

Joni Jalonen

## TELAHYDRAULIIKAN MODERNISOINTI

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
2019

## TELAHYDRAULIIKAN MODERNISOINTI

Jalonen, Joni  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Lokakuu 2019  
Ohjaaja: Teinilä, Teuvo  
Sivumäärä: 33  
Liitteitä: 0

Asiasanat: hydraulikka, superkalanteri, hydraulijärjestelmät

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella superkalanterin telahydrauliikan modernisointi. Työn toimeksiantajana oli UPM Communication Papers:n Rauman tehdas.

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään pääosin hydraulikka, jonka lisäksi käydään läpi paperin syntyprosessia, sekä hieman sähkötekniikkaa. Modernisointi vaatii toteutukseen sekä ohjelmointia että sähkötekniikkaan perehtymistä, joita ei tässä työssä käsitellä.

Työ aloitettiin tutkimalla hydraulipumppuja, jotta saatiin selville mahdollistaako jokin pumppu kyseisen modernisoinnin. Lopputuloksena saatiin suunniteltua modernisointiin vaadittavat komponentit. Modernisoinnin toteutuessa ja käyttökokemuksien ollessa positiivisia se on helposti toteutettavissa myös tehtaan muille vastaaville superkalantereille.

## ROLL HYDRAULICS MODERNIZATION

Jalonen, Joni

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology

October 2019

Supervisor: Teinilä, Teuvo

Number of pages: 33

Appendices: 0

Keywords: hydraulic, supercalender, hydraulic systems

---

The topic of this thesis was to plan supercalender roll hydraulic modernization. The thesis was commissioned by UPM Communication Papers Rauma factory.

The thesis was definite to handle mainly hydraulic, also go through how to make paper and little bit electrotechnology. Actualize this modernization there is still works to do like programming and electrotechnology need to look, which aren't handle in this thesis.

The thesis was started to investigate hydraulic pumps to find out, if it's possible to do modernization with some pump. Thesis results was to design components which will fit to do modernization. If this modernization is actualized some day and if user experience is positive this is easy to actualize other similar type of supercalenders.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYSESITELY .....	7
2.1	UPM.....	7
2.2	Communication papers .....	7
2.3	Rauman tehdas .....	8
3	PAPERIN VALMISTUS .....	9
3.1	Yleistä .....	9
3.2	Kalanterointi .....	11
3.2.1	Kalanteroinnin tavoite .....	11
3.2.2	Muuttujien hallinta .....	11
3.2.3	Superkalanterin rakenne .....	12
3.2.4	Taipumakompensoitu Küsters S-tela.....	13
4	HYDRAULIIKKA .....	14
4.1	Hydraulitekniiikan perusteet .....	14
4.2	Hydrauliikan komponentit .....	16
4.2.1	Säiliö.....	16
4.2.2	Hydraulineste.....	17
4.2.3	Hydraulipumppu.....	17
4.2.4	Paineenrajoitusventtiili .....	18
4.2.5	Suodatus.....	19
4.2.6	Lämmönsiirtimet .....	20
4.2.7	Putkisto komponentit.....	20
4.2.8	Tilavuusvirtamittari .....	20
4.2.9	Painelähetin.....	21
5	SÄHKÖTEKNIikka .....	22
5.1	Vaihtosähkömoottori.....	22
5.2	Taajuusmuuttaja.....	23
6	TELAHYDRAULIIKAN SUUNNITTELU JA KOMPONENTTIEN VALINTA... 23	
6.1	Nykyinen hydrauliikkajärjestelmä.....	23
6.2	Hydrauliikkajärjestelmän suunnittelu .....	24
6.3	Hydraulipumppu .....	25
6.4	Paineenrajoitusventtiili .....	28
6.5	Painemittaus .....	29
6.6	Virtausmittaus .....	29
6.7	Toimilaitteventtiili .....	30
6.8	Sähkömoottori.....	30

6.9 Taajuusmuuttaja.....	31
7 YHTEENVETO .....	32
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan UPM Communication Papers Oy:n Rauman paperitehtaan superkalanterin telahydrauliikan modernisointia. UPM Rauman tehdas valmistaa päätuotteina LWC- ja SC-paperia. Superkalanteri on laite paperikoneen ja pituusleikkurin välissä, jolla muokataan paperin pintaominaisuudet ja paksuusprofiili halutun kaltaiseksi. Superkalanterin ala- ja ylätela ovat taipumakompensoituja Küsters s-teloja, joilla saadaan voima jaettua tasaisesti koko telan leveydelle. Tela-akseli on rakenteeltaan kiinteä, jonka ympärillä pyörii vaippaputki. Akselin ja vaippaputken väliin jää paine- ja paluukammio, jotka on erotettu toisistaan pituussuuntaisilla tiivisteillä. Öljy johdetaan painekammioon, jossa paineen suuruudella voidaan vaikuttaa telan taipumaan. Kalanterin ala- ja ylätelojen hydrauliikka on telahydrauliikkaa, jota kyseinen opinnäytetyö käsittelee.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, onko taajuusmuuttajan avulla käytettävä hydraulpumppu mahdollista asentaa kyseiseen kohteeseen, ja selvittää tarvittavat hydrauliikka osat modernisointiin. Modernisoinnin avulla saadaan tietoa telan sisäisestä kunnosta, minkä lisäksi komponenttien määrä vähenee, jolloin vian haku helpottuu. Järjestelmä on helposti säädettävissä eri parametreihin, ja käytettävissä oleva virtausmäärä laajenee.

## 2 YRITYSESITTELY

### 2.1 UPM

UPM-Kymmene Oyj on saanut alkunsa vuonna 1996, jolloin suuri suomalainen yritysjärjestely toteutui. Yhtyneet Paperitehtaat Oy ja Kymmene Oy fuusioituivat suureksi kansainväliseksi metsäteollisuusyhtiöksi UPM-Kymmene Oyj:ksi. Liikevaihdolla ja markkina-arvolla tarkasteltuna yhtiöstä tuli Euroopan suurin metsäteollisuusyritys sekä yksi maailman suurimmista paperinvalmistajista. UPM on maailmanlaajuinen yhtiö ja sillä on noin 19 000 työntekijää 46 maassa ja 54 tuotantolaitosta 12 maassa. Yhtiöllä on noin 93600 osakkeenomistajaa 32 maassa, joista kaksi kolmasosaa on muiden kuin suomalaisten omistuksessa. Markkinoilla on ollut ylikapasiteettia paperin kysyntään nähden, joten tuotantoa viime vuosina tehostettu eri tavoilla. Paperikoneita ja -tehtaita on viime vuosina suljettu eri puolilla maailmaa. Kustannussäästöjä on haettu monilla eri tavoilla jokaisella tehtaalla ja ideoita on jaettu myös muille yhtiön tehtaille. UPM:n liikevaihto vuonna 2018 oli noin 10,5 miljardia euroa. Liikevaihdosta noin 62 % tuli Euroopan markkina-alueelta. (UPM-Intranet www-sivut.)

UPM on muuttanut liiketoimintamallinsa integroidusta metsäteollisuusyhtiöstä kuudella liiketoiminta-alueella toimivaksi yhtiöksi. Liiketoiminta-alueet ovat kilpailukykyisiä ja niillä on vahvat markkina-asetat. Kuusi liiketoiminta-alueita ovat *Biorefining*, *Energy*, *Raflatac*, *Specialty papers*, *Communication Papers*, *Plywood* sekä lisäksi *Biocomposites* ja *Biochemicals* liiketoiminnot. UPM:n toiminta-ajatus on luoda arvoa tarttumalla bionalouden tarjoamiin rajattomiin mahdollisuuksiin. (UPM-Intranet www-sivut.)

### 2.2 Communication papers

UPM Communication Papers Oy valmistaa sanoma- ja aikakauslehtipapereita sekä hienopapereita 15 paperitehtaalla Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Communication papers on maailman johtava graafisten papereiden valmistaja, jonka tuotantokapasiteetti vuonna 2018 oli noin 8 miljoonaa tonnia. Liikevaihto oli noin 4,7 miljardia euroa,

joka on 45 % koko UPM:n liikevaihdosta. Yksi Communication Papers:n tehdasin-tegraateista on Rauman tehdas. (UPM-Intranet www-sivut.)

### 2.3 Rauman tehdas

Teollinen toiminta alueella on alkanut vuonna 1912, jolloin Vuojoki Gods Ab aloitti saha toiminnan alueella. Alueella on toiminut ennen paperitehdasta myös telakka, sellutehdas ja konepaja. Vuonna 1969 käynnistyi paperikone 1. 1970- ja 1980-luvulla valmistuivat paperikoneet 2 ja 3. Paperikone 4 käynnistyi vuonna 1998, joka on viimeisin Suomeen rakennettu paperikone. Tuotannon kasvaessa merkittävästi valmistui samana vuonna myös uusi pakkaamo. Vuonna 2013 paperikone 3 suljettiin, ja lähes sadalta loppuivat työt. Rauman tehtaalla työskentelee nykyään noin 520 henkilöä, joista osa tekee vuorotyötä tehtaan käydessä ympäri vuorokauden. Rauman tehdas on yksi konsernin suurimmista tehtaista. Suuri tehdas alue sisältää kolme paperikonelinjaa, kuorimon, hiomot ja kuumahiertämöt, biovoimalaitoksen, vesilaitoksen ja jätevedenpuhdistamon. Lisäksi tehdasalueella RaumaCell valmistaa Fluff-sellua eli revinnäismassaa hygienia- ja kattaustuotteiden raaka-aineeksi. Jätevesilaitoksella puhdistetaan teollisuuden ja kaupungin jätevedet. Kahdella paperikoneella valmistetaan päällystettyä ja yhdellä paperikoneella päällystämätöntä aikakauslehtipaperia. Tuotantokkyky on 935 000 tonnia vuodessa, jonka valmistukseen käytetään vuosittain yli 1,3 miljoonaa kuutiometriä kuusipuuta. (UPM-Intranet www-sivut.)



Kuva 1. Tehdasalue 2017 (UPM Intranet)



## 3 PAPERIN VALMISTUS

### 3.1 Yleistä

Jokaiselle valmistettavalle paperi- tai kartonkilajille on erilainen raaka-ainekoostumus, jossa kuitujen, täyteaineiden, liimojen ja lisäaineiden koostumukset ja määrät vaihtelevat. Eri raaka-aineilla on omanlainen tehtävänsä, jotta valmiin tuotteen laatuksiteerit ja ominaisuudet saavutetaan. Halutut ominaisuudet saattavat olla vastakohtia, jolloin joudutaan valitsemaan sopiva kompromissi tarpeellisten ominaisuuksien täyttymiseksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 14.)

Raumalla käytettävä kemiallinen massa on havupuusulfaattisellua, jolla on hyvät lujuusominaisuudet. Käytössä on myös mekaaniset massat, hioke ja hierre, joiden lujuusominaisuudet ovat alhaisemmat kuin kemiallisilla massoilla. Mekaanisilla massoilla kuitenkin saavutetaan lopputuotteelle hyvät pintaominaisuudet. Kemiallisten ja mekaanisten massojen välissä niin valmistusteknisesti kuin ominaisuuksiltaan on kemimekaaninen massa, jota myös Raumalla valmistetaan.

Kemimekaanisella massalla saavutetaan eritoten lujuusominaisuuksia, ja samalla raaka-ainekustannukset saadaan alhaisemmiksi, koska sellun osuutta on mahdollista pienentää. Useissa lajeissa on lisäksi käytössä monia täyte-, lisä- ja apuaineita. Näiden avulla saavutetaan halutut ominaisuudet sekä parannetaan raaka-ainetaloudellisuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 14-15, 34.)

Paperikone muodostuu perälaatikosta, viiraosasta, puristinosasta, kuivatusosasta ja rullaimesta. Paperiraina muodostetaan perälaatikossa ja viiraosalla. Perälaatikoita on erityyppisiä, mutta niillä on sama tarkoitus. Perälaatikosta syötetään laiha ja tasainen kuituseos koko viiraosan leveydelle. Seoksen sakeus ja sen syöttönopeus on oltava tasaista. Syötetyn kuituseoksen eli sulpun sakeus viiraosalle syötettäessä on noin 1 %. Viiraosan viiraa kutsutaan märkäviiraksi ja se on valmistettu muovilangoista. Viiraosalla saadaan poistetuksi yli 95 % syötetyn sulpun sisältämästä vedestä. Kuiva-ainepitoisuus on puristinosalle siirryttäessä 15-20 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 15-16, 131-132.)

Puristinosalla paperiraina kulkee erilaisten telojen muodostamien puristusnippien välistä. Usein telaparien muodostamia nippejä on puristinosalla 2–4. Puristinosalla on käytössä huovat, joiden pinnalla tai välissä paperiraina kulkee. Puristinosalla pyritään nostamaan paperin kuiva-ainepitoisuus mahdollisimman korkeaksi, jotta kuivatusosan käyttämää kallista höyryenergiaa saadaan säästettyä. Puristinosalla kuiva-ainepitoisuus saadaan nostettua 40–60 %:iin. Edellä mainitut perälaatikko, viiraosa ja puristinosia muodostavat niin kutsutun märkápään. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16, 155-160.)

Kuivatusosa koostuu lukuisista höyryllä lämmitettävistä isoista sylintereistä, jotka kootaan viirojen avulla kuivatusryhmiksi. Kuivatusosa on kokonaan suljettu koteloimalla, jota kutsutaan huuvaksi. Huuvan avulla ilmavirtaukset ovat paremmin hallittavissa, lämpöhäviöt ovat pienemmät ja lisäksi se mahdollistaa lämmön talteenoton. Kuivatusosalla voi olla myös esimerkiksi päällystysasemia tai välikalanteri. Kuivatusosalla paperista haihdutetaan ylimääräinen vesi pois. Riippuen paperilajista haluttu loppukosteus on 3–10 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16, 163-168.)

Paperikoneen viimeisenä jatkuvana prosessin osana on rullain, jonka tehtävänä on rullata koneen levyinen tasomainen paperi suureksi konerullaksi. Paperia uudelleen rullataan muutamia kertoja ennen kuin se on valmis lähetettäväksi asiakkaalle. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16, 220.)

Paperi ei vielä suoraan sovellu asiakkaan käyttötarkoituksiin. Paperia on kalanteroitava joko ennen rullainta tai erillisellä kalanterilla. Erillinen kalanteri on tyypillinen toteutustapa, jota kutsutaan superkalanteriksi. Kalanterin päätehtävänä on muun muassa paperin pintaominaisuuksia parantaminen, paksuuden säätäminen ja paksuusprofiilin tasaus. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16, 204-213.)

Pituusleikkurilla leikataan täysleveä konerulla asiakkaan vaatimusten mukaisiksi rulliksi. Leikkauksen yhteydessä asiakasrullan ajettavuus tulee testattua ja aikaisemmin syntyneet virheet saadaan poistettua. Pituusleikkurilta lähtevät rullat kuuluisivat olla virheettömiä ja asiakkaan vaatimusten mukaisia. Pituusleikkureita on erityyppisiä.

Pituusleikkurilta rullat kuljetetaan pakkaamoon, jossa rullat pakataan käärepaperiin, lähetettäväksi asiakkaalle. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16-17.)

## 3.2 Kalanterointi

### 3.2.1 Kalanteroinnin tavoite

Kalanteroinnin jälkeen paperin ominaisuuksiin ei juurikaan voida vaikuttaa. Kalanteroinniksi kutsutaan prosessin osaa, jossa paperia puristetaan telojen muodostamissa nipeissä. Paperin pintaominaisuuksien muokkaaminen vaatimusten mukaisiksi, ja paksuusprofiilin hallinta on kalanteroinnin tärkeimpiä tehtäviä. Kalanteroinnissa tehdään kompromissi suotuisten ja epäsuotuisten ominaisuuksien välillä. Pintaominaisuuksien parantuessa tapahtuu samanaikaisesti haitallisia muutoksia ominaisuuksissa, jotka ovat riippuvaisia paperin paksuudesta. Näitä ominaisuuksia on muun muassa jäykkyys, lujuus sekä optiset ominaisuudet. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204-205.)

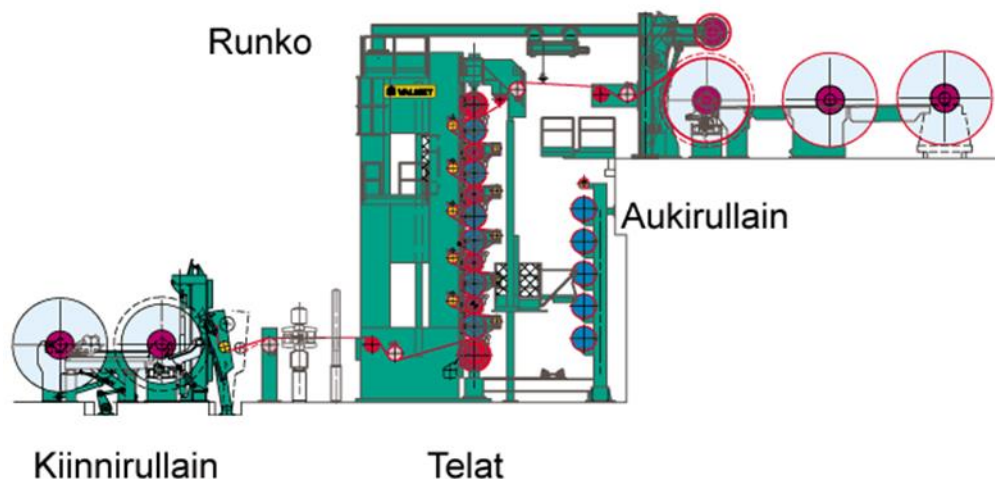
### 3.2.2 Muuttujien hallinta

Kalanterointitulokseen voidaan vaikuttaa useammalla eri tekijällä. Paperin ja päällysteen ominaisuuksilla on useampia vaikuttavia tekijöitä. Kalanterin rakenne ja hallintasuureet ovat kalanterista riippuvia tekijöitä. Hallintasuureita ovat muun muassa viivakuorma, ajonopeus ja pintalämpötila. Paperikoneella muodostuu paperin lopullinen kalanteroitavuus. Kalanteroinnin lopputulokseen voidaan vaikuttaa puristuspaineen sekä viipymääjan muutoksilla. Näihin voidaan vaikuttaa muuttamalla viivakuormia ja ajonopeutta. Viipymääjalla tarkoitetaan aikaa, jonka paperi kulkee telojen välissä puristuksen alaisena ja lämpö muokkaa rainaa samalla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204-205.)

### 3.2.3 Superkalanterin rakenne

Superkalanterin pääosia ovat runko, telasto, kuormituslaitteet, auki- ja kiinnirullaus sekä apulaitteet. (Knowpap 2017)

## Superkalanterin rakenne

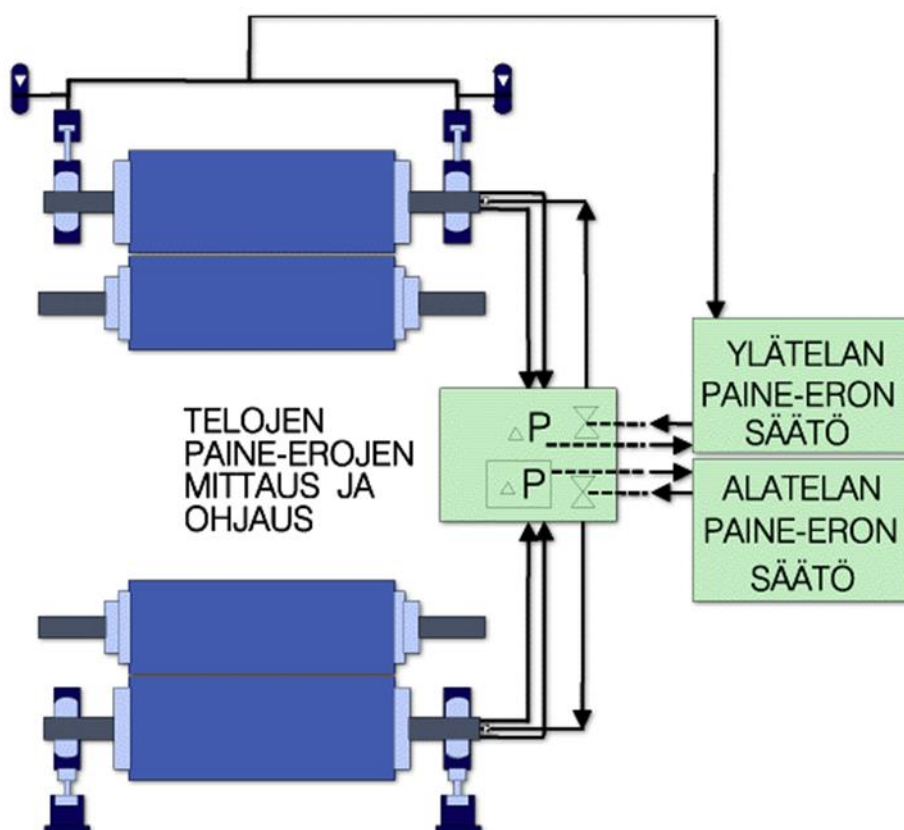


Kuva 2. Superkalanterin rakenne (Knowpap 2017)

Perinteisessä superkalenterissa on normaalisti 12 telaa päällekkäin. Puolet teloista ovat kovapintaisia kokilliteloja. Ylin ja alin kokillipintaiset tela ovat taipumakompensoituja ja niiden halkaisija on suurempi kuin muiden telojen. Välissä olevat telat ovat vuorotellen pehmeitä teloja ja vesilämmitteisiä kokilliteloja. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 213-214.)

Hydraulisylintereillä nostetaan telastoa alhaalta ylöspäin, jolloin nipit sulkeutuvat ja yläsylintereillä painetaan lisäkuormaa. Nippien ollessa suljettuna jokaisen telan paino on aina alemman telan varassa, jolloin viivakuorma nipissä kasvaa ylhäältä alaspäin. Nippien ollessa kiinni voidaan telastoa pyörittää sähkömoottorin avulla, joka on yhdistetty vain yhteen kokillitelaan. Paperipintaiset pehmeät telat ovat huonoja lämmönkestävyydeltään, minkä takia ne rajoittavat ajonopeutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 213-214.)

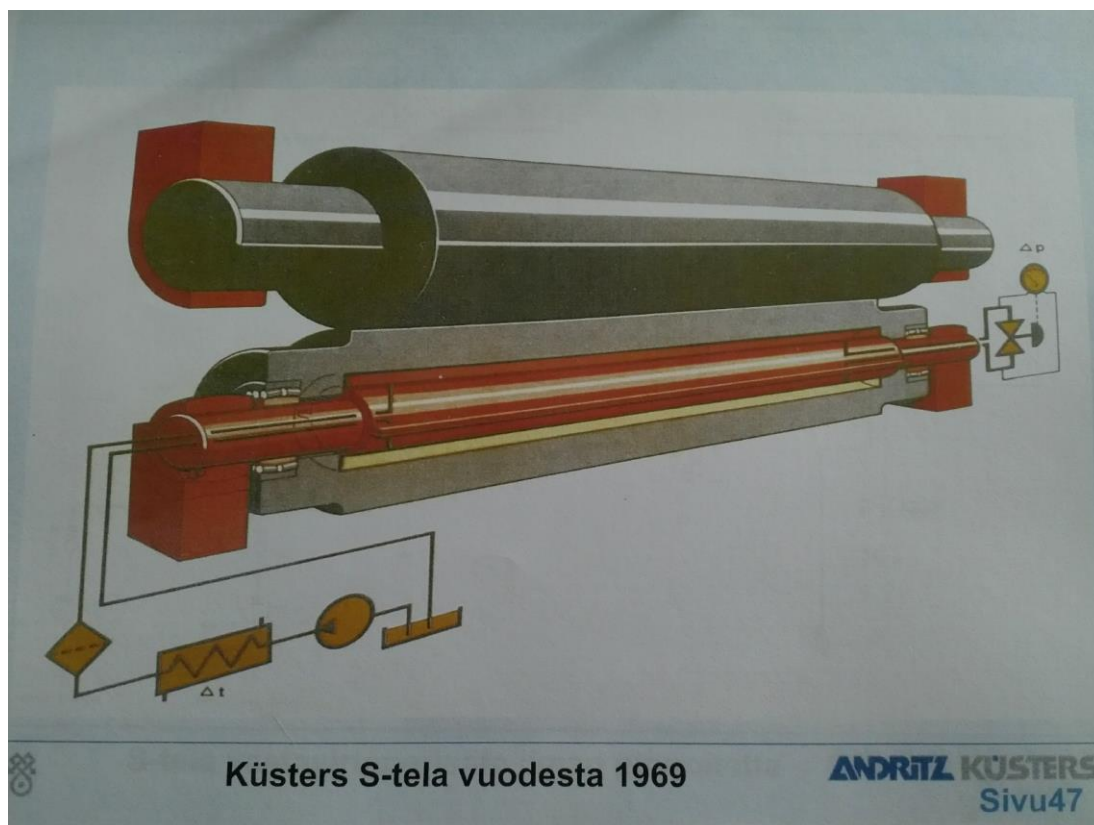
Järjestelmä laskee taipumakompensoitujen telojen paine-erosäätimille halutut painearvot. Painesäädöillä voidaan vaikuttaa paperin paksuusprofiiliin. Asetus- ja mitausarvoja mitataan jatkuvasti. Eron ollessa liian suuri järjestelmä hälyttää ja tarvittaessa pysäyttää koneen. Katkoautomaatiikan toiminta on oltava nopeaa, koska pehmeät telat voivat vahingoittua erittäin helposti. Kuormituspainneiden on poistuttava mahdollisimman nopeasti ja nippien avauduttava. (Knowpap 2017)



Kuva 3. Paine-eron säätö (Knowpap 2017)

### 3.2.4 Taipumakompensoitu Küsters S-tela

S-telalla saadaan voima jaettua tasaisesti koko leveydelle. Tela-akseli on rakenteeltaan kiinteä ja sen ympärillä pyörii vaippaputki. Akselin ja vaippaputken väliin jää paine- ja paluukammio, jotka on erotettu toisistaan pituussuuntaisilla tiivisteillä. Öljy johdetaan painekammioon, jossa paineen suuruudella voidaan vaikuttaa telan taipumaan. Painekammion on aina oltava kohti vastatela ja viivapainetta saa ottaa vain vastatela vasten. Pituustiivisteiden on vuodettava öljyä myös huollon jälkeen paluukammioon. Sekä pituustiivisteet että laakerit saavat voitelun vuotoöljystä. (Küsters 1975)



Kuva 4. Küsters S-tela (Küsters kansio)

## 4 HYDRAULIIKKA

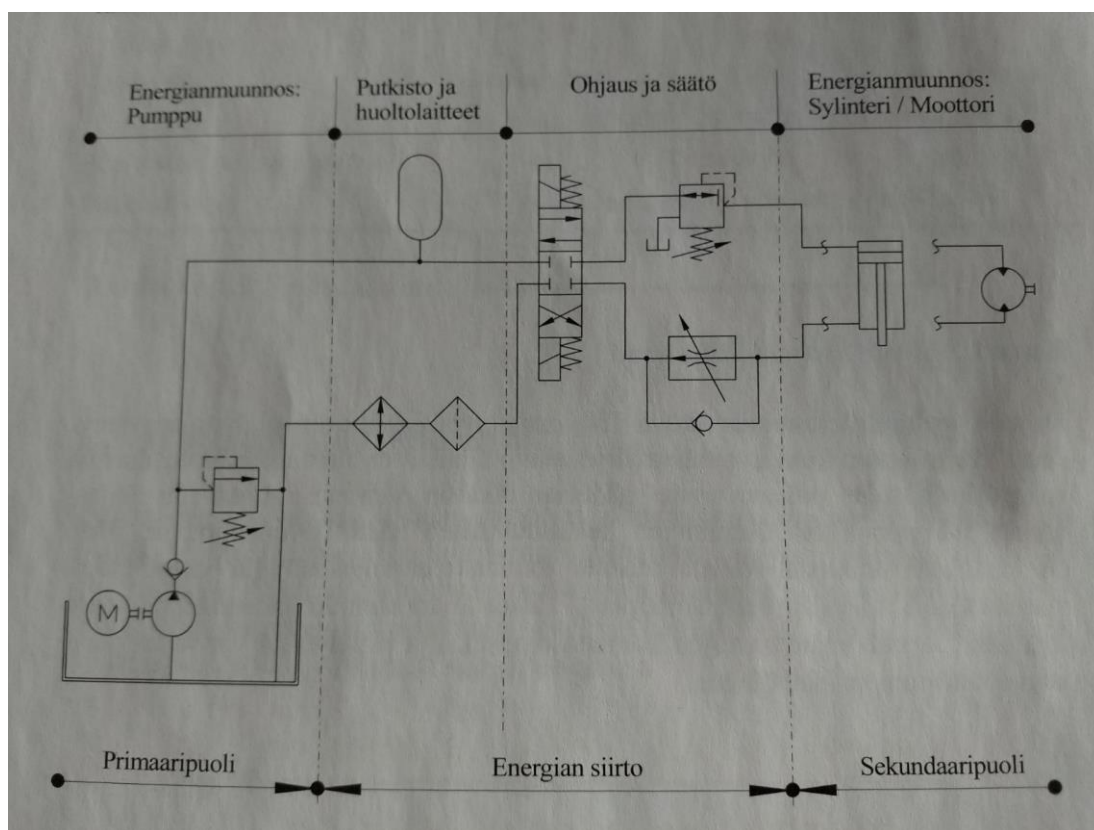
### 4.1 Hydraulitekniiikan perusteet

Hydraulijärjestelmät ovat tehonsiirtoketjuja, joiden tarkoituksena on muuntaa mekaaninen teho hydrauliseksi, välittää teho nesteen avulla kohteeseen ja muuntaa takaisin mekaaniseksi tehoksi. Teho saadaan siirrettyä nesteen avulla, jossa se on paineen ja tilavuusvirtauksen muodossa. Neste siirretään letkuja ja putkia pitkin käyttöpaikkaan, jotka voidaan asentaa parhaiksi katsotuista paikoista. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 1-5.)

Hydraulijärjestelmissä tehoa siirretään hydrodynaamisilla ja hydrostaattisilla mekanismeilla. Hydrodynaamisessa mekanismissa teho on sidottu liike-energiaksi ja hydrostaattisessa taas paine-energiaksi. Hydrostaattiset järjestelmät voidaan jakaa avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Tyypillisesti teollisuudessa on avoimia hydraulii-

kajärjestelmiä, joissa on yleensä suuri öljysäiliö. Hydraulipumppu on yksisuuntainen, minkä seurauksena liikesuunnat ohjataan venttiilien avulla eikä pumpun suunnan muutoksella. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 1-5.)

Digitalisaation kehitys on monipuolistanut ja helpottanut elektroniikan lisäämistä komponentteihin ja järjestelmiin sekä tuonut kustannuksia alemmas hydraulikomponenteissa. Hydrauliikan avulla voidaan ohjata monia eri suureita kuten esimerkiksi nopeutta, voimaa ja liikesuuntaa. Kehitys on luonut monia uudistusmahdollisuuksia nykyisille laitteistoille, joiden ominaisuuksia ja ohjauksia on mahdollisuus parantaa. Myös kustannussäästöjä on mahdollista saada. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 1-5.)



Kuva 5. Hydraulijärjestelmä ja sen osa-alueet. (Kauranne ym. 2013,6).

Energianmuunnoksessa hydraulipumpun tarvitsema teho tuotetaan teollisuudessa pääsääntöisesti sähkömoottorin avulla. Käyttöpaikalla tuotettu energia muutetaan jälleen mekaaniseksi hydraulisylinterien ja hydraulimoottoreiden avulla. Sääto- ja ohjausosassa saadaan sekä säädettyä että ohjattua tilavuusvirtaa ja painetta. Tila-

vuusvirran muutoksilla voidaan vaikuttaa liikesuuntiin ja nopeuksiin. Paineen muutokset vaikuttavat sekä voimaan, että momenttiin. Molempia voidaan halutessa säätää portaattomattomasti tai porrastetusti. Putkisto ja huoltolaitteet sisältävät putkiston lisäksi myös hydraulikkaöljyn suodatuksen ja jäähdytyksen. (Kauranne ym. 2013, 6.)

Telahydrauliikassa mekaaninen teho tuotetaan sähkömoottorien ja pumppujen avulla nesteen virtaukseksi. Erilaisilla komponenteilla saadaan hallittua järjestelmän painetta, mitattua virtausta ja painetta. Neste kiertää suodatuksen ja jäähdytyksen kautta kentälle telaan.

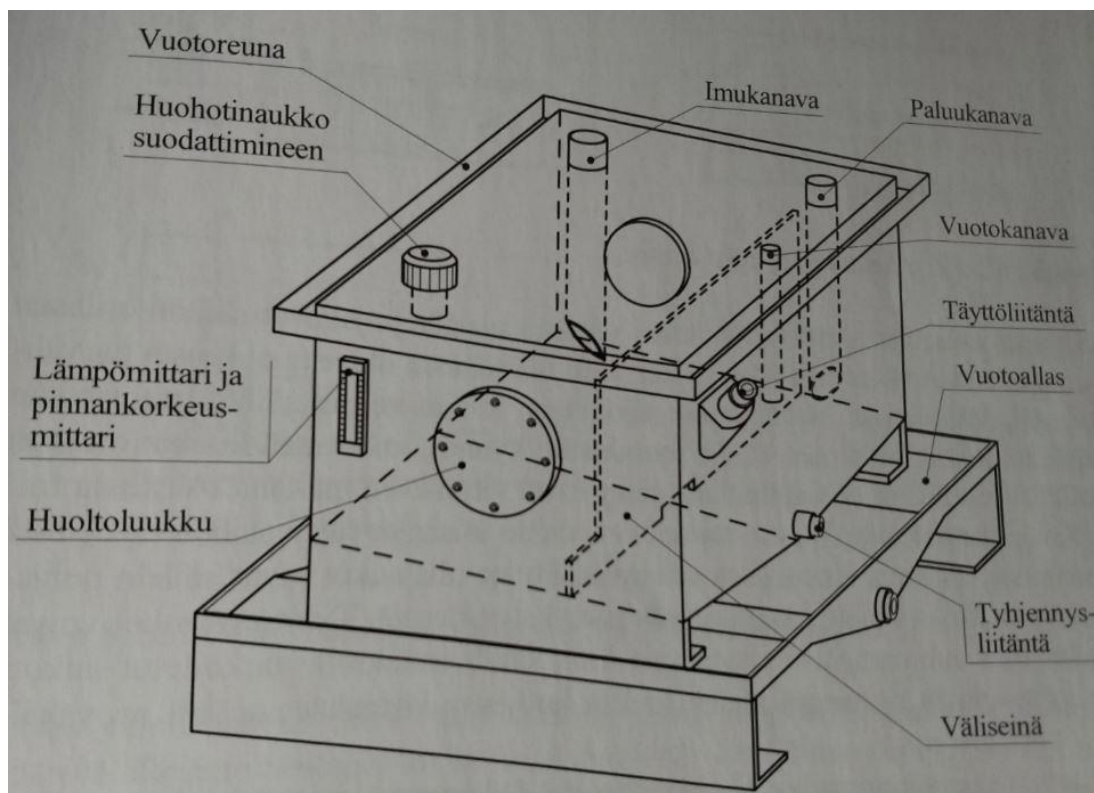
## 4.2 Hydrauliiikan komponentit

Seuraavaksi käydään läpi uudistettavan telahydrauliikan tarvittavia komponentteja.

### 4.2.1 Säiliö

Säiliö toimii hydraulinesteen varastona, josta otetaan järjestelmään tarvittava nestemäärä ja jonne neste myös palautuu. Lähtevä ja palaava tilavuusvirtaus eivät välttämättä ole saman suuruisia, joten säiliön on oltava tilavuudeltaan riittävän suuri, ettei toimintahäiriöitä synny. Säiliö toimii myös lämmönsiirtimenä, jolloin jäähdytyskyky riippuu myös ympäristön ja säiliön lämpötilaerosta. (Kauranne ym. 2013, 409-410.)





Kuva 6. Säiliö varusteineen. (Kauranne ym. 2013, 411).

#### 4.2.2 Hydraulineeste

Nesteen tärkein tehtävä on siirtää voimaa ja liikettä. Nesteen on myös pidettävä pysyvä voiteluainekalvo liikkuvien pintojen välissä sekä jäähdytettävä järjestelmää. Nesteitä lisäaineistamalla voidaan parantaa monia haluttuja ominaisuuksia. Hydraulineesteet luokitellaan niiden viskositeetin mukaan, joka on myös tärkein kriteeri nestettä valittaessa. (Kauranne ym. 2013, 112-114,121.)

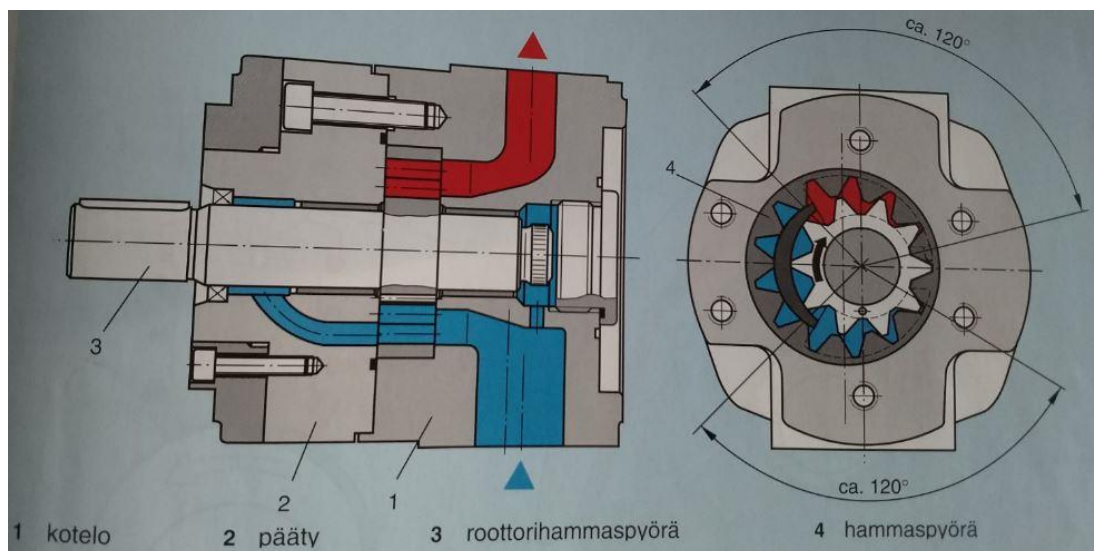
Telohydrauliikassa on käytössä ISO VG 220 viskositeetti luokan täyssynteettinen öljy.

#### 4.2.3 Hydraulipumppu

Pumpun tehtävänä on muuntaa mekaaninen teho hydrauliseksi tehoksi. Pumppuja on rakenteellisesti erilaisia ja niiden valintaa tehdessä on otettava huomioon erinäisiä

asioita. Erilaisia pumppuja ovat: hammaspyöräpumput, ruuvipumput, siipipumput ja mäntäpumput. (Kauranne ym. 2013, 137.)

Hammaspyöräpumppuja on sisä- ja ulkohammaspyöräpumput, joista tässä työssä käsitellään sisähammaspyöräpumppua.

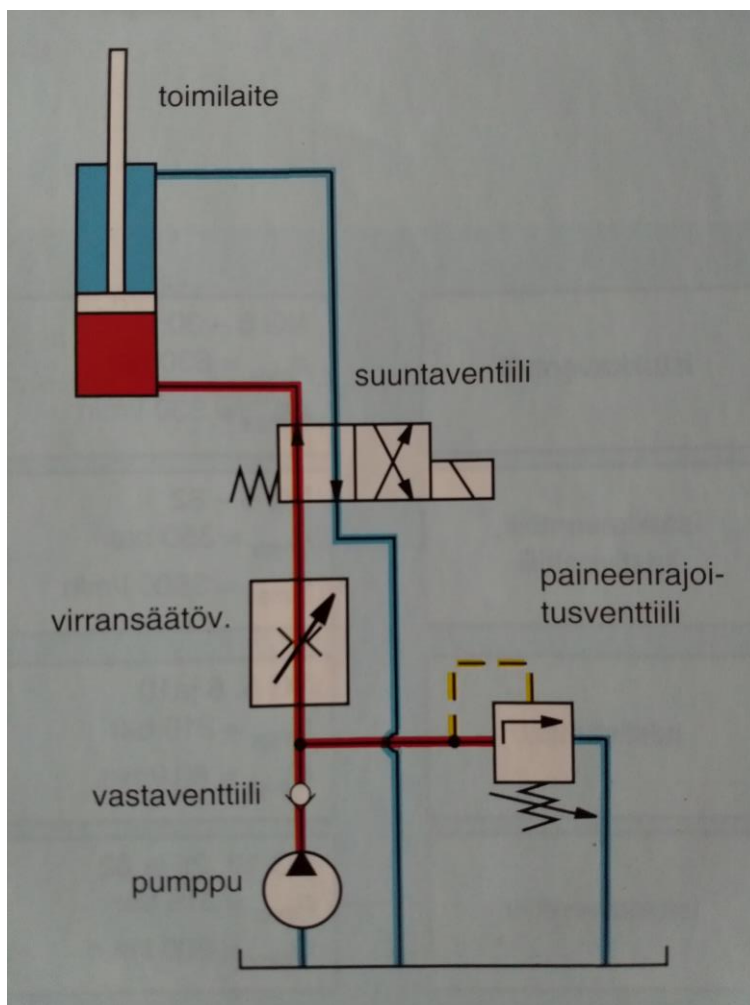


Kuva 7. Sisähammaspyöräpumpun rakenne. (Exner ym. 1991, 63).

Sähkömoottorilta tuleva teho tuodaan kytkimen välityksellä sisempään hammaspyörään, joka on käyttävä ja ulompi käytettävä hammaspyörä. Ryntökohdan jälkeen hampaat erkanevat toisistaan, jolloin välin tilavuus kasvaa ja lovet täyttyvät nesteellä. Hampaiden taas lähestyessä toisiaan ja kun välin tilavuus pienenee tarpeeksi alkaa neste siirtyä kohti paineaukkoa. (Kauranne ym. 2013, 153-154.)

#### 4.2.4 Paineenrajoitusventtiili

Paineenrajoitusventtiilin tehtävänä on rajoittaa paine maksimiarvoonsa, jottei mikään komponentti tai laite rikkoutuisi hallitsemattomasta paineen noususta. Normaalisti paineenrajoitusventtiili on suljettu, eikä sen läpi kulje nestettä. Paineen nousu säädetyn arvon yli ohjaa nesteen takaisin säiliöön venttiilin kautta. (Kauranne ym. 2013, 259.) Kuvassa on yksinkertainen piirikaavio, jossa painerajoitusventtiili sijoitettu siivirtaukseen heti pumpun jälkeen. (Exner ym. 1991, 214).



Kuva 8. Paineenrajotusventtiilin tyypillinen asennuspaikka. (Exner ym. 1991, 214).

#### 4.2.5 Suodatus

Hydraulijärjestelmältä edellytetään tiettyä puhtaustasoa ja käyttölämpötilaa, jotka varmistavat häiriöttömän käynnin ja pitkän käyttöiän. Komponenttien epänormaali kuluminen ja toimintahäiriöiden mahdollisuus kasvaa nesteen epäpuhtauden kasvaessa. Järjestelmään voi kulkeutua epäpuhtauksia monesta eri paikasta, kuten huohottimesta, sylinterien varren tiivisteistä, korjauksista sekä myös uuden nesteen mukana. Suodatin koostuu pestävästä tai vaihdettavasta panoksesta, rungosta sekä mahdollisesti erilaisista lisävarusteista. Suodatuksessa neste virtaa suodatinpanoksen läpi, ja epäpuhtaudet jäävät kiinni panokseen. (Kauranne ym. 2013, 377, 389.)

Työn kohteena olevassa järjestelmässä on käytössä 6 micronin suodatinpanokset.

#### 4.2.6 Lämmönsiirtimet

Nestettä voidaan jäähdyttää tai lämmittää sopivan käyttölämpötilan saavuttamiseksi. Optimi lämpötila mahdollistaa hyvän hyötysuhteen ja toimintavarmuuden. Optimi lämpötilalla nesteen viskositeetti ja sen ominaisuudet ovat suunnitellun mukaisia. Jäähdyttimien avulla nesteen lämpötilaa lasketaan siirtämällä lämpöä pois nesteestä. Jäähdyttimissä jäähdytysaineena ovat ilma tai vesi. Ilmajäähdyttimessä ilmaa puhalletaan kennoston läpi, jonka sisällä on jäähdytettävä neste. Vesijäähdyttimiä on putki- ja levyjäähdyttimisiä. Levyjäähdyttimessä on useita kerroksia, joiden välissä virtaa vuorotellen vesi ja jäähdytettävä neste. (Kauranne ym. 2013, 402-405.)

#### 4.2.7 Putkisto komponentit

Hydraulineste siirretään järjestelmässä putkien, letkujen ja liittimien kautta. Putkissa käytettävät tyypit, materiaalit ja seinämäpaksuudet riippuvat useasta eri tekijästä. Yleisiä putkityyppejä ovat muun muassa saumattomat tarkkuusteräsputket ja hitsatut tarkkuusteräsputket. Putkia ei voida käyttää kaikissa kohteissa, jolloin niiden sijasta käytetään letkuja. Putkia ei voida asentaa toisiinsa nähden liikkuviin osiin. Letkujen avulla voidaan ehkäistä värähtelyn eteneminen ja lämpölaajenemisen aiheuttamaa putken pituuden muutosta. Käytettäviä letkumateriaaleja on useita erilaisia ja niissä olevien vahvikekerroksien perusteella ne jaetaan eri painetasoille soveltuviksi. Putket ja letkut yhdistetään usein toisiinsa sekä muihin komponentteihin liittimien avulla. Liittimien avulla helpotetaan asennusta, voidaan ehkäistä kiertymistä ja lähtösuunnat ovat helposti muunneltavissa. Liittimiä on saatavilla useilla eri kierretyypeillä. (Kauranne ym. 2013, 418- 423.)

#### 4.2.8 Tilavuusvirtamittari

Tilavuusvirtaa voidaan mitata suoralla tai epäsuoralla mittaustavalla. Epäsuorat mittaukset toimivat patopaineperiaatteella ja suorat mittaukset syrjäytysperiaatteella. Syrjäytysperiaatteella toimivia mittauksia voivat olla esimerkiksi turbiini- tai siipipyörälaskurit. (Exner ym. 1991, 315.)



Kuva 9. Tilavuusvirtamittari. (Exner ym. 1991, 315).

Tilavuusvirtamittarin arvo voi olla katsottavissa suoraan mittarin osoittimesta tai elektronisen anturin antama tieto voidaan muuntaa näyttölaitteelta luettavaksi arvoksi. Tilavuusvirtamittareita on saatavilla eri mittausalueella toimivina.

#### 4.2.9 Painelähetin

Painelähetin muuntaa hydrostaattisen paineen virta- tai jänniteviestiksi, josta tieto saadaan prosessinohjausjärjestelmään ja näytöltä luettavaksi. Painelähettämiä on saatavilla eri painealueille. (Exner ym. 1991, 312.)



Kuva 10. Painelähetin (Rosemount)

## 5 SÄHKÖTEKNIikka

Tämä opinnäytetyö on rajattu käsittelemään hydraulikkaa, joten sähkötekniikan alalta mainitaan vain työn kannalta olennaiset osat.

### 5.1 Vaihtosähkömoottori

Vaihtosähkömoottoreita ovat oikosulku-, reluktanssi- ja kestopagneettimoottorit. Näistä yleisin on oikosulkumoottori. Staattorikäänitys on eri moottoreilla samanlainen. Sähköverkon taajuudella ja käämittävien napojen lukumäärällä voidaan vaikuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeuteen. Sähkömoottoreille on luotu hyötysuhdevaatimukset. Nämä vaatimukset ovat nopeuttaneet sähkömoottoreiden energiatehokkuutta. (Ahoranta 2017, 255-256.)

## 5.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajalla voidaan säätää sähkömoottorin nopeutta portaattomasti. Moottorin syöttöjännitettä ja taajuutta säädetään samassa suhteessa taajuusmuuttajan avulla. Moottoria voidaan pyörittää nimellinopeutta hitaammin, eikä sen vääntömomentti heikkene. Portaattomalla nopeuden säädöllä voidaan pienentää energian kulutusta ja saada järjestelmän säätöön tarkkuutta sekä hallittavuutta. (Ahoranta 2017, 261-263.)

# 6 TELAHYDRAULIIKAN SUUNNITTELU JA KOMPONENTTIEN VALINTA

## 6.1 Nykyinen hydraulikkajärjestelmä

Telahydrauliikassa on 3 kappaletta sisähammaspyöräpumppuja, joilla tarvittava paine ja tilavuusvirta tuotetaan. Pumppujen käyttömoottoreina ovat 7,5 kW/1500 1/min ja 5,5 kW/1500 1/min sähkömoottorit. Hydraulipumput ovat kahdessa eri piirissä, ylä- ja alatelalle on omat piirit. Molemmille piireille on oma hydraulipumppu, yhteisellä nestesäiliöllä. Alatelan pumppu on kaksoispumppu, jossa on kaksi hydraulipumppua peräkkäin. Alatelan pumppujen tuotto on 100 l/min ja 50 l/min, yhteensä 150 l/min. Ylätelan pumppu on 80 l/min. Nykyiset pumput ovat Bucher hydraulicsin valmistamat. Molemmissa piireissä on omat painesuodattimet sekä öljyn jäähdyttimet.

Järjestelmässä pumppujen koko tuotto siirretään telan päätyyn, jossa on paine-eronsäätäjä. Paine-eronsäätimellä säädetään telaan haluttu paine ja ylimääräinen tuotto johdetaan takaisin säiliöön. Säädin on paineilmatoiminen. Paineilman painetta muuttamalla saadaan telaan johdettua tarvittava tuotto. Järjestelmä mittaa painetta telan plus kammioista ja säätää säädintä, kunnes haluttu painearvo toteutuu. Telan toisessa päädyssä on vastaava venttiili, joka toimii vain pika-avausventtiilinä. Molempien päiden venttiilien avulla tela saadaan nopeasti paineettomaksi ja superkalanterin telasto aukaistaan. Paineenrajoitus on toteutettu öljyn viskositeetista riippuvalla

määräsäätö venttiilillä. Kyseistä venttiiliä ei ole varaosana tehtaalla eikä saatavana enää vastaavanlaisena.

Telassa on sisäistä vuotoa, jolloin plus kammioista vuotaa öljyä miinus kammioon. Telassa on oltava vuotoa, koska telan päädyssä olevat laakerit saavat voitelun kyseisestä öljystä.

Nykyisessä järjestelmässä on paljon komponentteja, minkä vuoksi vianhaku vaikeutuu. Järjestelmässä myös kierrätetään öljyä turhaan ja sen seurauksena syntyy hukkalämpöä ja ylimääräistä sähkönkulutusta. Nykyisin ei ole tietoa siitä, kuinka paljon tela sisäisesti vuotaa, tai siitä toimivatko paine-eronsäätimet varmasti oikein.

## 6.2 Hydraulikkajärjestelmän suunnittelu

Hydraulikkajärjestelmä toteutetaan vanhaa järjestelmää hyödyntämällä. Tarkoituksena on saada toimintavarmuutta, säädettävyyttä järjestelmään ja nopeuttaa mahdollista vian tutkintaprosessia. Nykyisestä järjestelmästä on tarkoitus poistaa tiettyjä komponentteja ja korvata niitä nykyaikaisemmilla vaihtoehdoilla. Komponenteiksi pyritään valitsemaan mahdollisuuksien mukaan samanlaisia tai vastaavia kuin tehtaalla on jo käytössä. Komponenttien hyödyntäminen muissakin kohteissa on mahdollista, ja muut järjestelmät olisivat päivitettävissä näitä vastaaviksi.

Hydraulipumppua käyttävä sähkömoottori tulee olla taajuusmuuttajalla käytettävä, jotta vältetään turhalta öljyn kierrättämiseltä. Sitä suunnitellessa otettava huomioon valmistajien antamat ehdot hydraulipumpun kierrosluvun säätöön. Sähkömoottorin kierrosluvun tulee olla 3000 r/min ja hydraulipumpun maksimikierrosluvun on oltava myös lähellä samaa nopeutta.

Alatelan hydraulipumppujen tuotto on yhteensä 150 l/min, joten molempien piirien pumppujen tuotto mitoitetaan mahdollisimman lähelle kyseistä arvoa. Molemmille piireille valitaan samanlainen pumppu, jotta yhtä varapumppua voidaan käyttää useammassa positiossa.

Paineenrajoitusventtiilin on kyettävä läpäisemään mahdollisesti koko pumpun tuotto.



Tilavuusvirtamittarin avulla voidaan saada järjestelmän kunnosta hyödyllistä tietoa. Telalle lähtevään putkistoon asennettavan mittauksen avulla voidaan varmistaa pumppun kunto ja todeta ettei paineenrajoitusventtiilin kautta tuotto mene säiliöön. Telan sisäisen vuodon kasvaessa voidaan ennakoida ja päättää sopiva ajankohta telan vaihdolle.

Pika-avausventtiilit olisi myös uusittava toisen tyyppiseksi. Telan kumpaankin päähän asennetaan toimilaitteventtiili. Toimilaitteventtiili on palloventtiili, johon lisätty paineilmatoiminen toimilaitte ohjaamaan toimielintä. Venttiili avautuu normaalisti jousivoiman avulla. Paineilman avulla venttiili suljetaan, kun tela paineistetaan. Telaston pika-avauksessa paineilma puretaan, ja venttiili avautuu nopeasti jousen avulla purkaen paineen telan sisältä. Paineilman tai sähköjen puuttuessa jousi avaa venttiilin, jottei vahinkoja pääse tapahtumaan.

### 6.3 Hydraulipumppu

Pumppua on tarkoitus käyttää vaihtelevilla kierrosnopeuksilla. Sähkömoottori olisi 3000 r/min, ja pyörimisnopeutta säädetään tarvittavan suuruiseksi taajuusmuuttajan avulla. Valittaessa pumppua täytyy huomioida valmistajien antama minimi ja maksimi pyörintänopeus. Bucher hydraulicsin valmistamissa sisähammaspyöräpumpuissa on laskettavissa pienin sallittu pyörintänopeus. Tarvittava kierrostilavuus voidaan laskea kaavasta 1 (Kauranne ym. 2013, 485).

$$V = \frac{Q}{n} \quad (1)$$

$$V = \text{kierrostilavuus} \left[ \frac{l}{r} \right]$$

$$Q = \text{virtaus} \left[ \frac{l}{\text{min}} \right]$$

$$n = \text{pyörimisnopeus} \left[ \frac{r}{\text{min}} \right]$$

$$V = \frac{150 \frac{l}{\text{min}}}{3000 \frac{r}{\text{min}}}$$

$$V = 0,05 \frac{l}{r}$$

$$V = 50 \frac{cm^3}{r}$$

Sopivan pumpun kierrostilavuus olisi 50 cm<sup>3</sup>/r, jota saisi pyörittää maksimissaan 3000 rpm. Seuraavasta taulukosta ei kyseistä variaatiota löydy suoraan, mutta edellä olevan kaavan avulla voidaan laskea sopiva pumppu.

Displacement effective <sup>1)</sup> [cm <sup>3</sup> /rev]	Flow rate [l/min] 1450 min <sup>-1</sup> p=0 bar	Maximum speed [rpm]	Minimum speed [rpm]	Code	Max. operating pressure at the pump outlet side				Torque <sup>3)</sup> [Nm]	Power consumption <sup>4)</sup> [kW]
					continuous [bar]		intermittent <sup>2)</sup> [bar]			
					Mineral oil	HFC	Mineral oil	HFC		
10,3	14,9	3600	1200	QX21-010	160	130	210	180	26	4,0
12,6	18,3			QX21-012	125	100	160	135	25	3,8
15,9	23,0			QX21-016	100	80	125	100	25	3,9
20,0	29,0	3000	900	QX31-020	160	130	210	180	51	7,7
25,2	36,7			QX31-025	125	100	160	135	50	7,7
31,1	45,2			QX31-032	100	80	125	100	50	7,5
40,6	59,0	3000	800	QX41-040	160	130	210	180	104	15,7
50,2	72,9			QX41-050	125	100	160	135	100	15,2
64,5	93,8			QX41-063	100	80	125	100	103	15,6
78,3	114,0	2300	800	QX51-080	160	130	210	180	200	30,4
100,6	146,0			QX51-100	125	100	160	135	201	30,5
126,7	184,0			QX51-125	100	80	125	100	203	30,8
159,7	232,0	1800 <sup>6)</sup>	800	QX61-160	160	130	210	180	409	62,0
201,1	293,0			QX61-200	125	100	160	135	402	61,0
248,4	362,0			QX61-250	100	80	125	100	397	60,4
323,9	472,0	1750 <sup>6)</sup>	800	QX81-315	160	130	210	180	830	126,0
400,1	583,0			QX81-400	125	100	160	135	801	121,6
495,4	722,0			QX81-500	100	80	125	100	793	120,5

1) Due to manufacturing tolerances, there may be slight variations in the displacement.

2) Max. 20 second and not more than 10% of the duty cycle.

3) Theoretical value at max. permitted continuous pressure for mineral oil.

4) Theoretical value at max. permitted continuous pressures for mineral oil at n = 1450 rpm.

5) For speeds > 1450 rpm, the inlet pressure of min. 0.95 bar absolute is required. For HFC application a second suction port is required.

6) Max. speed only possible with a second suction port, see section 2.2.1.

6) Min. speed only for 40 cSt. Example for calculation of the min. speed see chapter 2.6.

Kuva 11. Hydraulipumppujen ominaisuudet (Bucher Hydraulics 2019 www-sivut).

Kuvan 10 pumpputyypin QX41-063 on lähellä haluttua pumppua. Sen kierrostilavuus olisi 64,5 cm<sup>3</sup>/r, jota saisi pyörittää maksimissaan 2300 rpm. Kyseisillä arvoilla pumpun teoreettinen tuotto on 148,35 l/min, joka on laskettavissa kaavan 1 avulla. Seuraavaksi lasketaan kyseisen pumpun pienin sallittu pyörintänopeus. Kyseiseen laskuun on ensin laskettava nesteen viskositeetti käyttölämpötilassa. Öljyn lämpötila

säiliössä on noin 58 °C. Viskositeetti voidaan laskea kaavan 2 avulla. (Kauranne ym. 2013. 121-122.)

$$v_3 = e^\phi - 0,7 \quad (2)$$

$$\phi = e^Y$$

$$Y = Y_1 - \left( \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \right) * (X_1 - X_3)$$

$$Y_1 = \log(\log(v_1 + 0,7))$$

$$Y_2 = \log(\log(v_2 + 0,7))$$

$$X_1 = \log(\theta_1)$$

$$X_2 = \log(\theta_2)$$

$$X_3 = \theta_3$$

$v_1 =$  nesteen kinemaattinen viskositeetti [cSt] lämpötilassa  $\theta_1$  [K]

$v_2 =$  nesteen kinemaattinen viskositeetti [cSt] lämpötilassa  $\theta_2$  [K]

$\theta_3 =$  lämpötila [K], jota vastaava viskositeetti halutaan ratkaista

$v_1 =$  viskositeetti 20,2 cSt kun lämpötila 293,35 K

$v_2 =$  viskositeetti 150 cSt kun lämpötila 423,15 K

$\theta_3 =$  ratkaistavan viskositeetin lämpötila 331,15 K

$$v_3 = e^{\log(\log(20,2+0,7)) - \left( \frac{\log(\log(20,2+0,7)) - \log(\log(150+0,7))}{\log(293,35) - \log(423,15)} \right) * (\log(293,35) - 331,15)} - 0,7$$

$$v_3 = 71,901 - 0,7$$

$$v_3 = 71,201$$

Öljyn viskositeetti on noin 71 cSt, kun lämpötila on 58 °C. Pumpun pienin sallittu pyörimisnopeus voidaan laskea valmistajan ilmoittaman kaavan 3 avulla (Bucher Hydraulics, 8). Ala- ja ylätelalle on laskettava molemmille omat arvot, koska paineenrajoituksen maksimipaine on eri. Laskennassa käytettävä käyttöpaine on paineenrajoitukseen säädetty järjestelmän maksimipaine. Käyttöpaineen ollessa maksimiarvoa pienempi myös laskennan tulos pienenee, jolloin sallittu pyörimisnopeus on laskentaa alhaisempi. Kuvasta 10 saadaan laskentaan maksimi jatkuva paine sekä pienin sallittu pyörimisnopeus 40 cSt viskositeetissa.

$$n_{min} = n_{min \text{ at } 40 \text{ cSt}} \left[ \frac{1}{min} \right] * \frac{\Delta p_{operating \text{ pressure}} [bar]}{\Delta p_{max. \text{ continuous}} [bar]} * \frac{40 [cSt]}{n_{operating \text{ viscosity}} [cSt]} \quad (3)$$

$$n_{\min alatela} = 800 * \frac{8,5}{100} * \frac{40}{71,201}$$

$$n_{\min alatela} = 38,2$$

$$n_{\min alatela} \approx 38 \text{ rpm}$$

$$n_{\min ylätela} = 800 * \frac{5}{100} * \frac{40}{71,201}$$

$$n_{\min ylätela} = 22,47 \text{ rpm}$$

$$n_{\min ylätela} \approx 23 \text{ rpm}$$

Pumppujen pienimmät sallitut pyörimisnopeudet ovat noin 23 ja 38 rpm. Pumppu QX41-063 soveltuu käyttökohteisiin ja se voidaan valita kumpaankin piiriin. Laskennallista minimiä ei ole tarpeen tavoitella, joten pienimmiksi kierrosluvuiksi voidaan sopia 100 rpm molemmille pumpuille. Kyseisellä kierrosluvulla tuotto on kaavan 1 avulla laskettaessa 6,45 l/min. Valitaan Bucher hydraulicsin QX41-063R tyyppinen pumppu.



Kuva 12. Bucher QX41 pumppu (Bucher)

#### 6.4 Paineenrajoitusventtiili

Paineenrajoitusventtiilin on kyettävä läpäisemään pumpun maksimi tuotto, joten venttiilin läpivirtauksen pitää olla vähintään 150 l/min. Paineenrajoituksen on oltava myös säädettävissä 5 ja 8,5 bar:n paineisiin. Sun hydraulics:lla on RGFA-LGV paineenrajoituspatruuna. Virtauskapasiteetti riittää 200 l/min asti, ja avautumispaine on säädettävissä 2-10,5 bar:n välillä. Patruuna sopii muun muassa CA5/M venttiilirunkoon, jolloin paine- ja tankkiliitännät ovat 1 ¼” kierre liitännöillä. Rungossa on myös ¼” painemittariliitäntä. (Sun Hydraulicsin www-sivut 2019.)

## 6.5 Painemittaus

Ylä- ja alatelalla on nykyään painemittaus telan plus ja miinus kammioissa. Mittauksista menee tieto ohjausjärjestelmään, joka säättää telan plus kammion painetta. Kammioiden paineen mittauksien yhteydessä on myös painekytkimet, jotka antavat hälytyksen sekä tarvittaessa pysäyttävät superkalanterin. Mittaukset ovat käyttökelpoisia vielä modernisoinnin jälkeenkin. Tehtaalla on käytössä lukuisia Emersonin valmistamia Rosemount painelähettimeä. Näiden lähettimien avulla olisi mahdollista päivittää myös paineiden mittaus. Samalla komponentit vähentyisivät, ja myös varaosia olisi helpommin saatavilla vastaavanlaisina. Mittauksen avulla voi logiikassa suorittaa kammioiden paineiden valvonnat ja koneen pysäytykset, jolloin myös painekytkimet olisivat poistettavissa.

## 6.6 Virtausmittaus

Taajuusmuuttaja käytön avulla pumpun teoreettinen tuotto on laskettavissa ohjelmallisesti, mutta tällöin ei ole varmuutta pumpun kunnosta, eikä tietoa vuotaako öljyä paineenrajoitus säiliöön. Asennettaessa virtausmittari kentälle lähtevään painelinjaan saadaan reaaliaikaista tietoa telaan lähtevän öljyn määrästä. Virtausmittareita on erityyppisiä ja useilta eri valmistajilta. Yleisimmät öljyn virtausmittarityypit ovat turbiini- ja hammaspyörävirtausmittarit.

Kracht valmistaa muun muassa virtausmittareita, joiden valikoimasta löytyy kyseiseen kohteeseen sopivin mittari. Eri vaihtoehdoista sopivin on VCA 5 FE R1 tyyppinen mittari, jonka mittausalue on 1-200 l/min. Virtausmittarissa on tuumainen sisäkierriliintäntä, joka on helposti liitettävissä nykyiseen putkistoon. Mittarilta saadaan virta- tai jänniteviesti. (Kracht www-sivut 2019.) Viesti vietään logiikkaan, jolloin virtaus on nähtävissä operointi pöydästä. Koneikolle voi myös lisätä näytön, jotta virtaus on nähtävissä myös koneikolla. Saman valmistajan vastaavia virtausmittareita on jo tehtaalla käytössä.

## 6.7 Toimilaitteventtiili

Toimilaitteventtiili asennetaan telan kumpaankin päähän plus kammion putkistoon liitettynä. Venttiilin avulla plus kammion öljy saadaan johdettua suoraan miinus kammiosta lähtevään öljyn paluulinjaan. Sopivia toimilaitteventtiilejä on useilla eri valmistajilla. Comparato on yksi valmistaja, jolta löytyy sopiva venttiili kierreliitännöillä. Venttiilin paineenkesto 10 bar:a ja sen kierrekoko on valittavissa suoraan putkikokoon sopivaksi. Telan letkut ovat 2” letkuja, joissa on 38 mm raskaansarjan liittimet. Kyseiselle 38S perus lähtöliittimelle normaali kierrekoko on 1 ½”, joten toimilaitteventtiili valitaan kyseisen tuumakoon mukaan. (Comparato www-sivut).

## 6.8 Sähkömoottori

Tarvittavan kokoinen sähkömoottori saadaan laskettua kaavan 4 avulla. (Korhonen & Havumäki 1991, 205.) Laskennassa tarvittavat arvot ovat aiemmin valitun pumpun ominaisuudet sekä alatelan maksimi paineilla, jossa maksimi paine on suurempi.

$$P = \frac{p * Q}{600}$$

$$P = \text{teho, kW}$$

$$Q = \text{öljyvirtaus, l/min}$$

$$P = \frac{8,5 * 148,35}{600}$$

$$P = 2,1 \text{ kW}$$

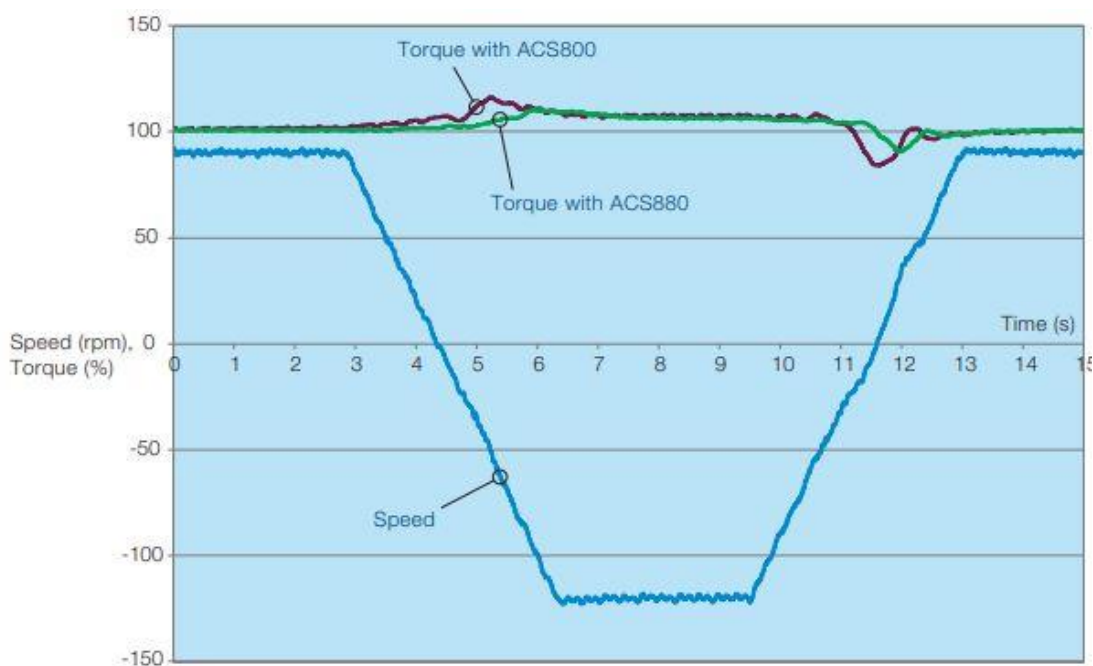
Sähkömoottoreiden hyötysuhde on noin 90 %, jolloin sopiva sähkömoottori olisi noin 2,4 kW. Laskennallisesta kokoluokasta seuraavat ovat 3 ja 5 kW:n sähkömoottorit, joista valitaan 5 kW:n sähkömoottori. Tällöin saadaan lisää kapasiteettia, ettei sähkömoottori ole liian tiukasti mitoitettu. Öljyn ollessa kylmää on sähkömoottori suurimman momentin rasittama, jolloin liian tiukasti mitoitettu sähkömoottori saattaa ylikuormittua. Sähkömoottorin kierrosluvun tulee olla 3000 r/min ja siinä tulee olla tassu- ja laippakiinnitys. Sähkömoottorin on oltava myös erillisjäähdytetty. Kierrosluvun ollessa alhainen ei normaalisti jäähdytetty sähkömoottori kykene tuottamaan riittävää jäähdytystä.

## 6.9 Taajuusmuuttaja

Hydraulipumpun sovitut minimi kierrosluvut ovat 100 r/min. Normaalisti taajuusmuuttajalla ei säädetä kierroslukua näin pieneksi. Suoran momentinsäätötekniikan avulla on mahdollista käyttää pumppua pienillä kierrosluvuilla.

Suora momenttikäyttö on taajuusmuuttajien uusien vaihtovirtakäyttötekniikka eli DTC. DTC-tekniikan käyttö mahdollistaa nopeat ja tarkat nopeudet muutokset. Täysi momentti on käytettävissä koko nopeusalueella. Momentti- ja nopeustarkkuus ovat hyviä alhaisillakin nopeuksilla. (ABB www-sivut.)

Kuvassa on verrattu taajuusmuuttajien momentinsäädön tarkkuutta lähellä nollanopeutta. Pitkäaikainen säätö nollanopeuden lähellä on mahdollista molemmilla taajuusmuuttajilla. (ABB www-sivut.)



Kuva 13. Suora momentin säätö lähellä nollanopeutta. (ABB).

Taajuusmuuttajaksi valitaan ABB:n ACS880-01 sarjasta, jonka teho on 5 kW. Sähkömoottorin valinnassa on huomioitava myös DTC:n käytön soveltuvuus.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aihe oli kiinnostava, samalla haastava ja opettavainen. Kokonaisuus on laaja, minkä vuoksi työ oli laajentua turhankin suureksi. Aihealue oli rajattava hydraulikkaan ja vain teoriaan. Opinnäytetyön tekeminen kesti pitkään, sillä alussa rajaus ei ollut selkeä ja aihepiiriä tuli tutkittua liian laaja-alaisesti.

Lopputuloksena on saatu selvitettyä, että kyseinen modernisointi on mahdollista toteuttaa, ja hydraulikan osalta tarvittavat komponentit on selvitetty. Automaatio- ja sähköosastojen täytyy vielä tarkistaa omat komponenttinsa, ja logiikan ohjelma on päivitettävä modernisoinnin edellyttämällä tavalla. Tällä hetkellä kyseinen konelinja on suunniteltu lopetettavaksi, mutta opinnäytetyö on hyödynnettävissä Rauman tehtaassa paperikone 1:sen superkalantereille sekä konsernin muille vastaaville superkalantereille. Modernisointi on toteutettavissa paperikone 1:sen superkalantereille helpommin kuin työn kohteena oleville superkalantereille. Modernisointiin tarvittavat osat ovat tiedossa, joten tarjoukset osista on helppo pyytää ja tehdä päätös toteutuksen suhteen.

Lopuksi haluan kiittää työnantajaa sekä työntekijöitä, jotka ovat opinnäytetyöhön jollain tavalla osallistuneet.



## LÄHTEET

ABB www-sivut. 2019. Suora momentinsäätö vertailu. Viitattu 11.11.2019.  
[https://library.e.abb.com/public/b7e04ff52f2845c9984a1ac0762ab27b/ABB\\_WhitePaper\\_DTCMotor\\_FI\\_3AUA0000188874.pdf](https://library.e.abb.com/public/b7e04ff52f2845c9984a1ac0762ab27b/ABB_WhitePaper_DTCMotor_FI_3AUA0000188874.pdf)

ABB www-sivut. 2019. Suora momentinsäätö. Viitattu 11.11.2019.  
<https://library.e.abb.com/public/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/Tekninenopasno1.pdf>

Ahoranta, J. 2017. Sähkötekniikka. 15-16. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Bucher Hydraulics www-sivut. 2019. Pumppujen ominaisuudet. Viitattu 27.2.2019.  
[https://www.bucherhydraulics.com/datacat/files/Katalog/Pumpen/Innenzahnradpumpen/QX/10%20-%20Innenzahnradpumpen%20QX/QX\\_100-P-000021-en.pdf](https://www.bucherhydraulics.com/datacat/files/Katalog/Pumpen/Innenzahnradpumpen/QX/10%20-%20Innenzahnradpumpen%20QX/QX_100-P-000021-en.pdf)

Comparato www-sivut. 2019. Toimilaitteventtiilit. Viitattu 1.10.2019.  
[http://comparato.com/wp-content/uploads/2018/03/UNIVERSAL\\_PNEUMATICA\\_eng.pdf](http://comparato.com/wp-content/uploads/2018/03/UNIVERSAL_PNEUMATICA_eng.pdf)

Exner, H., Freitag, R., Geis, H., Lang, R., Oppolzer, J., Schwab, P., Sumpf, E., Ostendorf, U. & Reik, M. 1991. Hydraulitekniiikan perusteet ja komponentit: The hydraulics trainer Osa 1. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Opetushallitus

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013. Hydraulitekniiikka. 2. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Knowpap (Versio 20.0.) 2017. Prowledge Oy

Korhonen, E. & Havumäki, M. 1991. Hydrauliiikan komponenttien oppi- ja käsikirja. Jyväskylä: Teknolit Oy

Kracht www-sivut. 2019. Virtausmittarit. Viitattu 3.9.2019.  
[http://kracht.eu/uploads/tx\\_ttproducts/datasheet/VCA-VCN-VCG\\_DE\\_F-GB\\_08-16\\_01.pdf](http://kracht.eu/uploads/tx_ttproducts/datasheet/VCA-VCN-VCG_DE_F-GB_08-16_01.pdf)

Sun Hydraulicsin www-sivut. 2019. Viitattu 6.3.2019  
<https://www.sunhydraulics.com/model/RGFA/LGN>

UPM intranet yrityksen sisäiset www-sivut. Viitattu 17.4.2019

Wexonin www-sivut. 2019. Viitattu 29.3.2019.  
<https://www.wexon.fi/sites/default/files/pdf/pneumatica.pdf>