savonia-ammattikorkeakoulu Koulutus­päällikkö. Suullinen tiedonanto 09.03.2021
- Kauranne, Heikki, Kajaste, Jyrki & Vilenius, Matti 2013. Hydrauliteknikka. 2. uud. p. Helsinki: Sanoma pro
- Kianta, Jani 2013. Kylmäteknikan käsikirja. 1. painos. Tampere: Eräsalon Kirjapaino Oy
- Kunnossapitoyhdistys ry. Teollisuushydraulijärjestelmien suunnittelu- ja hankintaohje. N:o 5. Rajamäki: Kunnossapitoyhdistys
- Mäkelä, Mikko, Soininen, Lauri, Tuomola, Seppo & Öistämö Juhani 2016. Tekniikan Kaavasto. 16.painos. Tampere: Tammertekniikka
- Nydal, Roald; suom. Muuronen Markku 2008. Käytännön kylmäteknikka. 4. painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry
- Energiakauppa.com. Propyleeniglykoli 30 %. Ominaisuudet. Verkkajulkaisu. <https://www.energiakauppa.com/Paisunta-astia/Pakkasneste> Viitattu 19.4.2021
- PSK standardisointiyhdistys 2006. Teollisuushydraulijärjestelmän suunnittelu ja hankinta. 1. painos. Helsinki: PSK standardisointiyhdistys
- Pulli, Martti 2018. Virtaustekniikka. 3. uusittu painos. Tampere: Tammertekniikka
- Savonia-ammattikorkeakoulu. Esittely. Verkkajulkaisu. <https://www.savonia.fi/tutustu-savoniaan/> Viitattu 22.4.2021.
- Tiirikainen, Heikki. Painetehto Oy:n Komponenttimyynti. Suullinen tiedonanto 22.2.2021
- Veisto Oy. Esittely. Verkkajulkaisu. <https://hewsaw.com/fi> Viitattu 22.4.2021.

## LIITE 1: VÄÄNTÖMOOTTOREIDEN TIEDOT

Liite poistettu toimeksiantajan yritysalaisuuksien turvaamiseksi.