

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneautomaatio

2012

Antti Savola

# HYDRAULISEN KOESTUSASEMAN OHJEISTUS JA KEHITTÄMINEN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Koneautomaatio

2012 | 80

Timo Vaskikari

Antti Savola

# HYDRAULISEN KOESTUSASEMAN OHJEISTUS JA KEHITTÄMINEN

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tehdä Fortum Turbinesin hydrauliselle koestusasemalle yleinen ohjeistus ja dokumentointi hydraulisesta koeajolaitteesta ja koeajojärjestelyistä. Tavoitteena oli myös esittää hydraulisenkoestusaseman turvallisuusjärjestelyjä ja koestusympäristön merkitystä. Koestusaseman kehittäminen rajattiin kehitysideoille, joita koestusaseman tulevaisuuden toiminnassa voitaisiin hyödyntää.

Ohjeistuksen ja dokumentoinnin avulla pyritään esittämään hydraulisella koestusasemalla tapahtuvaa servomoottorien koestusta ja asemalla tehtäviä toimenpiteitä. Dokumentoinnin ja ohjeistuksen tarkoitus oli myös selvittää koestusasemalla käytettävät laitteet ja niiden ominaisuudet.

Työn avulla pyritään parantamaan tulevaisuudessa tapahtuvaa työskentelyä koestusasemalla niin, että jokainen koestuksia tekevä henkilö pystyy käyttämään laitetta ja toimimaan niiden tarpeiden mukaan, mitä hydraulisen koestusaseman käyttö vaatii.

Ohjeistus ja dokumentointi on tehty yleisesti koestusaseman tärkeimmistä ja käytetyimmistä laitteista. Näiden tietojen avulla aseman käyttäjän on helpompi perehtyä laitteeseen ja saada tietoa sen toiminnasta.

## ASIASANAT:

Fortum, ohjeistus, kehittäminen, koestusasema, servomoottori, hydraulijärjestelmät

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation

January 2012 | 80

Instructor Timo Vaskikari

Antti Savola

# THE GUIDANCE AND DEVELOPMENT OF A HYDRAULIC TEST STATION

The purpose of this thesis was to compile general guidelines and documentation of hydraulic test equipment and arrangements to the hydraulic test station of Fortum Turbines. The aim was also to present the security arrangements and the importance of the test environment. The development of the hydraulic station was limited to the development of ideas, which could be utilized in the future operations.

With the help of instructions and documentation the testing of the hydraulic servomotors and testing station in action is presented. The purpose of the documentation and guidelines was to determine the used equipment and the properties at the hydraulic test station.

The aim of the work was also to improve the future work at the hydraulic station so that each person performing tests would be able to use the device and operate according to the needs of the hydraulic station.

## KEYWORDS:

Fortum, guidance, development, hydraulic test station, servomotors, hydraulic systems.

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)</b>	<b>8</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>9</b>
1.1 Tavoite ja taustaa	9
1.2 Fortum konserni	10
<b>2 HYDRAULIJÄRJESTELMÄT</b>	<b>12</b>
2.1 Hydraulijärjestelmien rakenne	12
2.2 Hydraulijärjestelmien toiminnanohjaustavat	13
2.3 Servotekniikka	14
2.4 Servohydrauliikka yleisesti	15
2.5 Servohydrauliikan määritelmä	15
2.6 Servomootorit	16
2.7 Servomootorit käytännössä	16
<b>3 KOESTUSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>18</b>
3.1 Järjestelmän laitteisto	18
3.2 Korkeapainepumput	20
3.2.1 Ruuvipumppu M1	20
3.2.2 Aksiaalimäntäpumppu M2	21
3.3 Matalapainepumppu M3	22
3.4 Suodattimet	23
3.4.1 Tehonsiirtopuolen suodattimet	23
3.4.2 Sivuvirtasuodattimet	24
3.4.3 Suodatinyksikkö OLF-15	24
3.4.4 Puhdistusjärjestelmä Kleentek ELC-R25SP	25
3.5 Öljysäiliö	26
3.6 Öljysäiliö lämmönsiirtimenä	27
3.7 Paineenrajoitusventtiilit	28
3.8 Paineenrajoitusventtiilin toiminta	29
3.9 Painekompensoitu 3-tievirransäätöventtiili	29
3.10 Painekompensaattorin toiminta	30
3.11 Letkut	31
3.12 Liittimet	34

<b>4 KOESTUSASEMAN YMPÄRISTÖ JA TURVALLISUUS</b>	<b>35</b>
4.1 Yleinen siisteys ja toiminta	35
4.2 Rakenteiden turvallisuus	35
4.3 Hydraulinesteen vaarat	36
4.4 Toimilaitteet	37
4.5 Nostot ja kiinnitykset	38
<b>5 JÄRJESTELMÄN YLLÄPITO JA HUOLTO</b>	<b>39</b>
5.1 Järjestelmän huolto ja toimivuus	39
5.2 Epäpuhtauksien vaikutus	40
5.3 Puhtausluokat	41
5.4 Puhtausluokka servomootorille	44
5.5 Määräaikaishuollot ja tarkastukset	45
<b>6 KOESTUS</b>	<b>48</b>
6.1 Säätoservomoottorien koestus	48
6.2 Säätoservomoottorin ohjaus	49
6.3 Servomoottorien kytkentä	51
6.3.1 KytKentä I/P muuntimella	53
6.3.2 KytKentä Way-valve	54
6.4 Servomoottorien koeajo- ja asennusohjeet	55
<b>7 LAITTEISTON OMINAISUUDET</b>	<b>56</b>
7.1 Laitteiston vaatimukset	56
7.2 Koestuslaitteen säätäminen toiminta-arvoihin	57
7.3 Tilavuusvirtojen- ja paineensäätö	57
7.4 Painelinja 1	57
7.5 Painelinja 2	58
7.5.1 Aksiaalimäntäpumpun paineen ja kierrostilavuuden säätö	58
7.5.2 Painelinjan säätö painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin avulla.	59
7.6 Painelinja 3	62
<b>8 KEHITTÄMINEN</b>	<b>63</b>
8.1 Yleisilme ja ylläpito	63
8.2 Pumput ja paineentuotto	63
8.3 Jäähdytin	66
8.4 Öljysäiliö ja neste	68

8.5 Suodattimet	69
8.6 Työkalut	71
8.7 Liittimet ja letkut	71
8.8 Lisävarusteet	73
8.9 Turvallisuus	74
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>76</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>79</b>

## LIITTEET

- Liite 1 ja 2. Tarkastuspöytäkirja
- Liite 3. Ehdotus servoaseman työkaluista
- Liite 4. Koestusaseman käyttöönotto-ohje
- Liite 5-13. Hydraulijärjestelmän tekniset tiedot

## KUVAT

Kuva 1. Hydraulijärjestelmän sisäinen jako [4].	12
Kuva 2. Ohjauksen ja säädön toimintaperiaate [3].	13
Kuva 3. Koestusaseman hydraulikaavio.	19
Kuva 4. Ruuvipumppu M1.	20
Kuva 5. Aksiaalimäntäpumppu.	21
Kuva 6. Ruuvipumppu M3.	22
Kuva 7. Tehonsiirtopuolensuodattimet.	23
Kuva 8. Sivuvirtasuodatin OLF-15.	25
Kuva 9. Sähköstaattinen puhdistusjärjestelmä.	26
Kuva 10. Järjestelmän paineenrajoitusventtiili.	28
Kuva 11. Järjestelmän 3-tiepainekompensoidun 3-tievirransäätöventtiili.	30
Kuva 12. Painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin rakenne [8].	30
Kuva 13. Letkun sisähalkaisijan määrittäminen [10].	33
Kuva 14. Painehäviöt eri letkujen pituuksilla [10].	34
Kuva 15. Koestusasema.	37
Kuva 16. AEG-Kanis säätöservomoottori.	50
Kuva 17. Yksinkertaistettu kuva AEG - Kanis säätöservosta.	50
Kuva 18. Koestus I/P muuntimella.	53
Kuva 19. Koestus Way-valvella.	54
Kuva 20. Mäntäpumpun kierrosluvun ja paineensäätimet [19].	59
Kuva 21. Vastapaineventtiili.	62
Kuva 22. Jäähdytin-suodatin yksikkö [18].	67
Kuva 23. Imusiivilä [15].	70

Kuva 24. Letkujen säilöntä.	72
Kuva 25. Liittimien säilöntä.	72
Kuva 26. Letkujen turvalukitus ja asennus [10].	75

## TAULUKOT

Taulukko 1. Öljyn ilmanerotusajat standardin DIN-51524 mukaan [6].	27
Taulukko 2. NAS 1638 -standardin mukainen puhtausluokitus [3].	41
Taulukko 3. ISO 4406 -standardin mukainen puhtausluokitus [3].	42
Taulukko 4. Eri hydraulikomponenttien puhtausluokat ja absoluuttiset suodatustarkkuudet [3].	43
Taulukko 5. Järjestelmien puhtausluokkasuosituksset [3].	44
Taulukko 6. Koestuslaitteen paineet ja tilavuusvirrat painelinjoittain.	56
Taulukko 7. Painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin tilavuusvirran säädön vaikutus käyttöpaineeseen [14].	60
Taulukko 8. Painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin tilavuusvirran säätö asteikkolevyn mukaan [14].	61

## KÄYTETYT LYHENTEET (TAI SANASTO)

SAE	Society of Automotive Engineers
ISO	International Organization for Standardization
DIN	Deutsche Institute Normen
EN	European Norm
FCI	Filter Cooler Industrial
I/P-muunnin	Muuntaa sähköisen virtaviestin hydrauliseksi paineeksi.
Way-valve	Proportionaaliventtiili (suuntaventtiili)
µm	mikrometri
LVDT	Linear Variable Differential Transformer (Differentiaalimuunnin)
Balluf-anturi	Magnetostriktiivinen lineaarianturi
W/m <sup>2</sup> K	Lämmönläpäisykerroin
m <sup>2</sup>	Pinta-ala
mA	Milliampeeri



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tavoite ja taustaa

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä yleinen ohjeistus Fortum Turbinesin käyttämälle hydraulihuollon koestuslaitteelle. Lisäksi laitteen dokumentointi ja kehitysideoiden kirjaaminen on osana opinnäytetyötä.

Koestuslaitetta käytetään voimalaitosten turbiinien säätö- ja pikasulkuventtiilien ohjauksessa käytettyjen servomoottorien koestukseen. Servomoottoreita koestetaan voimalaitosten huoltoseisokkien aikana, jolloin servomoottorit irrotetaan turbiinien säätö- ja pikasulkuventtiileistä ja lähetään yrityksen käyttämälle koestusasemalle koeajettavaksi. Koeajoilla määritetään ja tarkistetaan, että servojen toiminta ja liikeradat ovat oikeat. Tarvittaessa servomoottorit myös avataan ja huolletaan kokonaan. Koestuksen jälkeen servomoottorit lähetetään takaisin asennettavaksi turbiinityömaalle.

Koestuslaite on rakennettu vuosien varrella erilaisista komponenteista ja dokumentointi on siltä osin jäänyt toteuttamatta. Tämän työn tarkoituksena tuottaa laitteesta dokumentit, jotka helpottavat laitteen käyttöä ja toimintaa koestusasemalla. Koestusaseman puutteena on pidetty, että laitteelta ei ole niin sanottua omaa isäntää, vaan koestusaseman käyttö ja yleinen ylläpito on jäänyt toteuttamatta.

Työn tarkoituksena on myös selvittää koestettavien servomoottorien koestustavat ja kytkentätiedot laitteisiin. Näiden perusteella tehdään tarkastuspöytäkirja tulevia koestuksia varten. Koestuslaitteen ominaisuuksia verrataan myös koestettaviin servomoottoreihin ja tarkastellaan laitteiston vaatimuksia koestuksien kannalta.

## 1.2 Fortum konserni

Fortumin toiminnan tarkoitus on tuottaa energiaa, joka edesauttaa nykyisten ja tulevien sukupolvien elämää. Fortum tarjoaa kestäviä ratkaisuja, jotka auttavat vähentämään päästöjä ja tehostamaan resurssien käyttöä ja turvaamaan energian saatavuuden. Fortumin liiketoimintaa on sähkön ja lämmön tuotanto, myynti ja jakelu sekä energia-alan asiantuntijapalvelut. [1.]

Fortumin toiminta on keskittynyt Pohjoismaihin, Venäjälle ja Itämeren alueelle. Tulevaisuudessa kasvumahdollisuuksia tarjoavat myös nopeasti kasvavat, vapautuvat Euroopan ja Aasian energiamarkkinat. Vuonna 2010 Fortumin liikevaihto oli 6,3 miljardia euroa ja vertailukelpoinen liikevoitto 1,8 miljardia euroa. Konsernissa työskentelee noin 10 500 henkilöä. Fortum Oyj:n osake noteerataan NASDAQ OMX Helsingissä. [1.]

Fortumin Power-divisioona vastaa sähkön tuotannosta ja myynnistä pohjoismaisella sähkömarkkinoilla sekä asiantuntijapalveluiden tarjoamisesta sähkön- ja lämmöntuottajille maailmanlaajuisesti. Divisioonan tuotanto keskittyy vahvasti ydin- ja vesivoimaan. Tuotannosta noin 93 % oli hiilidioksidipäästötöntä ja 46 % perustui uusiutuviin energianlähteisiin. [1.]

Fortum Power Solutions on osa Fortum konsernia ja kuuluu Power divisioonan alaisuuteen tuottaen asiakkailleen asiantuntijapalveluita. Toiminta on jakautunut Pohjoismaihin, Venäjälle, Itämeren alueelle ja valikoiduille kansainvälisille markkinoille. Asiakkaina ovat sähkön ja lämmön tuotantolaitosten omistajat sekä energiantensiivinen teollisuus. Käyttö- ja kunnossapito referenssit kattavat Fortumin omien laitosten lisäksi kymmeniä voimalaitoksia 20 eri maassa. Power Solutions osaaminen auttaa asiakkaita säästämään energiaa kustannustehokkaasti. [1.]

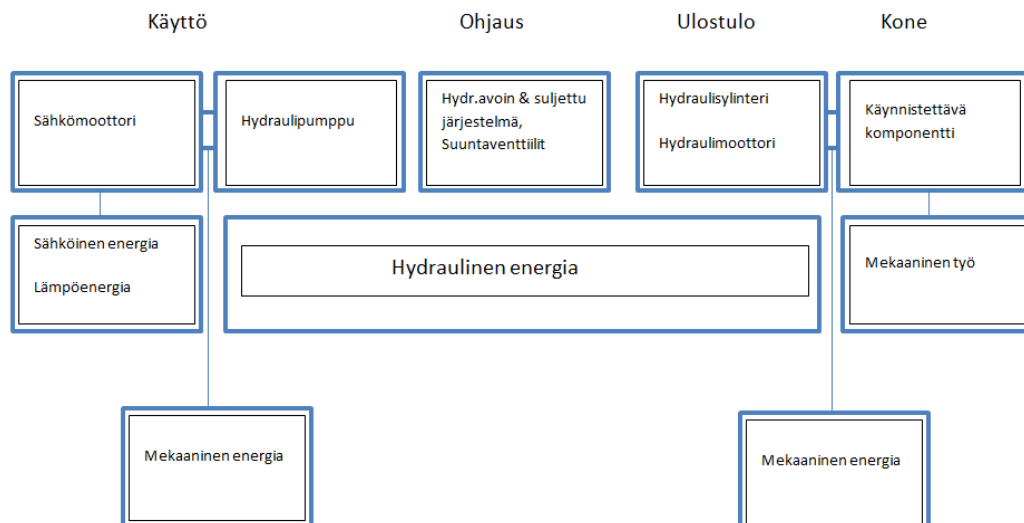
Fortum Turbines kuuluu Power Solutions yksikön toimijoihin, joka tuottaa asiakkailleen vahvaa turbiinilaitososaamista akselin päästä päähän. Erikoisosaaminen turbiinilaitoksista perustuu vuosikymmeninen kokemukseen höyry- ja kaa-

suturbiinien ja generaattoreiden huoltotoimenpiteistä ja turbiinin säätö- ja suo-  
jausjärjestelmien modernisoinneista. [2.]

## 2 HYDRAULIJÄRJESTELMÄT

### 2.1 Hydraulijärjestelmien rakenne

Hydraulijärjestelmät jaetaan rakenteen perusteella avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimia järjestelmiä suositaan usein teollisuushydrauliikan sovelluksissa. Avoimelle järjestelmälle ominaista on suuri nestesäiliö, josta neste imetään järjestelmään ja järjestelmässä se palautuu toimilaitteen kautta takaisin säiliöön. Järjestelmän pumppu on tavallisesti yksisuuntainen, joten toimilaitteiden liikesuuntia ei pumpulla voida ohjata. Ohjaus tapahtuu tällöin suuntaventtiilien avulla ja järjestelmää kutsutaan siten venttiiliohjatuksi. Yleisemmin avointa järjestelmää käytetään sylinterien ohjauksessa, mutta moottorikäytöt ovat myös mahdollisia [3]. Kuvassa 1 on kuvattuna hydraulijärjestelmän sisäinen jako, josta ilmenee hydraulijärjestelmän koostumus ja toimilaitteet.



Kuva 1. Hydraulijärjestelmän sisäinen jako [4].

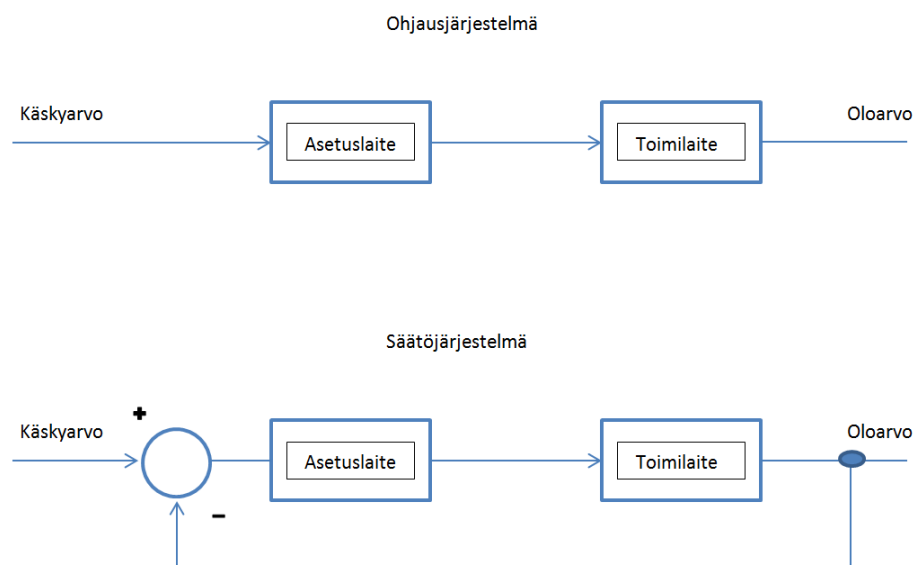
Suljetun järjestelmän ominaispiirteenä on usein, että toimilaitteena on hydraulimoottori. Suljetun järjestelmän pumppuna toimii usein kaksisuuntainen säätötilavuuspumppu, jonka avulla ohjattavaa toimilaitetta voidaan ajaa molempiin

suuntiin. Koska hydraulijärjestelmissä tapahtuu aina vuotoja, sijoitetaan suljetulle järjestelmälle pieni pumppu säiliöineen kompensoimaan vuotoja ja jäähdyttämään öljyä. Näiden kahden yleisimmin käytössä olevien järjestelmien lisäksi on olemassa myös puolisoljettuja järjestelmiä. [3.]

Puolisuljetut järjestelmät sisältävät kahden edellä mainitun järjestelmän piirteitä. Ominaista puolisoljetulle järjestelmälle on, että vain osa nesteestä palaa takaisin säiliöön. [3.]

## 2.2 Hydraulijärjestelmien toiminnanohjaustavat

Hydraulijärjestelmissä on kaksi erilaista toiminnan ohjaustapaa: ohjaus- ja säätösat. Ohjaustavoilla ohjataan hydraulisia suureita: tilavuusvirtaa ja painetta. Tilavuusvirran avulla voidaan säätää toimilaitteen liikesuuntia ja nopeuksia. Nopeuden säätö tapahtuu tilavuusvirran määrän ohjauksella, kun taas liikesuuntien ohjaus tapahtuu tilavuusvirran suunnanohjauksella. Toimilaitteelta saataviin voimiin ja momentteihin voidaan vaikuttaa paineen säädön vaikutuksella. Molempien suureiden säätö voidaan toteuttaa joko portaallisesti tai portaattomasti. Kuvassa 2. on kuvattu ohjauksen ja säädön toimintaperiaate. [3.]



Kuva 2. Ohjauksen ja säädön toimintaperiaate [3].

Säätötavat voidaan toteuttaa hydraulisesti, mekaanisesti tai sähköisesti. Sähköinen ohjaus on elektroniikan kehityksen myötä kasvanut käytetyimmäksi ohjaustavaksi. Huoltotoimet suoritetaan järjestelmän energian siirto-osassa, kuten nesteen jäähdytys ja suodatus epäpuhtauksista. [3.]

Ohjauksessa ei tarkisteta, kuinka hyvin ohjauspiirin antama käsky vastaa toiminnon suoritumista, joten toiminnon tarkkuus on riippuvainen järjestelmän sisäisistä ja ulkoisista tekijöistä. Sisäiset tekijät koostuvat eri komponenttien ominaisuuksista ja väliaineen laadusta. Järjestelmään vaikuttavat ulkoiset tekijät ovat kuormitus, kitkat ja lämpötilat. [3.]

Säätöä ja sen antamaa oloarvoa voidaan valvoa jatkuvasti. Saaduista tuloksista päätellään kuinka hyvin suoritettu toiminto vastasi annettua käskyarvoa. Poikkeusten ilmetessä, korjataan käskyä järjestelmän sisällä niin, että saatu poikkeama saadaan mahdollisimman pieneksi. Säädössä olevan takaisinkytkennän ansiosta, se kestää huomattavasti enemmän sisäisiä ja ulkoisia häiriötekijöitä toisin kuin ohjausjärjestelmä. [3.]

### 2.3 Servotekniikka

Servo-sanaa käytetään lyhennelmästä servojärjestelmä ja servo-sana tulevat latinankielisestä sanasta servus. Servojärjestelmää sovelletaan ohjaustehtäviin voimaa vahvistavana tekniikkana. Servojärjestelmällä ohjataan usein raskaita kohteita ja siksi tarvitaan tehokasta vahvistusta. Servotekniikkaa käytetään kuitenkin myös pieniin tarkkuutta vaativiin kohteisiin. [21.]

Servo on asemointiin tarkoitettu toimilaitteen ohjauspiiri, jossa käytetään takaisinkytkentää. Takaisinkytkentä tarkoittaa, että erilaisista suureista saatavia mittaustuloksia kytketään järjestelmän alkupäähän takaisin tulosignaaleiksi. Servo-ohjattuja toimilaitteita voidaan toteuttaa pneumaattisesti, hydraulisesti ja sähköisesti. Toimilaitteina toimivat usein servoventtiilit ja servomoottorit. Servomoottoreina voi toimia sähkömoottori tai pneumaattisia ja hydraulisia sylinte-

reitä. Pneumaattinen ohjaus toteutetaan paineilmalla, hydraulinen säätö toteutetaan kokoonpuristumattomilla väliaineilla eli nesteillä. Nesteitä käytettäessä yleisin väliaine on öljy. Sähköinen ohjaus tapahtuu sähkövirran avulla. [21.]

## 2.4 Servohydrauliikka yleisesti

Servohydrauliikka kehitettiin alun perin ilmailusovelluksiin. Sähköhydraulisilla servoventtiileillä pystyttiin tarkasti ohjaamaan lentokoneita mahdollisimman pienillä sähkösignaaleilla. Sähköiset ja elektroniset ohjaukset voitiin muuttaa sähköhydraulisiksi avoimiksi tai suljetuiksi säätöpiireiksi. Lentonopeuksien kasvaessa se aiheutti myös asetusnopeuksien ja voimien kasvun. Asetuselintä koski tästä syystä tiukat vaatimukset nopeuden, tarkkuuden ja tehotiheyden suuntaan. [20.]

Vuosien saatossa muu teollisuus ryhtyi myös käyttämään servotekniikkaa ja muutti sitä omiin sovelluksiinsa. Nykyään hydraulisia servoventtiilejä käytetään usein liikkuvissa työkoneissa kuten kaivureissa. Sähköiset servot ovat taas tyypillisiä työstökoneissa ja teollisuusroboteissa. [20.]

## 2.5 Servohydrauliikan määritelmä

Servohydrauliikka terminä on vakiinnuttanut paikkansa, mutta sen sisällöstä on usein eri mielipiteitä. Servohydrauliikan määritelmästä voidaan käyttää myös nimitystä sähköhydraulinen säätötekniikka. Tämä määritelmä mahdollistaa kaikki suljetun ohjauspiirin säätöjärjestelmät, joissa on hydrauliikkaa. Suljettu säätöpiiri tarkoittaa, että järjestelmän ulostuloa valvotaan jatkuvalla mittauksella ja poikkeamat halutusta arvosta voidaan korjata säädön avulla automaattisesti. Säädettävä suure on yleensä mekaaninen tai hydraulinen suure.[20.]

Säädettävät mekaaniset suureet ovat

- asema tai kääntökulma
- nopeus tai pyörimisnopeus

- voima tai vääntömomentti.

Tai hydraulinen suure:

- Tilavuusvirta tai paine

## 2.6 Servomootorit

Servomoottoria käytetään turbiinin säätö- ja pikasulkuventtiilien ohjauksessa. Säätöservomoottorilla aukaistaan säätöventtiiliä, jonka avulla toteutetaan turbiinin tehon säätö. Säätöservomootorit tarvitsevat toimiakseen ohjauspaineen ja työ-öljynpaineen, joissakin tapauksissa pelkkä työ-öljypaine riittää. Ohjaus ja työpaineiden avulla saadaan servomoottorin asemaa säädettyä haluttuun arvoon. Säätöservomootorit sisältävät myös takaisinkytkentä tiedon servomoottorissa olevan anturin kautta, jolloin pystytään aseman ohjausta seuramaan ja muuttamaan haluttua asemaa. Asema antureina toimii usein LVDT- ja Balluff-tyyppiset anturit.

Pikasulkuventtiilit suojaavat turbiinia kaikilta häiriötilanteilta. Häiriötilanteen voi synnyttää korkea värähtelytaso, roottorin siirtyminen, matala voiteluöljyn paine, höyryn laatu ei vastaa turbiinille asetettuja vaatimuksia, vastapaine lisäksi kuorman katoaminen sähköpuolella voisi mahdollistaa turbiinin ryntäämisen. Pikasulkuventtiilit estävät tällöin höyryn pääsyn turbiinille. Pikasulkuventtiilien avaamiseen käytetään pikasulkuservomoottoria, jonka toiminta on säätöservomoottoriin verrattuna erilainen, pikasulkuservo toimii ON-OFF-periaatteella. Toiminta perustuu öljynpaineen katoamiseen pikasulkuservomoottorissa, jonka seurauksesta servomoottorissa olevan jousituksen ja jousivoiman avulla, se sulkee pikasulkuventtiilin.

## 2.7 Servomootorit käytännössä

Koska koestettavia servomootoreita on monenlaisia riippuen valmistajan vuosien kuluessa tekemistä sovelluksista, ei yksinomaista selvää koestusmallia voida



määrittää servomootoreille vaan jokainen servomoottorimalli koestetaan ja huolletaan yksilöllisesti mallistaan riippuen. Servomoottorien toimintaperiaate ei kuitenkaan muutu vaan pysyy samana. Koestettavat servomoottorit vaativat, jokainen valmistajan mallista riippuen eri käyttöpaineet. Lisäksi eri servomoottorit vaativat eri tilavuusvirran, tilavuusvirran tarve on riippuvainen servomoottorin toiminnan rakenteellisesta koosta. Nykyinen kehitys on johtanut servomoottorien koon pienentymiseen. Hyötynä on ollut valmistajalle, käytettyjen materiaalien väheneminen ja koon pienentyessä se on helpommin käsiteltävissä valmistuksessa ja lisäksi logistiikan kannalta helpompi kuljettaa. Lisäksi loppupään asiakkaalle on ollut niiden helpompi asennettavuus ja huolto, koon ja painon pienentyessä. Toinen tärkeä muutoselementti on servomoottorien kehityksessä tapahtunut elektroniikan lisääntymisellä ohjauksissa. Tämä sama suuntavirtaus kuin maailmassa yleisesti on johtanut siihen, että niitä on entistä helpompi ohjata ja seurata, mutta mekaniikan vähentyessä sähköisten ohjausten osaamista edellytetään enemmän. Elektroniikan lisääntyminen servomoottoreissa on siltä osin myös vaikuttamassa koestuslaitteiston vaadittaviin ominaisuuksiin. Vaikka elektroninen ohjaus sovelluksissa kasvanut, niin tärkeänä ominaisuutena on myös rakenteellisen koon pienentyessä ollut ohjauspaineen kasvaminen, tämä vaatinut erillisten hydraulijärjestelmien asentamista voimalaitoksen turbiinin oman öljy- ja voitelujärjestelmän rinnalle pelkästään servomoottorien säätö- ja pikasulkuventtiilien toiminnallisen ohjauksen aikaansaamiseksi.

## 3 KOESTUSJÄRJESTELMÄ

Tämän osion tarkoituksena on selvittää hydraulisen koestusjärjestelmän laitteistoa sekä toimia yleisenä materiaalina tulevaisuutta varten. Laitteistoa on esitelty laitteiston ominaisuuksien mukaan perustuen olemassa olevaan kirjallisuuteen ja valmistajien manuaaleihin hydraulikomponenteista sekä opinnäytetyön tekijän omaan tietoon. Laitteiston ominaisuuksien selvittäminen on vaatinut koestusasemaan tutustumista ja käyntejä Fortumin Inkoon voimalaitoksella. Laitteiston tarkemmat tekniset tiedot on esitelty työn liitetiedostoissa 5-13.

### 3.1 Järjestelmän laitteisto

Hydraulihuollonkoestuslaite luokitellaan rakenteensa perusteella avoimeksi hydraulijärjestelmäksi. Koestuksissa käytetty neste imetään pumppujen kautta koestettavalle servomootorille ja palautetaan servomootorilta takaisin järjestelmän käyttöön.

Koestusjärjestelmä koostuu kolmesta eri painelinjasta. Jokainen painelinja on varustettu omalla pumppuyksiköllään. Painelinjat 1 ja 2 jaotellaan pumppujen tuottamien paineiden vuoksi korkeapainepuoleksi ja painelinja 3 matalapainepuoleksi. Korkeapainepuolen pumput ovat malliltaan vakio- ja säätötilavuuspumppuja. Matalapainepuolen pumppu on malliltaan vakiotilavuuspumppu. Vakiotilavuuspumppuina toimii kaksi ruuvipumppua. Säätötilavuuspumppuna toimii aksiaalimäntäpumppu. Sekä vakio- että säätötilavuuspumppujen ohjaus on toteutettu 3-vaiheisten sähkömoottorien avulla.

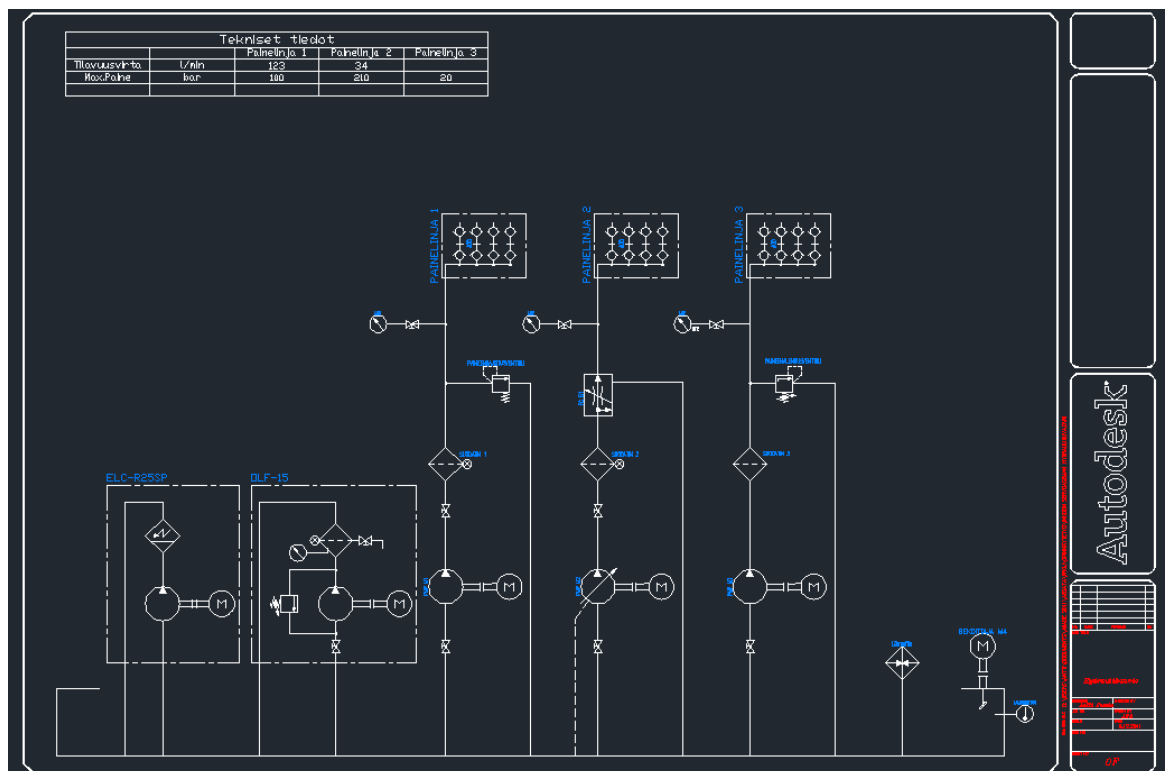
Pumpuilta koestusta varten tuotettu öljy puhdistetaan painelinjoissa painesuodattimien avulla. Säiliössä olevaa ja koestuksesta palautuvaa öljyä suodatetaan erillisillä sivuvirtasuodatusyksiköillä.

Jokainen painelinja on varustettu omalla painetukilla. Painetukkien ulostulot on sisälletty neljällä pikaliittimellä. Pikaliittimien avulla voidaan koestettava servo-

moottori kiinnittää haluttuun painelinjaan koestuksissa käytettyjen hydrauliletkujen avulla.

Järjestelmän painelinjojen painetasoja voidaan säätää erinäisillä paineenohjaukseen käytetyillä venttiileillä. Järjestelmän kaikissa painelinjoista on erilainen paineensäätötapa. Paineensäätö voidaan toteuttaa vastapaine-, paineenrajoitus- tai painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin avulla. Lisäksi painetta voidaan säätää aksiaalimäntäpumppuun kuuluvalla painekompensaattorilla.

Hydrauliseen koestusjärjestelmään kuuluu myös sekoittaja, jonka tehtävänä on sekoittaa säiliössä olevaa öljyä. Ohjaus on toteutettu sähkömoottorikäytöllä. Sekoittajan kytkentään on lukittu myös lämmitin. Lämmitintä käytetään öljyn lämmittämiseen koestuksen aikana. Lämmittimen avulla öljy saadaan nopeammin koestuksia varten sopivaan lämpötilaan. Hydrauliseen koestusjärjestelmän laitteisto on kuvattuna (kuva 3) työssä piirretyn hydraulikaavion mukaan.



Kuva 3. Koestusaseman hydraulikaavio.

Kuvan 3 vasemmassa laidassa on sivuvirtasuodattimet. Painelinjat vasemmalta alkaen on: painelinja 1, painelinja 2 ja painelinja 3. Loput toimilaitteet on lämmitin, sekoittaja ja lämpömittari.

## 3.2 Korkeapainepumput

### 3.2.1 Ruuvipumppu M1

Järjestelmän korkeapainepuolen painelinjassa 1 toimiva painepumppu on malliltaan 3-ruuvinen vakiotilavuusruuvipumppu (kuva 4). Nesteen siirto tapahtuu imuliitännän kautta paineliitännälle ruuvien ja pumppurungon muodostamissa kammioissa. Ruuvipumpun 3 ruuvista keskimmäinen on kytketty käyttömootorin akselille ja sivuruuvit pyörivät keskiruuvin mukaan. Ruuvipumpulla tuotettu tilavuusvirta pysyy erittäin tasaisena ja melutaso on alhainen. Tilavuusvirta pysyy tasaisena, koska nestekammioiden tilavuus ei muutu liikkeen aikana. Tasaisen virtauksen ansioista pumppua voitaisiin käyttää suuremmilla pyörimisnopeuksilla, jolloin tämä mahdollistaisi suuremmat tilavuusvirrat. Ominaista ruuvipumpuille on hyvä imukyky ja käyttöikä. Järjestelmän ruuvipumpun tuottama maksimipaine on 60 baria. Ruuvipumpun käyttöpaineen nostaminen lisää vuotojen määrää ja niiden estäminen on aina hankalampaa. Vuotoja voidaan kuitenkin pienentää lisäämällä ruuvien tiiviskohtia käyttämällä pidempiä ruuveja ja pienempää nousua. [3.]



Kuva 4. Ruuvipumppu M1.

### 3.2.2 Aksiaalimäntäpumppu M2

Järjestelmän toisessa korkeapainepuolen painelinjassa 2 pumppuna toimii aksiaalimäntäpumppu (kuva 5). Pumppu on malliltaan säätötilavuuspumppu ja rakenteeltaan suoraroottori eli vinolevypumppu. Nesteen siirto tapahtuu imuliitännästä paineliitintään syrjäytyselimen eli männän edestakaisen liikkeen vaikutuksesta. Aksiaalimäntäpumpussa olevat sylinterit ovat sijoitettuna käyttöakselin suuntaisesti. Sylinteriryhmä pyörii käyttöakselin mukana ja mäntiä liikuttava vinolevy on kiinteä. Tilavuusvirran tuottoa voidaan säätää pumpun kierrostilavuutta säätämällä vinolevyn ja käyttöakselinkulmaa. Kulmaa suurennettaessa kasvaa kierrostilavuus ja vääntömomentti. Kulmaa pienennettäessä toiminta on päinvastainen. Säätö tapahtuu mekaanisesti säätöruuvilla. Tilavuusvirran ohjauksessa käytetään pyörimätöntä jakolevyä. Jakolevy toimii sylinteriryhmän ja pumppurungon välisenä aksiaalilaakerina. Pumpun etuina on yksinkertaisuus ja kierrostilavuuden nopea säätömahdollisuus. [3.]



Kuva 5. Aksiaalimäntäpumppu.

### 3.3 Matalapainepumppu M3

Järjestelmän matalapainepumppuna (kuva 6) toimii 3-ruuvipumppu, jonka toiminta on vastaavanlainen kuin korkeapainepuolen ruuvipumpun. Eroavaisuutena on, että pumppu on asennettu pystyyn. Pumppu on malliltaan vakiotilavuuspumppu, jonka kierrosnopeus on toteutettu sähkömoottoriliitännällä.



Kuva 6. Ruuvipumppu M3.

### 3.4 Suodattimet

Järjestelmän toiminta ja käyttöikä ovat riippuvaisia järjestelmän käytössä olevasta nesteen puhtaudesta. Järjestelmän suodatuksella pyritään estämään ulkoisten ja sisäisten epäpuhtauksien pääsy koestettavalle servomootorille ja muuhun järjestelmään. Nesteen epäpuhtauksilla on suurin merkitys järjestelmässä esiintyville vioille. Suodattimilla pyritään järjestelmässä takaamaan koestettavalle servomootorille sen vaatima nesteenpuhtausluokka.

Hydraulihuollon koestusjärjestelmän suodattimet voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan tehonsiirto- ja sivuvirtapuolen suodattimiin. Tehonsiirtopuolen (kuva7) suodattimet toimivat painelinjojen suodattimina, kun taas sivuvirtapuolen suodattimet ovat omina yksikköinä ja riippumattomina painelinjoista.



Kuva 7. Tehonsiirtopuolensuodattimet.

#### 3.4.1 Tehonsiirtopuolen suodattimet

Koestusjärjestelmän tehonsiirtopuolen suodattimet ovat toiminta rakenteeltaan painesuodattimia. Painesuodattimet on sijoitettu järjestelmässä pumppujen ja paineensäätöventtiilien väliin. Suodattimet ovat putkistoasennettuja. Pai-

nesuodattimien tulee kestää järjestelmän täysi paine ja niissä ei käytetä ohitusventtiileitä. Niiden tehtävänä on suojata koestettavaa komponenttia takaamalla koestuksessa vaaditun nesteen puhtausluokka. Painesuodattimien toimintaperiaate perustuu siihen että neste painetaan likaisen ja puhtaanpuolen välisen paine-eron avulla suodatin elementin läpi. [5.]

Tehonsiirtopuolen painesuodattimet on sisällytetty lianilmaisimin. Lianilmaisimen tarkoitus on näyttää milloin suodatin täytyy vaihtaa. Lianilmaisimet toimivat, kun niiden ennalta määritelty paine-ero saavutetaan. Lian ilmaisupiste on valittava sen mukaan, että se poistaa vielä vähän likaa ennen kuin suodatin vaihdetaan. [5.]

#### 3.4.2 Sivuvirtasuodattimet

Sivuvirtasuodattimen tarkoitus on suodattaa järjestelmän nestettä omana sivukiertonaan riippumattomina tehonsiirtopuolen suodattimista ja muusta järjestelmän työkierrosta. Sivuvirtamenetelmää on hyvä käyttää silloin, kun tiedetään suurten likapartikkelien pääsy järjestelmään. Sivuvirtasuodattimet toimivat omina yksikköinä, jotka ovat sisälletynä omalla pumpulla ja suodattimella. Suodatustavan etuna on, että hydraulinesteen vanhenemisprosessia pystytään hidastamaan ja elinikää parantamaan. Lisäksi tällä menetelmällä pystytään pitämään pysyvää nestevirtausta suodattimien läpi. Järjestelmän sivuvirtasuodattimet ovat suodatinyksikkö OLF-15 ja sähköstaattinen puhdistusjärjestelmä ELC-R25SP. [5.]

#### 3.4.3 Suodatinyksikkö OLF-15

Tämä suodatinyksikkö (kuva 8) toimii sivuvirtasuodatus menetelmällä. Laite mahdollistaa suuremman nestetilavuuden suodatuksen kuin tehonsiirtopuolen suodattimet. Suuremman nestetilavuuden ansiosta järjestelmän suodatus on tehokkaampaa. Laitetta on hyvä käyttää myös, kun lisätään uutta öljyä järjes-



telmään. Tämä mahdollistaa, että uuden öljyn mukana tulleet epäpuhtaudet voidaan minimoida ja estää niiden pääsy koestuslaitteen säiliöön.



Kuva 8. Sivuvirtasuodatin OLF-15.

Suodatusyksikkö koostuu omasta pumpusta, suodatinkulhosta, suodatinelementistä sekä lianilmaisimesta.

#### 3.4.4 Puhdistusjärjestelmä Kleentek ELC-R25SP

Sähköstaattinen puhdistusjärjestelmä (kuva 9) toimii sivuvirtasuodatuksen tavoin ja kerää järjestelmästä erityyppisiä ja kokoisia epäpuhtauksia. Turbiiniöljyille on yleistä, että niiden hapettumistuotteena syntyy hartsia. Hartsit ovat kooltaan korkeintaan 2  $\mu\text{m}$ , eivätkä mekaaniset suodattimet pysty enää puhdistamaan näin pieniä hiukkasia. Joten koestusöljyn puhdistamiseen on hyvä käyttää sähköstaattista puhdistusjärjestelmää. Elektrostaattinen öljynpuhdistin pystyy erottamaan 0.01  $\mu\text{m}$  kokoiset likapartikkelit. Järjestelmän käyttö pidentää ja parantaa koestusöljyn ikää ja ominaisuuksia. [13.]



Kuva 9. Sähköstaattinen puhdistusjärjestelmä.

### 3.5 Öljysäiliö

Koestusjärjestelmän öljysäiliön tehtävänä on toimia hydraulijärjestelmän nestevarastona, josta toimilaitteet pystyvät ottamaan vaatimansa nestemäärän. Öljysäiliön on myös pystyttävä kompensoimaan järjestelmässä esiintyviä vuotoja toimia lämmönsiirtimenä ja nesteessä olevien epäpuhtauksien erottajana. Koska järjestelmän ottama kokonaistilavuusvirta ja samalla hetkellä palautuva kokonaistilavuusvirta ei välttämättä ole yhtä suuria, on nestesäiliön oltava tarpeeksi suuri toimiakseen tilavuusvirtojen tasaavana puskurina. Suurimmat erot otettujen ja palautuvien tilavuusvirtojen välillä on epäsymmetriset toimilaitteet ja paineakut. [3.]

Lisäksi öljysäiliön tilavuuden oltava riittävä, että paluuöljyn mukana tuleva ilma ehtii erottua. Ilman erottuminen öljystä on riippuvainen öljyn viskositeettiluokasta, öljyn lämpötilasta sekä öljytyypistä. Öljyn viipymäajasta säiliössä on tehty ohjeellinen standardi. Standardi DIN-51524 kertoo, kuinka kauan tietyn viskositeettiluokan öljyn kuulu säiliössä viipyä ennen kuin se otetaan uudelleen käyttöön. [6.]

Öljyn ilmaerotusajat on esitetty eri viskositeettiluokille taulukossa 1.

Taulukko 1. Öljyn ilmanerotusajat standardin DIN-51524 mukaan [6].

Viskositeettiluokka	VG 10	VG 22	VG 32	VG 46	VG 68	VG 100
Viipymäaika [min]	5	5	5	10	10	14

Koestusasemalla käytetään hydraulinesteenä viskositeettiluokaltaan ISO VG 32 öljyä. Standardi määrittää kyseisien viskositeettiluokalle ilmanerotusajaksi 5 min lämpötilassa 50 °C.

### 3.6 Öljysäiliö lämmönsiirtimenä

Öljysäiliö on koestusjärjestelmän merkittävin lämmönsiirrin ja tästä syystä järjestelmän säiliö on rakennettu varsin suureksi. Suuri säiliö mahdollistaa öljyn nopeamman lämmönsiirtymisen ympäristöön. Lisäksi säiliö on sijoitettu erillisen tason päälle, joka parantaa ja mahdollistaa öljyn paremman jäähtymisen säiliön alapuolelta kulkevan ilmavirtauksen ansiosta. Säiliön lämmönsiirtokyky on verrannollinen sen seinämien pinta-alaan ja säiliössä olevaan öljyn määrään.

Hydraulinesteelle on ominaista, että siihen sekoittuu jatkuvasti epäpuhtauksia. Säiliön tehtävänä on myös pyrkiä suodattamaan epäpuhtaudet ja estää niiden pääsy järjestelmän muille komponenteille. Öljysäiliö on tärkein kaasumaisten epäpuhtauksien erottaja. Ilma on näistä kaasumaisista epäpuhtauksista yleisin. Ilman poistuminen säiliössä tapahtuu luonnollisen erottumisen kautta. Luonnollinen erottuminen on sitä tehokkaampaa, mitä pidemmän ajan neste viettää säiliössä ennen kuin se joutuu uudelleen järjestelmään. [3.]

### 3.7 Paineenrajoitusventtiilit

Paineenrajoitusventtiilien tehtävä järjestelmässä on pitää koestuspaine halutussa arvossa. Paineenrajoitusventtiili aukeaa ja johtaa ylimääräisen tilavuusvirran takaisin säiliöön, kun asetettu paineraja saavutetaan.

Paineenrajoitusventtiilit on ryhmitelty kahteen eri ryhmään: suoran- ja esiohjatuihin paineenrajoitusventtiileihin. Koestusjärjestelmän paineenrajoitusventtiili on malliltaan suoranohjattu istukkarakenteinen paineenrajoitusventtiili. Istukkarakenteisen paineenrajoitusventtiilin etuna on vuodottoman tiivistyksen lisäksi nopea toiminta-aika, jolloin se pystyy nopeasti vaikuttamaan järjestelmän paineen nousuun ja ohjaamaan sen takaisin säiliöön. [5.]

Ominaisuutena on myös, että paineenrajoitusventtiili (kuva 10) on asennettu ohjauslohkoon, joka mahdollistaa se vaihdettavuuden ilman lohkon irrottamista letkuliitoksista.



Kuva 10. Järjestelmän paineenrajoitusventtiili.

### 3.8 Paineenrajoitusventtiilin toiminta

Paineenrajoitusventtiilien toimintaperiaate perustuu siihen, että tulopaine vaikuttaa karan pinta-alalle ja että karaa kuormitetaan toisesta suunnasta jousivoimalla. Jousivoimalla säädetään, kuinka suuri paine tarvitaan karan aukeamiseen. Jousivoimaa voidaan säätää portaattomasti säätönupista. Kun tulopaineen painevoima voittaa jousivoiman, kartiokara työntyy ylöspäin, jolloin se avaa yhteyden ylimääräiselle tilavuusvirralle. Ylimääräinen tilavuusvirta valuu takaisin säiliöön. Jousivoiman pysyessä painetta suurempana pysyy kara kiinni istukassa ja tilavuusvirran virtaaminen on estetty. [6.]

Jotta järjestelmään saataisiin koko painealueella hyvä paineensäätökyky ja tasainen paine-ero ja tilavuusvirran ominaiskäyrä on painealue jaettu osiin. Tietyn painealueen osa vastaa tietyn jousen toimintaa. Tällöin haluttu käyttöpaine on helposti säädettävissä. [6.]

Paineenrajoitusventtiilissä esiintyy yleisesti hystereesiä, tämä johtuu virtausvoimista. Hystereesin merkitys venttiilissä tarkoittaa, että sulkeutumis- ja avautumispaine eivät ole tällöin samoja ja se näkyy venttiilin toiminnassa siten, että paineen pitää laskea hieman alemmas ennen kuin venttiili sulkeutuu. Järjestelmän tuottama tilavuusvirta määrää käytetyn paineenrajoitusventtiilin koon. [6.]

### 3.9 Painekompensoitu 3-tievirransäätöventtiili

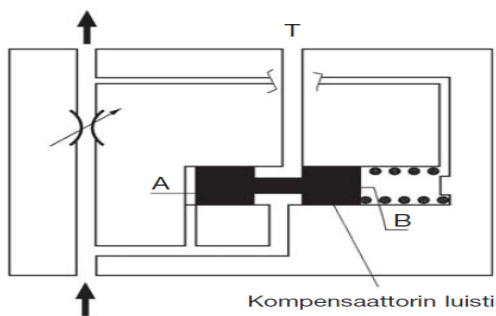
Painekompensoitu virransäätöventtiili on asennettu koestusjärjestelmän painelinjaan 2 (kuva 11). Painekompensoitu 3-tievirransäätöventtiili koostuu virtauskuristimesta ja hydrostaattiluistista, jota yleisimmin kutsutaan paineenalennusventtiiliksi ja painekompensaattoriksi. Hydrostaattiluisti on rinnankytketty kuristusosan kanssa. Painekompensoitu 3-tievirransäätöventtiili toimii sivuvirtausperiaatteella, jolloin käyttämätön osa tilavuusvirrasta ohjataan takaisin säiliöön. Virtauskuristusta säätämällä kuristinvivusta saadaan haluttua tilavuusvirtaa säädettyä. [8.]



Kuva 11. Järjestelmän 3-tiepainekompensoidun 3-tievirransäätöventtiili.

### 3.10 Painekompensaattorin toiminta

Painekompensoidulla virransäätöventtiilillä päästään tarkkaan toimilaitteen nopeuteen, koska venttiili ottaa huomioon kuorman paineen vaikutuksen eli käytännössä se kompensoi toimilaitteelta tulevan kuorman paineen. Kun kuorman paine nousee, niin vastaavasti pumpun paine nousee. Venttiilin kuristusosassa oleva paine pyrkii pysymään vakiona. Painekompensoinnin periaate on seuraava. Ennen kuristusosaa on hydrostaattiluisti. Luistin toisella puolella sijaitsee jousi, joka määrittää kuristusosan yli olevan paine-eron. Kuorman puolelta on kanava kuristuksen yli jousen puolelle. Kuvassa 12 on kuvattuna 3-tiepainekompensoidun virransäätöventtiilin rakenne. [8.]



Kuva 12. Painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin rakenne [8].

Painekompensaattorin tärkein tehtävä on löytää sellainen tasapainotilanne, joka muodostuu pumpun tuottaman tilavuusvirranpaineesta pinta-alalla A, sekä kuormanpaineesta vastaavalla pinta-alalla B. Lisäksi myös jousen vaatimasta vakiopaineesta. Kuristusosalla valitaan haluttu tilavuusvirta. Kuristus synnyttää paineen pinta-alalle A, jolloin syntyy ohjausvoima, joka siirtää luistia josta vasten. Seurauksena on, että luisti pienentää virtausaukkoa pumpun suunnasta ja paine pienenee. Luistin liike pysähtyy tasapainotilanteessa, kun jousen ja kuorman paineen vaikuttama voima on yhtä suuret kuin voima luistin pinta-alalla A. Kun kuorman paine kasvaa, niin jousen puoleinen voima nousee suuremmaksi ja voima työntää luistia vasemmalle kasvattaen samalla virtausaukkoa pumpulta päin. Tämän seurauksesta paine alkaa nousta myös pinta-alalla A. Kuorman paineen aiheuttama voima avaa painekompensaattorin luistia siihen saakka kunnes voimatasapaino on uudestaan saavutettu. Edellä mainitut asiat tapahtuvat äärettömän nopeasti, joten toimilaitteen nopeus pysyy hyvin vakaana. [8.]

### 3.11 Letkut

Järjestelmässä käytetään letkuja järjestelmän paineellisen tilavuusvirran saamiseksi servomootorille. Letkuja käytetään koestuksissa sen takia, koska asennustila on epäedullinen putkille. Letkujen hyötynä on, että niiden avulla pystytään estämään pumpun tuottaman mekaaninen värähtelyn eteneminen järjestelmään ja säiliöön. Myös järjestelmän paineiskuja voidaan vaimentaa letkujen avulla. Hydraulijärjestelmissä letkut jaetaan paineluokkansa mukaan eri käyttötason letkuihin: matala-, keski- ja korkeapaineletkuihin. Letkut koostuvat kolmesta perusosasta: sisä-, vahvike- ja päällyskerroksista. Sisäkerroksen tulee olla sellaista materiaalia, joka ei vaurioidu hydraulinesteen vaikutuksesta. [3.]

Letkujen ominaisuudet perustuvat SAE J517 -standardiin letkun rakenteen, käyttötarkoituksen ja paineenkeston perusteella 14 ryhmään: SAE 100R1 – 14. Standardin mukaan letkukoot ilmaistaan sisähalkaisijan mukaan. Poikkeuksena ovat letkutyytit SAE 100R5 ja SAE 100R14 jotka ilmaistaan ulkohalkaisijan mukaan.

Koestusasemalla käytetyt hydrauliletkut ovat yleisesti SAE 100R1 -kategoriaan kuuluvia. Letkukoko perustuu tuuman kuudestoistaosajakoon, jolloin merkintä -16 tarkoittaa 1". Letkukoko voidaan myös ilmoittaa DIN-standardin mukaan, jolloin letkunkoko on ilmoitettu likimääräisenä kokona millimetreissä. Taulukossa 2 on kuvattuna letkujen SAE-standardin mukaisia sisähalkaisija kokoja. Letkujen sisähalkaisijat on esitetty tuumina ja millimetreinä. Nimellissuuruusmerkintä on DIN-standardin mukainen. [3.]

Taulukko 2. Letkujen sisähalkaisijakoot SAE- ja DIN -standardien mukaisesti [3].

SAE-standardin merkintä	Letkun sisähalkaisija		Nimellissuuruus NS
	[in]	[mm]	
- 04	1/4	6,4	6
- 05	5/16	7,9	8
- 06	3/8	9,5	10
- 08	1/2	12,7	12
- 10	5/8	15,9	16
- 12	3/4	19,0	20
- 16	1	25,4	25
- 20	1 1/4	31,8	32
- 24	1 1/2	38,1	40
- 32	2	50,8	50

Letkun sisähalkaisijan määräytyminen on riippuvainen kahdesta eri tekijästä: Öljyn tuotosta eli tilavuusvirran suuruudesta l/min sekä öljyn virtausnopeudesta m/s. Letkunsisähalkaisija ilmoitetaan millimetreissä (mm). Kun tekijät ovat selvillä, voidaan letkun koko määrittää seuraavasti:

Laskennallisesti:

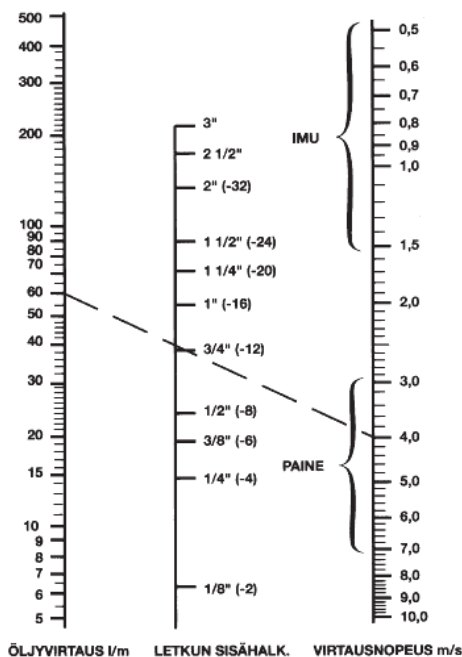
$$v = \frac{q_v}{A} = \frac{q_v}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{q_v \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \qquad d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot v}}$$



Kaavassa virtausnopeus ( $v$ ) saadaan laskettua tilavuusvirran ( $q_v$ ) ja letkunpinta-alan  $A$  suhteella. Pinta-ala tarkoittaa tässä yhteydessä letkunsisäistä pinta-alaa, koska halkaisija ( $d$ ) tarkoittaa letkun sisähalkaisijan kokoa. Letkun sisähalkaisijan laskeminen tapahtuu oikean puolimaisen kaavan avulla. [9.]

Kuvan 13:sta avulla sisähalkaisijoiden määrittäminen on helpompaa. On muistettava, että laskennalliset ja taulukoista saatavat tiedot ovat teoreettisia, koska virtausvastuksia ei ole otettu huomioon. [9.]

Kuvan perusteella pystytään määrittämään letkukoko seuraavasti. Kun tiedetään öljyvirtaus ja virtausnopeus voidaan, vetää suora viiva niiden välille. Viiva leikkaa letkunsisähalkaisijan määrittävän pystyviivan ja kertoo tarvittavan letkukoon.



Kuva 13. Letkun sisähalkaisijan määrittäminen [10].

Hydrauliletkujen pituuksilla on merkitystä, koska letkun pituus vaikuttaa järjestelmässä syntyvään painehäviöön. Painehäviö on huomioitava servomotoorien koestuksia tehtäessä. Pitäyden merkitys on kuvattu kuvassa 14. Kuvassa on kuvattu tilavuusvirran ja letkunsisähalkaisijan merkitys 1 metrin pituisessa let-

kussa. Kuvasta voidaan todeta myös, että tilavuusvirran ollessa pienempi ja letkunsisähalkaisijaa kasvattamalla painehäviö pysyy pienempänä. Huomataan, että letkun pituuden kasvaessa painehäviö suurenee.

Painehäviö millibar (mb)/1 m letkun pituus  
 • ilman liittimiä  
 • läpivirtausmäärä 1–500 l/min  
 • ominaispaine 0,85/MIL-H-5606 +21°C

Laskentaesimerkki:  
 Letku DN 12, 3000 mm pitkä, 50 l/min läpivirtauksella. Taulukon mukaan painehäviö 1 m:n letkulle on 555 mb, 3 m:n letkulle siis 555x3 = 1,665 bar.

DN DIN	6	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	40	40	60	60			
DN (todellinen)	6,4	6,4	8	9,5	10,3	12,7	12,7	15,9	15,9	19	22,2	25,4	28,6	31,8	35	38,1	46	50,8	60,3	76,2		
V/min																						
1	75,4	75,4																				
2	146	146	66,1																			
4	293	293	133	58,6																		
8	613	613	250	117	85																	
10	880	880	335	144	103	45,4	45,4															
15	1776	1776	660	273	182	68,6	27,4	27,4														
20	3080	3080	1129	462	308	116	116	41,4	41,4	18,1												
30			2159	887	592	228	228	81,8	81,8	31,8	31,8											
40				1496	1000	379	379	141	141	50	26,3	14										
50					1414	555	555	192	192	75	41,1	21,5	12,1									
60					1938	756	756	263	263	111	55,9	29,6	15,6	9,87								
70						970	970	373	373	154	71,4	37,4	18,3	13,3	8,51							
80						1250	1250	475	475	200	89,5	49,1	28	16,8	11	6,91						
90							1531	1531	560	560	237	115	66	34,1	21,1	13,5	8,5	3,61				
100								653	653	274	137	73,1	40,8	25,1	15,8	10	4,25	2,71				
125									964	964	393	196	103	59,2	35,6	22,7	14,5	5,78	3,79			
150											567	273	147	77,4	49,8	31,8	19,4	8,57	5,44			
175											735	349	186	106	60,4	41	26,5	11	7,12	3,06		
200											920	431	228	136	83,3	51,4	33,3	13,8	8,63	3,79		
250												642	347	198	124	78,5	49,9	20,8	13,2	6,01		
300												864	475	272	162	105	68,2	27,4	17,3	7,77	2,52	
400													832	483	303	177	118	47,7	32,4	13,9	4,54	
500														1159	590	425	250	164	66	43,3	19,4	6,38
600															562	339	222	88,6	57,4	25,8	8,49	
700															733	461	301	120	78,2	34,6	11,2	
800															924	584	383	151	98,4	43,3	13,8	
900															1144	706	468	182	118	53,2	16,2	
1000																841	553	219	140	67,5	19,6	

Kuva 14. Painehäviöt eri letkujen pituuksilla [10].

### 3.12 Liittimet

Servojen koestuksessa käytetyt liittimet määräytyvät sen mukaan, mikä servomoottorimalli on koestettavana. Tyypillisesti servojen liitännöinä ovat kierrelitokset ja laippaliitokset. Jotta letkujen yhdistäminen koestettavaan servomoottoriin olisi mahdollista, on ne varustettava sopivin liittimin. Liittimiä ei kuitenkaan suoraan kannata kiinnittää servomoottoriin vaan niiden väliin on hyvä asentaa sopiva liitinnippa, joka helpottaa asennusta, estää letkujen kiertymistä ja mahdollistaa vapaan lähtösuunnan valinnan. Laippaliittimet kiinnitetään puristamalla laippa erillisten kiinnityspalojen ja ruuvien avulla tasopintaa vastaan. Tiivisteinä käytetään laippojen välistä tasotiivistettä tai O-rengas tiivistystä. O-rengas tiivistystä käytetään, kun liitos on varustettu O-rengas uralla.

## 4 KOESTUSASEMAN YMPÄRISTÖ JA TURVALLISUUS

Turvallisuusosiolla on pyritty tuomaan esille niitä seikkoja, jotka liittyvät suurempina osina työturvallisuuteen ja työskentelyyn koestusasemalla. Turvallisuuteen liittyviä asioita on pyritty tuomaan esille niin rakenteisiin liittyviin kuin työskentellessä huomioitaviin asioihin ja seurauksiin. Myös työn turvallisuuden kannalta työpaikan ympäristöllä on merkitystä. Huono siisteys ja järjestys voivat olla osasyynä työtaturmissa ja vaaratilanteissa

### 4.1 Yleinen siisteys ja toiminta

Yleisen siisteyden merkitystä ei voida liikaa korostaa, koska sen vaikutukset työilmapiiriin, työskentelyn toimivuuteen ja turvallisuuteen ovat huomattavat. Hydraulijärjestelmien siisteyden ylläpidolla vaikutetaan myös järjestelmään pääsevien epäpuhtauksien syntymiseen. Huollot ja korjaukset tulee suorittaa siisteysttä ja järjestystä noudattamalla. Järjestyksen luominen työpaikalla saadaan aikaan pienillä toimenpiteillä. Järjestyksen ylläpitäminen edellyttää työn ja toimintojen suunnittelua ja oikeiden toimintatapojen noudattamista. Työhön perehdyttäminen ja valvonta ovat osa järjestyksen ja siisteyden ylläpidon onnistumista. On myös tärkeää, että työvälineiden, laitteiden ja työstä syntyvien jätteiden vieminen niille kuuluville paikoille onnistuu

### 4.2 Rakenteiden turvallisuus

Koestusjärjestelmä on rakennettu erilliseen tilaan siten, että koestuslaitteisto sijoitettu korotetulle huolto- ja koestustasolle(kuva 15). Koestustason alapuolelle on rakennettu erillinen valuma-allas, joka suojaa lattiapintaa mahdollisilta öljyvuodoilta. Koestustasolle pääsy on rajoitettu järjestelmää ympäröivillä kaiteilla ja kahden kulkuaukon avulla. Kaiteiden väliset aukot on muovisilla suojalevyillä varustettuja, joiden avulla paineisen öljyn ruiskumista muuhun tilaan on pyritty

rajoittamaan ja sillä tavoin vähentämään muita vahinkoja. Lisäksi suojakaiteet suojaavat koestustason ulkopuolella olevaa koestushenkilöä mahdolliselta letkurikolta, jonka syntyessä suojakaiteet rajoittavat letkun holtittoman liikkeen pääsyn aseman ulkopuolelle. Erilliseen tilaan rakennettu hydraulinen koestusjärjestelmä ehkäisee mahdollisten yli 85 dB melutasojen pääsyn muihin rakennuksen toimitiloihin.

#### 4.3 Hydraulinesteen vaarat

Koestuksissa hydraulineesteeseen liittyy aina vaaroja. Suurimmat hydraulineesteeseen liittyvät vaarat ovat letkurikon aiheuttama nestesuihku sekä kuuman öljyn synnyttämät palovammat.

Hydraulijärjestelmän normaali käyntilämpötila on 30–60 °C astetta. Käyntilämpöistä järjestelmää korjattaessa on huomioitava palovamman syntymisen riski. Palovamman syntyminen on mahdollista, kun ollaan kosketuksissa kuumaan öljyyn. Ihmisen iho palaa n. 48 °C lämpötilassa, ja 2-3 minuutin jatkuva vaikutus aiheuttaa jo toisen asteen palovamman. Öljyn lämpötilan ollessa 60 °C astetta palovamman syntymisaika on enää yksi sekunti. [12.]

Koestuksia tehtäessä on muistettava letkurikon mahdollisuus. Letkurikosta syntyvä hydraulinestesuihku on aina ihmiselle vaarallinen. Letkurikon synnyttämä 7 barin paine lävistää ihmisen ihon. Jos öljy pääsee ihon alle, se voi tunkeutua sormenpäistä aina kudosten sisällä kyynärvarteen asti. Ihmisen elimistö ei pysty poistamaan öljyä vaan vaatii leikkaushoitoa. Vammaan, joka on aiheutunut ihon alle menneestä öljystä, on suhtauduttava vakavasti ja hakeuduttava välittömästi hoitoon. Öljy saattaa aiheuttaa vakavia tulehduksia ja johtaa ääritapauksissa raajojen amputointiin. [12.]



Kuva 15. Koestusasema.

#### 4.4 Toimilaitteet

Toimilaitteiden turvallinen käyttö edellyttää, että niiden saama sähköinen ohjaus pystytään katkaisemaan hätätapauksissa. Toimilaitteiden tuottaman hydraulisen energian katkaiseminen ja palauttaminen takaisin säiliöön täytyy olla mahdollista. Toimilaitteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä laitteiston pumppuja ja niiden sähkömoottoria.

Koestustason toimilaitteiden hätäpysäytys pystytään suorittamaan vain koestustasolle sijoitettujen käynnistys ja pysäytyskatkaisimien avulla. Lisäksi pääkytkin on sijoitettu samalle tasolle, mikä mahdollistaa kaikkien toimilaitteiden pysäytyksen. Koestuslaitteiston ollessa pysäytettynä sähkökatkoksen tai muun pysäytyksen johdosta voidaan paineinen hydraulioöljy ajaa käsikäyttöisten venttiilien kautta takaisin säiliöön. Käsikäyttöiset venttiilit ovat tässä yhteydessä painelinja 1:ssä ja painelinja 2:ssa paineenrajoitusventtiili ja painekompensoitu 3-

tievirransäätöventtiili. Näiden venttiilien avautumisrajoja säätämällä pystytään siirtämään paineinen öljy takaisin säiliöön. Täten pysäytyksen johdosta syntyneet voimat ja jännitykset voidaan turvallisella tavalla poistaa.

#### 4.5 Nostot ja kiinnitykset

Servomoottorien liikuttamiseen tarvitaan normaalisti koestusasemalla käytettävää siltanosturia. Siltanosturin ja nostotarvikkeiden avulla saadaan servomoottorit asennettua niiden koestuksessa käytettyyn kiinnityspöytään. Siltanosturin käyttöön liittyy omat standardinsa, joten turvallisuuden huomiointi kohdistuu enemmän nostovälineiden käyttöön. [16.]

Nostoapuvälineiden turvallinen käyttö edellyttää, että niille tehdään vuosittainen tarkastus VNa:n 403/2008 säännöksen mukaisesti. Nostoapuvälineitä ovat liinat, sakkelit, nostolenkit ja vanttiruuvit. Nostoissa nostokoukun ja nostovälineiden kuorman kantavuus on tarkistettava. Nostoapuvälineitä ei saa ylikuormittaa. Sallittu kuorman kantavuus on merkattu nostovälineisiin. Nostoapuvälineiden kunto on aina tarkistettava ja puutteiden esiintyessä ne on poistettava käytöstä. [16.]

Lisäksi nostoissa on huomioitava nostettavassa kappaleessa esiintyvät terävät kulmat. Terävät kulmat voivat heikentää nostovälineitä ja tämän estämiseksi on käytettävä sopivia kulmasuojaimia. [16.]

## 5 JÄRJESTELMÄN YLLÄPITO JA HUOLTO

Järjestelmän ylläpidolla ja huollolla on pyrittävä pitää koestuslaite moitteettomassa toimintakunnossa. Tässä luvussa on esitetty myös määräaikaishuoltotiedot laitteelle sekä ohjeita huolloista ja siisteyden ylläpidosta.

### 5.1 Järjestelmän huolto ja toimivuus

Järjestelmän ylläpidolla huollolla on suuri vaikutus hydraulijärjestelmän korkeaan käyttöikään ja toimintavarmuuteen. Huollon avulla ehkäistään hydraulines-teessä tai järjestelmän ulkopuolelta kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy järjes-telmän toimilaitteille. Huollon vaikutuksesta toimilaitteiden kuluminen vähenee, vuotojen määrä pienenee ja päästään parempaan toimintavarmuuteen. Lisäksi hydraulinesteen lämpötila on pidettävä sen toiminnan kannalta sopivana, koska nesteen viskositeettimuutokset aiheuttavat järjestelmään häviöitä ja kulumista. Nesteille on laadittu sallitut käyttölämpötilat, josta poikkeaminen johtaa öljyn ominaisuuksien vanhenemiseen. Öljyn vanheneminen vaikuttaa taas öljyn omi-naisuuksien huonontumiseen. Lämpötilan muutoksien vähentämiseksi vaadi-taan järjestelmältä joko tarvittavaa jäähdytystä taikka tarpeeksi suurta nestesäi-liötä, jossa lämpötilan muutos tasapainottuu ympäristön kanssa. [3.]

Koska hydraulihuollon koestusasemalta vaaditaan hyvää puhtautta ja luotetta-vuutta, tulee servomoottorien oikean ja varman toiminnan takaaminen asiak-kaalle varmistaa. Tällöin vaaditaan koestusjärjestelmältä tarkkoja ominaisuuksia. Ylläpidosta pitää huolehtia ja ulkoisten epäpuhtauksien pääsy koestetta-vaan servomoottoriin on ehkäistävä. Tähän vaaditaan, että järjestelmän suoda-tus oikeanlaisessa kunnossa. Suodatuksen oikeanlaisuus on järjestelmän huol-lon yksi tärkeimmistä tehtävistä.

Järjestelmän suodatus on rakennettava niin, että servomoottoreille luokiteltujen puhtausstandardien normit tulevat toteutetuksi. Koko hydraulijärjestelmän puh-tausluokka muodostuu likaherkimmän komponentin mukaan ja sen vaatimasta

puhtausluokasta. Tällöin koko hydraulijärjestelmän suodatustarkkuus on rakennettava likaherkimmän komponentin mukaan.

## 5.2 Epäpuhtauksien vaikutus

Hydraulijärjestelmän neste sisältää aina hieman epäpuhtauksia, jotka heikentävät nesteen ominaisuuksia. Nesteen käyttöikä pienentyy ja järjestelmän luotettava toiminta heikkenee. Epäpuhtaudet järjestelmässä voivat olla hydraulines-teeseen liuenneita tai vapaita liukenemattomia aineita. Jokaista sellaista osaa, joka ei kuulu hydraulisesteeseen, pidetään järjestelmän epäpuhtautena. [3.]

Järjestelmään syntyvien epäpuhtauksien ryhmä voidaan jakaa 3. eri kategori-  
aan niiden syntymisperusteidensa vuoksi: Alkuepäpuhtaudet, ympäristön vaikutuksesta ja järjestelmän sisällä syntyneiden epäpuhtauksien kesken. Alkuepäpuhtauksia syntyy uuden öljyn lisäämisestä. Uusi öljy voi sisältää epäpuhtauksia sen valmistusvaiheen putkistoista, varastosäiliöiden ja varastoympäristön vaikutuksesta. Lisäksi alkuepäpuhtauksia syntyy asennettavista laitteista ja komponenteista. [3.]

Järjestelmän käytön aikana syntyviä epäpuhtauksia tulee eri teitä, mutta tärkeimpinä on toimilaitteiden servomoottorien männänvarsien tiivisteet ja huollon ja korjauksen aikana avoimiksi jääneet huoltoaukot, letkut ja liittimet. [3.]

Huoltojen ja korjausten yhteydessä syntyviin epäpuhtauksiin voidaan vaikuttaa noudattamalla huolellisuutta. Liitokset ja liitännät tulisi suojata ja komponenteille suoritettavat huoltotyöt suoritettava puhtaissa tiloissa.

Järjestelmässä olevia epäpuhtauksia ei pystytä täysin poistamaan, vaikka ulkopuolelta syntyvien epäpuhtauksien vaikutus estettäisiin. Järjestelmä tuottaa itse myös lisää epäpuhtauksia normaalin kulumisen seurauksena. Tärkeintä on poistaa sellaiset epäpuhtaudet, joiden vaikutus järjestelmän toimintaan on kriittisintä. Poistamalla haitallisimmat epäpuhtaudet saadaan laitteiston elinkaarta pidennettyä. [3.]



### 5.3 Puhtausluokat

Puhtausluokat määritellään järjestelmälle hiukkaskokojakauman mukaan. Jotta puhtausluokat olisivat vertailukelpoisia keskenään, on laadittu standardoidut puhtausluokat. Yleisimmin käytössä olevat luokitukset ovat NAS 1638 ja ISO 4406. (Taulukot 2 ja 3)

Standardin NAS 1638 mukainen luokitus perustuu hiukkasten lukumäärään viiden eri kokoluokan mukaan. Hiukkasten määrä lasketaan järjestelmästä otetun 100 ml näytteestä. Tuloksena saadaan puhtausluokka, joka useimmiten määritetään hiukkaskokoluokan 5-15 µm mukaan, eli todennäköisemmin huonoimman tuloksen antavan kokoluokan mukaan. Näin saatava puhtausluokan tulos ei välttämättä vastaa todellista hiukkasjakaumaa, vaan voi antaa harhaan johtavan kuvan järjestelmän puhtaustasosta. Tämän takia näytteestä löydettyjen kunkin kokoluokkaan kuuluvien hiukkasten määrä tulisi ilmoittaa. [3.] Taulukossa 2 on kuvattu NAS 1638 -standardin mukainen puhtausluokitus.

Taulukko 2. NAS 1638 -standardin mukainen puhtausluokitus [3].

Puhtausluokka	Sallittu hiukkasmäärä (kpl/100 ml)				
	5-15 µm	15-25µm	25-50µm	50-100µm	>100µm
<b>00</b>	125	22	4	1	0
<b>0</b>	250	44	8	2	0
<b>1</b>	500	89	16	3	1
<b>2</b>	1000	178	32	6	1
<b>3</b>	2000	356	63	11	2
<b>4</b>	4000	712	126	22	4
<b>5</b>	8000	1425	253	45	8
<b>6</b>	16000	2850	506	90	16
<b>7</b>	32000	5700	1012	180	32
<b>8</b>	64000	11400	2025	360	64
<b>9</b>	128000	22800	4050	720	128
<b>10</b>	258000	45600	8100	1440	256

<b>11</b>	512000	91200	162000	2880	512
<b>12</b>	1024000	182400	32400	5760	1024

Taulukko 3. ISO 4406 -standardin mukainen puhtausluokitus [3].

Puhtausluokka	Sallittu hiukasmäärä (kpl/100ml)	
	alaraja	yläraja
<b>28</b>	$1,3 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$
<b>27</b>	$6,4 \times 10^7$	$1,3 \times 10^8$
<b>26</b>	$3,2 \times 10^7$	$6,4 \times 10^7$
<b>25</b>	$1,6 \times 10^7$	$3,2 \times 10^7$
<b>24</b>	$8 \times 10^6$	$1,6 \times 10^7$
<b>23</b>	$4 \times 10^6$	$8 \times 10^6$
<b>22</b>	$2 \times 10^6$	$4 \times 10^6$
<b>21</b>	$10^6$	$2 \times 10^6$
<b>20</b>	$5 \times 10^5$	$10^6$
<b>19</b>	$2,5 \times 10^5$	$5 \times 10^5$
<b>18</b>	$1,3 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$
<b>17</b>	$6,4 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$
<b>16</b>	$3,2 \times 10^4$	$6,4 \times 10^4$
<b>15</b>	$1,6 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$
<b>14</b>	$8 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$
<b>13</b>	$4 \times 10^3$	$8 \times 10^3$
<b>12</b>	$2 \times 10^3$	$4 \times 10^3$
<b>11</b>	$10^3$	$2 \times 10^3$
<b>10</b>	500	$10^3$
<b>9</b>	250	500
<b>8</b>	130	250
<b>7</b>	64	130
<b>6</b>	32	64
<b>5</b>	16	32
<b>4</b>	8	16
<b>3</b>	4	8

2	2	4
1	1	2

Standardin ISO 4406 luokitus perustuu hiukkasten määrään kahdessa eri kokoluokassa. Yli 5 µm hiukkaset ja yli 15 µm hiukkaset. Hiukkasten määrä lasetaan myös järjestelmästä otetusta 100ml näytteestä. Hydraulikomponenttien puhtausluokkia on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. Eri hydraulikomponenttien puhtausluokat ja absoluuttiset suodatus-tarkkuudet [3].

Hydraulikomponentti	Puhtausluokat		Suositeltava absol. suodatus tarkkuus (µm)
	NAS 1638	ISO 4406	
Hammaspyöräpumput	10	19/16	20
Sylinterit	10	19/16	20
Suuntaventtiilit	10	19/16	20
Suojaventtiilit	10	19/16	20
Kuristusventtiilit	10	19/16	20
Mäntäpumput	9	18/15	10
Siipipumput	9	18/15	10
Paineventtiilit	9	18/15	10
Proportionaaliventtiilit	9	18/15	10
Servoventtiilit	7	16/13	5
Servosylinterit	7	16/13	5

Puhtausluokkasuosituksia on laadittu myös kokonaisille järjestelmille. Järjestelmän puhtausluokka määritetään likaherkimmän komponentin mukaan. Taulukossa 5. on kuvattuna eri järjestelmille luotuja puhtausluokkasuosituksia.

Taulukko 5. Järjestelmien puhtausluokkasuositukset [3].

Järjestelmä	Puhtausluokat	
	ISO 4406	NAS 1638
Matalapainejärjestelmät perinteisin venttiilein	18/15 – 20/17	9-11
Korkeapainejärjestelmät perinteisin venttiilein	17/14 – 19/16	8-10
Proportionaaliventtiili järjestelmät	16/13 – 18/15	7-9
Regelventtiilijärjestelmät	15/12 – 17/14	6-8
Servoventtiilijärjestelmät	14/11 – 16/13	5-7

#### 5.4 Puhtausluokka servomootorille

Edellä mainituista puhtausluokista voidaan todeta, että servomootoreille eli servosylintereille suositeltava puhtausluokka NAS 1638 mukaan on 7 ja ISO 4406 mukaan 16/13. Suositeltava absoluuttinen suodatustarkkuus tulisi olla servomootorien koestuksessa olla vähintään 5 µm. Suodatustarkkuus tarkoittaa, että järjestelmän koestuksessa käytetyt painesuodattimien suodatustarkkuus täytyy olla vähintään sama.

## 5.5 Määräaikaishuollot ja tarkastukset

Määräaikaishuollot määräytyvät usein valmistajien antamien määräaikaishuolto ohjeiden mukaan. Lisäksi määräaikaishuoltoja tehdään laitteiden käytön mukaan. Hydraulisen koestusaseman tärkeimpiin määräaikaishuoltoihin ja tarkastuksiin kuuluu seuraavanlaiset toimenpiteet.

- Säiliön tyhjennys, puhdistus ja uudelleen täyttö.
- Öljyn vaihtaminen tarpeen tullen
- Painesuodattimien vaihto ja puhdistus
- Sivuvirtasuodattimien huollot
- Paineumpun ja moottorin kiinnitysruuvien kiristäminen
- Järjestelmässä esiintyvien vuotojen korjaaminen esim. laippaliitännöiden tiivistykset
- Laitteiden puhdistaminen päältäpäin

### **Öljyn huolto ja vaihto**

Järjestelmän öljyn ominaisuuksia on analysoitava aina koestuksia tehtäessä, koska laite ei ole vuosittain jatkuvassa käytössä vaan sen käyttö rajoittuu huoltoseisokkien ajalle. Öljyn vaihdot perustuvat öljystä otettuihin analyyseihin, jonka mukaan se on vaihdettava. Uuden öljyn lisäyksessä täytyy olla huolellinen, jotta epäpuhtauksien pääseminen järjestelmään estetään. Öljyn lisäämiseen tulee käyttää erillistä suodatinyksikköä OLF-15.

### **Säiliön huolto**

Säännöllinen säiliöhuolto on tärkeää öljyjärjestelmän puhtauden ylläpitämisen ja toiminnan kannalta. Säiliöhuollon yhteydessä nähdään, mitä materiaaleja järjestelmään on kulkeutunut ja kuinka paljon. Säiliöhuollon aikana voidaan ottaa näytteitä säiliöpohjasta, joiden avulla saadaan tulos epäpuhtauksista. Säiliö-

huolto tulisi tehdä vähintään 5 vuoden välein. Tarkistus aina silloin, kun on mahdollista.[13]

### **Mittariston kunnossapito**

Koestusjärjestelmän mittaristo koostuu pääasiallisesti painemittareista. Painemittareita tarvitaan, kun halutaan nähdä painelinjoissa vallitseva paine. Painemittarien kunnossapito vaatii niiden säilyttämisen oikeanlaisuutta. Painemittarien säilytyksessä mittarit on suojattava ulkoisilta vaurioilta. Lisäksi ne on suojattava liialta, kosteudelta ja pölyltä. Painemittareita ei tarvitse erikseen huoltaa vaan painemittarit tulee tarkistaa säännöllisin väliajoin mittaustarkkuuden varmistamiseksi.

### **Hydrauliletkujen käyttöikä ja varastointi**

Hydrauliletkuihin on merkitty valmistuspäivämäärä, josta huomaa valmistusvuoden ja kuukauden. Letkujen käyttöiän määrittämisessä käytetään usein laskettua painesykyä määrittäen määrää, mutta kumiletkujen suositukseksi ennen vaihtoa suositellaan 3-4 vuotta. [22.]

Varastoinnissa olisi hyvä käyttää seuraavia ohjeita:

- Ilman suhteellinen kosteus n.65%
- Auringon valolta suojattu tila.
- Kevyesti kelattuna.
- Letkuja/letku keloja ei saa pinota pinoiksi, alimmat puristuvat kasaan.
- Säilytettäessä oltava tulpattuna, pestynä ja kuivattuna.
- Ei saa pestä bensiinillä eikä saa olla kosketuksissa kemiallisiin aineisiin.

## Suodattimen huolto ja vaihto-ohjeet

Suodattimien vaihto tulee toteuttaa kun suodatinelementin yli vaikuttavan paine-ero kasvaa yli sallitun arvon. Suodattimet on asennettu visuaalisilla lianilmaisimilla. Niiden tehtävä on osoittaa suodatin elementin vaihto

Vaihto/Huolto:

- Yhden käyttövuoden jälkeen tai vähintään tarkastus
  - Lianilmaisimien osoittaa punaista. Normaalisti vihreä
  - Lianilmaisimen osoituksen perusteella suodatinrunko avataan ja puhdistetaan.
  - Patruunan vaihdon aikana ei saa suodatinrunnon sisälle päästää likaista nestettä. Likainen neste pitää poistaa ennen uuden patruunan asentamista paikoilleen.
  - Vuotojen ilmetessä suodatinrunnon tiivisteet vaihdettava
  - HUOM! Paine poistettava ennen suodattimen avaamista
- 
- Suodattimien suodatin patruunat ovat Hydac Betamicron 3-sarjaa
  - Patruunoita ei voi puhdistaa, vaan vaihdettava uuteen. Nykyisin saatavilla Betamicron 4-sarjaa.
  - MDF- suodattimen suodatinpatruuna mallia Betamicron BH/HC ja koko 60.
  - LF- Suodattimen suodatinpatruuna mallia Betamicron BN/HC ja koko 240

## 6 KOESTUS

Koestusosan tarkoituksena on esittää servomoottorien koestustapoja. Työssä piirrettiin kytkentäkaaviot, joista nähdään miten eri servomoottorien kytkentä suoritetaan. Lisäksi koeajon määrittämisistä tehtiin tarkastuspöytäkirja, jota voitaisiin tulevaisuudessa käyttää. Servomoottorien koestus mallit perustuvat säätöservomoottorien koestamiseen. Servomoottorien koestuksessa käytetyt I/P-muunnin ja proportionaaliventtiili (Way-valve) on esitetty vain yleisesti koestuksien kannalta. Niiden erillinen tarkka toiminnallinen selvitys on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

### 6.1 Säätoservomoottorien koestus

Peruseriaatteena koestuksessa on, että kahden eri öljyn paineen avulla saadaan servomoottorin karaa iskunpituutta ohjattua haluttuun asemaan. Tämä perustuu yleisesti vanhempiin malleihin. Uudemmissa servomoottoreissa pelkkä työ-öljynpaine riittää ohjauksen toteutumiseksi. Servojen ohjaus- ja työpaineet vaihtelevat sen mukaan, mikä servomoottori malli on kyseessä. Lisäksi I/P muuntimelle ja Way-valvelle on omat painerajoituksena mallista riippuen.

Koska servomoottorien koestus riippuu servomallista ja sen toimintatavasta, käsitellään ensin vanhempien servomoottorien koestustapa. Vanhemmissa servomoottoreissa vaaditaan oikean toiminnan aikaansaamiseksi työ-öljynpaine sekä ohjauspaine. Työ-öljynpaine pidetään aina stabiilina ja ohjauspaineen säädöllä toteutetaan servomoottorille haluttu asema. Työ-öljynpaine kytketään suoraan työ-öljy linjaan ja ohjauspaine I/P muuntimen kautta ohjauslinjaan. Ohjaus tapahtuu siten, että servomoottorin mekaaninen takaisinkytkentä säädetään jousivoimien ja takaisinkytkentähaitan avulla vastaamaan haluttua avautumiskäyrää ohjausöljynpaineelle. Servomoottorin asemaa seurataan asemanturin avulla. Anturilta saadaan virtaviesti, joka on normaalisti 0/4-20 mA ja sen suuruus riippuu servomoottorin sen hetkisestä asemasta. Ohjauksen virta-

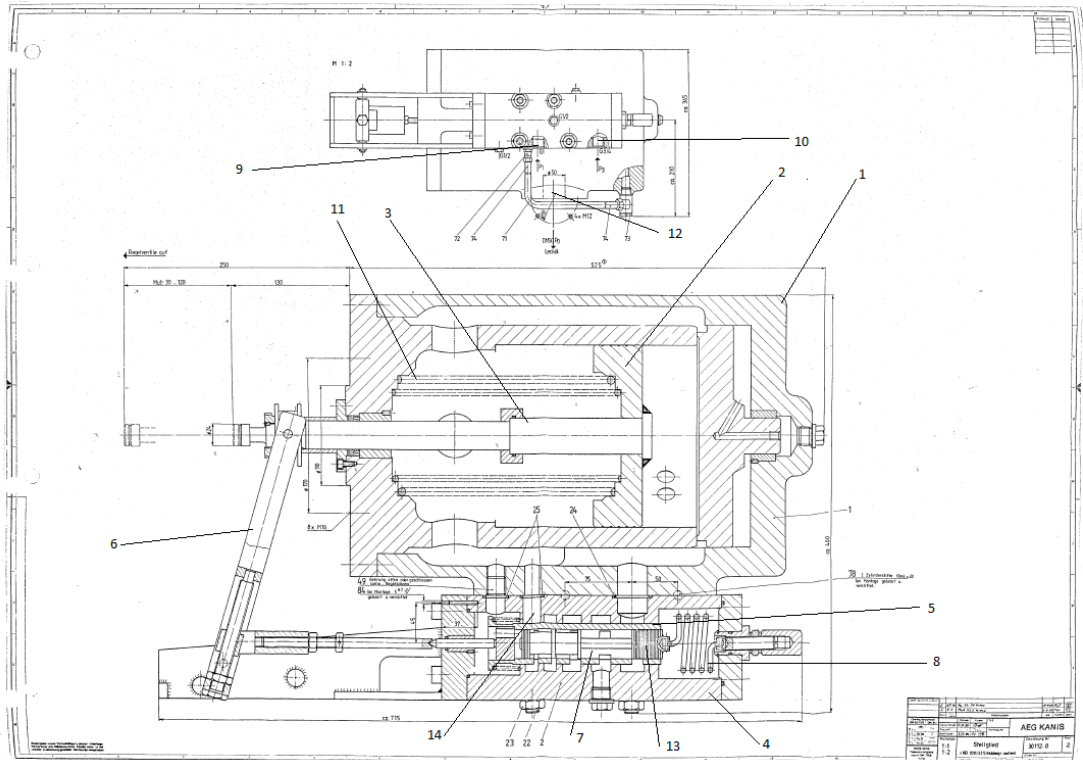


viesti viedään I/P muuntimelle ja I/P muunnin muodostaa tällöin virtaviestiä vastaavan ohjausöljynpaineen. Kuvassa 16. on kuvattuna erilaisia sovelluksia ja toimintaperiaatteita servomootoreille. [17.]

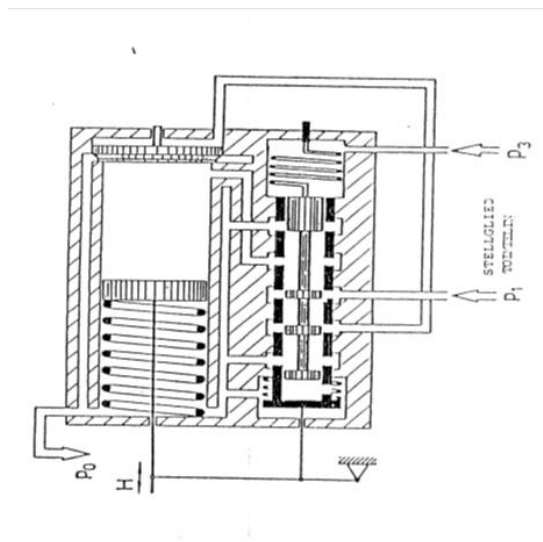
## 6.2 Säätoservomoottorin ohjaus

Kuvassa 16 ja 17 on AEG-Kanis G40 mallin turbiinin säätoservomoottori. Kuvassa on selvitetty servomoottorin liikkeeseen vaikuttavat työ- ja ohjausöljyn paineet. Paine P3 (9) kuvaa ohjausöljyn painetta ja P1 (10) työ-öljyn painetta. Poistoöljyn linja on P0 (12) (Poistoöljylinjassa ei saa olla painetta). Säätoventtiiliä avattaessa nouseva ohjausöljynpaine siirtää ohjausmäntää (13), niin että tasapaino saavutetaan ohjausmännän ja jousen (8) kanssa. Jousi (8) tasaa ohjausöljynpaineen. Kun ohjausmäntä liikkuu aukeaa työ-öljyn kulku servomoottorille. Ohjausmännän liikkeen avulla saavutettu työ-öljyn kulku virtaa servomännän yläpuolelle(2). Servomännän yläpuolella olevan paineen seurauksesta mäntä (2) liikkuu alaspäin jousivoimaa(11) vastaan ja aukaisee säätoventtiiliin. Mekaaninen takaisinkytkentä tapahtuu servomoottorin karalle (3) kytketyn kulmavivun (6) avulla. Servomännän liikkeessä karalle kytketyn kulmavivun(6) avulla ohjausluisti (7) siirtyy ohjausmännän kanssa samansuuntaisesti ja estää työ-öljynpaineen pääsyn servomännälle (2). Täten säätö päättyy ja säätoventtiili jää servomoottorin avaamaan asentoon. [11.]

Ohjausöljynpaineen laskiessa siirtyy ohjausmäntä(13) kunnes ohjausöljyn painevoima ja jousen(8) jousivoima ovat tasapainossa. Ohjausmännän liikkeessä laskevalla ohjausöljynpaineella avautuu työ-öljyn poistovirtauksen aukko servomännältä(2) poistolinjaan. Servomäntä liikkuu tällöin kiinni suuntaan jousivoiman (11) vaikutuksesta ja servomoottoriin kytketyt säätoventtiilit sulkeutuvat. Samalla kulmavipu siirtää ohjausluistia (7) ohjausmännän (13) liikkeen suuntaisesti siten, että poistoöljyn virtaus lakkaa. Säätö pysähtyy ja säätoventtiili jää servomoottorin ohjausöljynpaineen ohjaamaan uuteen asentoon. [11.]



Kuva 16. AEG-Kanis säätöservomoottori.



Kuva 17. Yksinkertaistettu kuva AEG - Kanis säätöservosta.

### 6.3 Servomoottorien kytkentä

Servomoottorin kytkentä tapahtuu koestusasemalla seuraavien vaiheiden mukaan. Servomoottori kiinnitetään koestuspenkkiin tai erilliselle koestuspukille. Kun servomoottori on kiinnitetty ja kiinnityksen on todettu olevan turvallinen, laitetaan öljyn lämmitin päälle. Seuraavaksi kytketään letkut ja asennetaan sopivat liittimet. Koestustilanteessa järjestelmän tuottama työ-öljynpaine ja/tai ohjasöljynpaine kytketään koestettavaan servomoottoriin pikaliittimillä asennetun painetukin kautta. Pikaliittimet on varustettu vastaventtiilein, jotka avautuvat vain kytkettäessä ja sallivat täten virtauksen pääsyn servomoottorille. Vastaventtiilit sallivat vain virtauksen yhteen suuntaan. Kytkentä painetukilta suoritetaan koestukseen tarkoitettujen hydrauliletkujen avulla, jotka on asennettava järjestelmän ollessa paineeton. Hydrauliletkuja asennettaessa on varmistettava, että ne ovat sopivia järjestelmän paineille. Lisäksi asennettaessa letkuja on tarkastettava niiden kunto. Kovettuneet ja viiltoja saaneet letkut on poistettava. Lisäksi letkujen säilöntä pitää suorittaa huolellisesti koestuksen jälkeen. Yleisesti kaikki koestusaseman hydrauliletkut ovat korkeapaineletkuja ja kestävät järjestelmän tuottaman maksimipaineen 210 bar. On kuitenkin hyvä tarkistaa, että letku on käytöltään sopiva koestuksia varten. Letkuja kiinnitettäessä on varmistettava, että letkuasennelma ei ole liian kireällä. Letkut kiinnitetään koestuspenkin haluttuun painelinjaan. Kun on valittu sopiva painelinja ja letkut on asennettu oikein, voidaan käynnistää koestuslaitteiston pumput. Koestuslaitteistolla on hyvä kierrättää öljyä ennen kytkentää, koska tällöin voidaan ehkäistä letkuihin jääneiden epäpuhtauksien pääsy koestettavalle servomoottorille. Koestuksessa käytettävät letkut kiinnitetään painetukin kautta suoraan tankkiin ja öljynkierto voidaan aloittaa. Lisäksi öljyn lämpötila on pidettävä koestuksen aikana sopivana. Öljyn lämpenemistä voidaan parantaa erillisellä lämmittimellä.

## Hydrauliiletkujen kytkentä

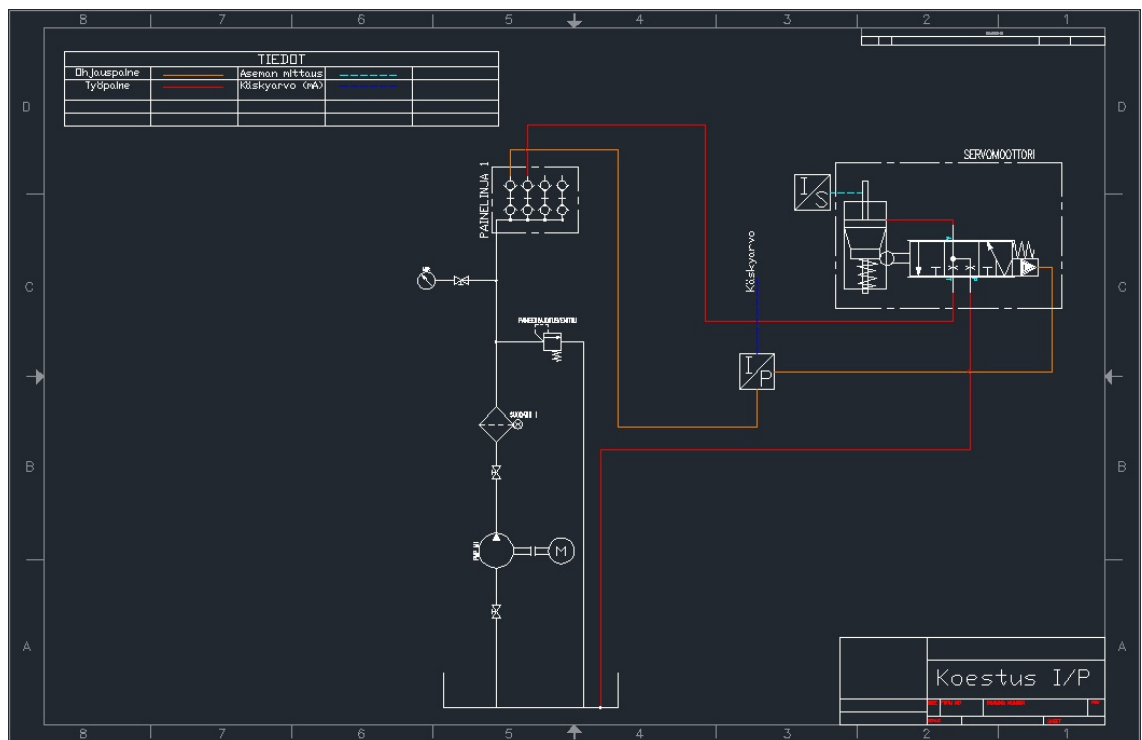
Määritettäessä letkuasennelman pituutta on huomioitava, että letkujen elastisuudesta johtuva muutos pituudessa muuttuu paineen vaihtelujen mukaan. Letkun pituus lyhenee paineen noustessa, siksi pitää välttää letkujen asentamista liian kireälle.[3]

On myös huomioitava, että letkun taivutus ei saa alkaa liian läheltä liittimiä.

- Hydrauliiletkujen liitäntä vain järjestelmän ollessa paineettomana
- Hydrauliiletkuja kiinnittäessä on huomioitava, että letkujen kiinnitys ei saa jäädä kireälle
- Työ- ja paineletkut kytketään servomootorin toiminnan kannalta vaatimiin liitäntöihin. Kts. servomootorin kytkentä kuva
- Paluu letkut kytketään servomootorin paluuliittimeen, jonka kautta se johdetaan takaisin säiliöön.

### 6.3.1 KytKentä I/P muuntimella

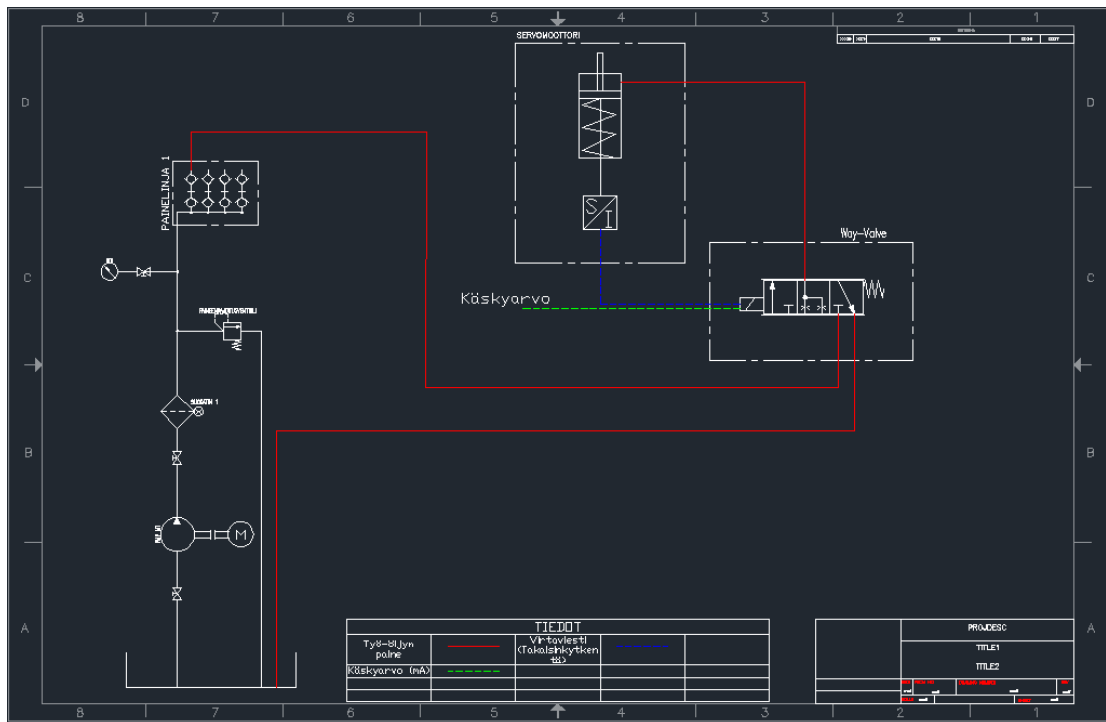
Kuvassa 18. on kuvattuna, kuinka koestus tapahtuu I/P muunninta apuna käyttäen. Painelinja säädetään servomoottorin toiminnan kannalta haluttuun paineeseen. Painelinjan paine pidetään vakiona, koska työ-öljynpaine pitää pysyä stabiilina. Ohjausöljyn paine kytketään I/P muuntimen ohjausliitäntään. I/P muuntimelta tuodaan ohjauspaine sen lähtöliitäntästä ja kytketään servomoottorin ohjausliitäntään. Työ-öljynpaine viedään suoraan servomoottorin työ-öljynpaineen liitäntään. Servomoottorin karan asemaa mittaa asema-anturi, joka vastaa sen hetkistä karan asemaa. Asemamittauksella saadaan indikaatio servomoottorin karan asemasta eikä mittaustietoa kytketä I/P muuntimelle. I/P muunnin viritetään servomoottorin suunnitellulle ohjausöljyn painealueelle, esimerkiksi 4-20 mA virtaviesti vastaa 1,4–2,5 baria painetta. I/P muunnin muuntaa ohjausvirtaviestin (käskyarvo) portaattomasti esiaseteltuun ohjausöljynpaineeseen. Servomoottorin poisto liitäntästä kytketään liitäntä suoraan tankkiin.



Kuva 18. Koestus I/P muuntimella.

### 6.3.2 KytKentä Way-valve

Servomootorin koestus ilman ohjauöljyn painetta riippuu sen mallista. Uudemmat servomootorit on rakennettu siten, että pelkän työ-öljyn paineen ja tilavuusvirran avulla voidaan ohjata servon asemaa. KytKentä tapahtuu kuten I/P muuntimen kanssa, mutta nyt ohjauöljynpaine jätetään pois. KytKetään pelkäs-tään työ-öljyn paine Way-valven kautta servomootorille. Way-valvella sääde-tään painelinjasta tulevaa tilavuusvirtaa. Sääto tapahtuu portaattomasti Way-valven ohjauvirtaviestin mukaan. Servomootorin asema-anturin asentomitta-uksen mA-viesti on kytketty Way-valven asento takaisinkytkentänä. Way-valven tarkoituksena on toimia sähköisenä asettimena. Servomootori ohjautuu portaat-tomasti ohjauvirtaviestin (käskyarvo) mukaan. Ohjauvirtaviestin 4-20 mA vir-taviesti vastaa venttiilin asentoa 0-100 % välillä. Servomootorin haluttu asema määräytyy takaisinkytkennän mukaisesti. Way-valvelta kytketään poistoliitäntä suoraan tankkiin. Kuvassa 19 on kuvattuna järjestelmän kytkentä Way-valven kautta servomootorille. KytKentä vastaa kappaleen 2.1.1 säätöjärjestelmän pe-riaatetta.



Kuva 19. Koestus Way-valvella.

## 6.4 Servomoottorien koeajo- ja asennusohjeet

Servomoottorien koeajoissa määritetään seuraavanlaiset toimenpiteet. Servomoottorit paineistetaan niiden vaatimien käyttöpaineiden mukaan ja tarkistetaan mahdolliset vuodot. Paineistuksen aikana esiintyvät vuodot merkataan tarkastuspöytäkirjaan (liite 1 & 2) ja pyritään selvittämään koestuksissa esiintyneiden vuotojen syy. Tämän jälkeen servomoottori ajetaan sen (minimi) ääriasennosta toiseen ääriasentoon (maksimi) ja mitataan ja merkataan servomoottorien kokonaisiskunpituus. Iskunpituuden selvittämisessä voidaan käyttää anturi tiedon lisäksi mittakelloa tuloksen varmistamiseksi. Koeajoissa määritetään myös servomoottorien magneettiventtiilien minimi pitojännite, joka pitää venttiilissä ohjauskaraa paikallaan ja vastaavasti minimi vetojännitteen, jolla ohjauskara lähtee venttiilissä liikkeelle. Lisäksi tarkastetaan servomoottorien minimipaine, jonka seurauksesta servomoottori lähtee liikkeelle sekä minimipaine, jolla servomoottori pysyy auki. Koeajosta suorituksista tehdään tarkastuspöytäkirja.

Servomoottorin asennusohjeet koeajoa varten:

- Suorita kaikki servomoottoriin kuuluvat asennustyöt servomoottorin ollessa jännitteetön ja hydraulisen koestuslaitteen ollessa pois päältä (paineeton)
- Valmistele asennuksen aloitus työt. Varmista, että kaikki tarvittavat varaosat, lisälaitteet ja työkalut ovat saatavilla
- Asennettaessa koestusletkuja servomoottoriin, varmista, että kaikki liitokset ovat kiristetty kunnolla. Lisäksi varmista, että letkut ovat puhtaita ja tarvittaessa puhdista letku huuhtelemalla.
- Koestusöljyn lämpötila ei saa ylittää servomoottorin valmistajan antamia lämpötilarajoja.
- Puhtaus on ehdoton asennuksen aikana. Varmista, että pöly, muu lika mm. pienet metallin palaset eivät pääse servomoottorin sisälle asennuksen aikana tai letkujen kautta.

## 7 LAITTEISTON OMINAISUUDET

Laitteiston ominaisuuksia on verrattu työhön rajoitettuihin yleisempien koestuksissa olevien servomoottorimallien mukaan. Laitteiston ominaisuudet on esitetty yleisellä tasolla perustuen laitteiston tuottamien paineiden ja tilavuusvirtojen riittävyyteen koestettaville servomoottoreille. Lisäksi järjestelmän ominaisuuksia on kuvattu tilavuusvirtojen ja paineiden säädöillä painelinjoittain.

### 7.1 Laitteiston vaatimukset

Servomoottorien vaatimat työ- ja ohjauspaineet ovat eri servomoottoreilla erilaiset. Koestuslaitteen tuottamat paineet ja tilavuusvirrat on tiedettävä koestuksia tehtäessä. Servomoottorien vaatimat ohjaus- ja työpaineet vaihtelevat valmistajien tekemien sovellusten mukaan noin 2-160 barin painetasoilla. Tilavuusvirrat määräytyvät toiminta-aikojen ja servojen koon puitteissa. Nykyinen koestuslaitteisto tuottaa eri painelinjojen avulla eri koestuspaineita. Koko koestuslaitteen painetasoa pystytään säätämään 0-210 barin paineiden välillä. Nykyisellä paineentuoton kokonaistasolla se pystyy vastaamaan servomoottorien koestuksissa vaadittuun painetasoon. Tilavuusvirtaa laitteisto tuottaa eri painelinjasta riippuen 0-132 l/min. Taulukossa 6 on kuvattuna eri painelinjojen pumppujen tuottamat maksimi paineet ja tilavuusvirrat.

Taulukko 6. Koestuslaitteen paineet ja tilavuusvirrat painelinjoittain.

	Painelinja 1	Painelinja 2	Painelinja 3
<b>Max. paine</b>	60 bar	210 bar	17 bar
<b>Tilavuusvirta (l/min)</b>	123 l/min	29 l/min	132 l/min



## 7.2 Koestuslaitteen säätäminen toiminta-arvoihin

Koestuslaitteen vakioilavuuspumppujen painetasoa saadaan säädettyä paineensäätöventtiilien avulla. Säättöilavuuspumpun painetta voidaan säätää myös pumpun painekompensaattorin ja pumpun tilavuusvirtaa säädetään kierrostilavuuden säätimellä. Säättö tapahtuu seuraamalla painemittarista paineen käyttäytymistä ja täten varmistetaan, että toimilaitteet voivat tehdä liikkeensä. Kun todettu, että koestuksessa tarvittavat paineet ovat oikein niin, säädetään koestettavan laitteen nopeudet toiminnan kannalta sopiviksi. Nopeutta säädetään tilavuusvirran avulla. Koestusjärjestelmästä tulevaa tilavuusvirtaa voidaan säätää virtavastusventtiilien, 3-tiepainekompensoidun virransäätöventtiilin, säättöilavuuspumpun kierrostilavuuden säätimellä ja erillisellä way-valven ohjauksella.

Kun säädöt ovat oikein ja järjestelmää käytetään, on hyvä seurata laitteiden toimintaa, etteivät sähkömoottorit, pumput, venttiilit ja muuta laitteet kuumene liikaa. Normaali käyntilämpötila on 30–50 °C. On hyvä myös tarkkailla mahdollisia vuotoja ja järjestelmän käyntiääntä. Vuotojen ilmetessä on hyvä poistaa paineet ja korjata vuodot.

## 7.3 Tilavuusvirtojen- ja paineensäätö

Vakioilavuuspumppujen pyörimisnopeus on kolmivaiheisten sähkömoottorien avulla säädetty vakionopeuteen. Tällöin pumpun tuottama tilavuusvirta pysyy vakiona. Vakioilavuus pumppu tuottaa aina saman nestemäärän kierrosta kohden. Pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa pystytään muuttamaan vain, jos sähkömoottorin pyörimisnopeutta muutetaan.

## 7.4 Painelinja 1

Painelinja 1 vakioilavuuspumpuna toimiva ruuvipumppu tuottaa järjestelmän painelinjaan 1 painetta 60 baria. Tilavuusvirtaa pumppu tuottaa järjestelmään

123 l/min. Paineensäätö tapahtuu paineenrajoitusventtiilin avulla. Paineenrajoitusventtiilin paineensäätöalue rajoittuu 50–220 bar välille. Tämä johtaa siihen, että pumpun painetta voidaan säätää vain 10 baria vähemmälle, mitä se tuottaa. Paineenrajoitusventtiilin säätö tapahtuu venttiilin kyljessä olevasta kierretangosta. Kierretangoa säätämällä saadaan jousen jousivoimaa säädettyä. Tietty jousen voiman arvo vastaa tiettyä painearvoa. Säädetty paine nähdään painelinjoihin asennetuista painemittareista.

Tilavuusvirtaa voidaan säätää erillisillä asennettavilla virtavastusventtiileillä taikka muuttamalla ruuvipumpun pyörimisnopeutta.

## 7.5 Painelinja 2

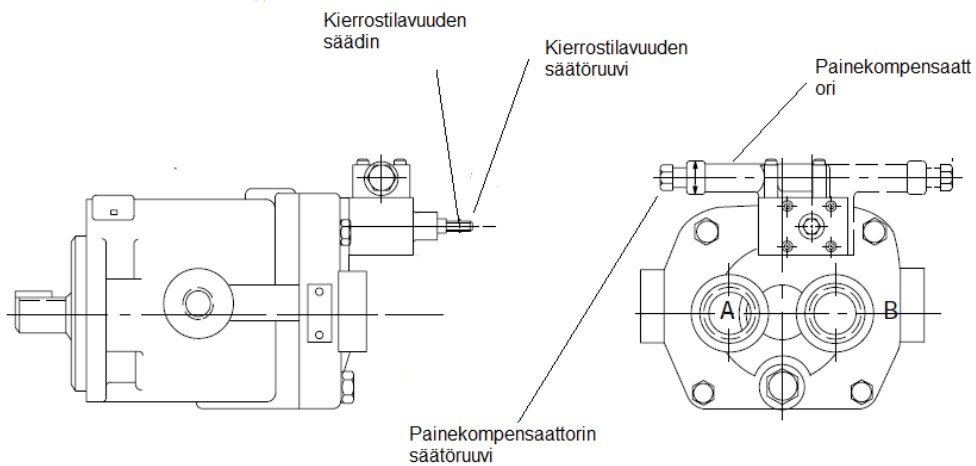
Painelinja 2:ssa olevan säätötilavuuspumpun eli aksiaalimäntäpumpun avulla saadaan koestusjärjestelmään aikaiseksi suurin koestuspaine 210 bar. Koestuspainetta pystytään säätämään pumpussa olevan painekompensaattorin avulla aina 35–210 barin paineiden välillä. Tilavuusvirtaa saadaan säädettyä pumpun kierrostilavuutta säätämällä. Pumpulla voidaan maksimissaan tuottaa 34 l/min tilavuusvirtaa, mutta tämä vaatisi käyttömootorilta suurempaa pyörimisnopeutta. Pumpun maksimi tilavuusvirran tuotto on mitoitettu moottorin 1800 rpm mukaan. Pumpun nykyinen tuotto on 29 l/min ja käyttömootorin pyörimisnopeus on säädetty 1440 rpm mukaan.

### 7.5.1 Aksiaalimäntäpumpun paineen ja kierrostilavuuden säätö

Aksiaalimäntäpumpun paineen- ja kierrostilavuuden säätö tapahtuu ruuvaamalla säätötankoa (kuva 20). Kierrostilavuuden säätö tapahtuu avaamalla säätötangon lukkomutteria. Kun lukkomutteri on avattu, voidaan säätötankoa kiertää sekä myötä- että vastapäivään. Myötäpäivään kierto pienentää kierrostilavuutta, kun vastapäivään kierto vastaavasti kasvattaa kierrostilavuutta. Kun haluttu kierrostilavuus on säädetty, kiristetään lukkomutteri paikalleen. Säätötangon yksi kierros vastaa kierrostilavuuden muuttumista 1.88 cm<sup>3</sup>/r.

Paineensäätö tapahtuu painekompensaattori säätämällä. Jos pumpun säätöä ei ole aikaisemmin säädetty, kierretään pumpun säätöruuvi auki asentoon, jonka jälkeen painemittaria seuraamalla säädetään paine haluttuun arvoon.

Pumpun säädintä ei saa säätää pumpun käynnissä ollessa yli 28,4 mm. Paineen muuttaminen pumpussa ei muuta pumpun tuottamaa tilavuusvirran määrää.



Kuva 20. Mäntäpumpun kierrostilavuuden ja paineensäätimet [19].

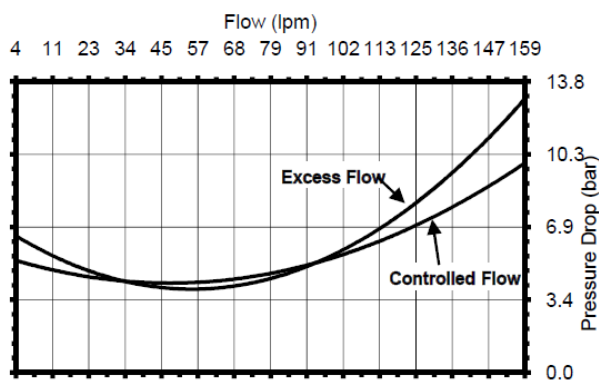
#### 7.5.2 Painelinjan säätö painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin avulla.

Järjestelmän painelinja 2 tilavuusvirransäätö tapahtuu painelinjaan kytketyn painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin avulla. Venttiilin avulla ei voida varsinaista käyttöpainetta säätää vaan säätö perustuu vain tilavuusvirran säätöön. Tilavuusvirran kuristuksella tapahtuu kuitenkin pientä paineen muokkausta painelinjassa. Kuristuksen kasvattaminen venttiilissä johtaa öljynpaineen nou-

suun, kun taas kuristuksen avaaminen pienentää painelinjassa vallitsevaa painetta.

Taulukosta 7.nähdään, kuinka eri tilavuusvirran kasvu vaikuttaa paineen puutoamiseen. Excess flow kuvaa sitä tilavuusvirtaa mikä ohjataan takaisin säiliöön. Controlled flow kuvaa tilavuusvirtaa, joka otetaan venttiilistä toimilaitteelle.

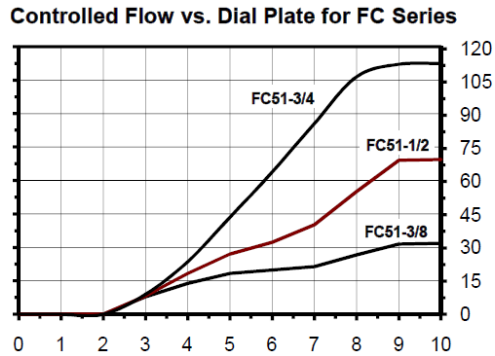
Taulukko 7. Painekompensoidun 3-tievirransasäätöventtiilin tilavuusvirran säädön vaikutus käyttöpaineeseen [14].



Painelinjassa käytetty painekompensoitu 3-tievirransasäätöventtiili mahdollistaa tilavuusvirran säädön 0-114 l/min alueella. Taulukosta 4. nähdään, että paineenpudotusta ei juuri tapahdu, koska painelinja pumppu tuottaa 29 l/min. Taulukosta voidaan, todeta, että käytössä oleva venttiili ja sen tilavuusvirran säätö on yli mitoitettu pumpun tuottoon nähden.

Tilavuusvirran säätöä venttiilissä kuvaa myös siihen kiinnitetty asteikkolevy, jonka tarkoituksena on käyttäjälle nähdä säädettävä tilavuusvirran kuristus venttiilissä. Taulukko 8. kuvaa venttiilissä olevan asteikkolevyn numeroinnin merkitystä tilavuusvirtaan.

Taulukko 8. Painekompensoidun 3-tievirransäätöventtiilin tilavuusvirran säätö asteikkolevyn mukaan [14].



Venttiiliin FC51-3/4 on painettu asteikkolevy osoittaa säätövirran tilaa. Säätövirran voidaan säätää asteikon 0-10 mukaan. Aksiaalimäntäpumpusta saatava tilavuusvirta kuitenkin rajoittaa säädön asteikonumerolle 4 asti. Tämä tarkoittaa, että asteikolle 5-10 säädetty kuristusvipu pitää tilavuusvirran järjestelmässä suurimmillaan ja että se ei vaikuta enää tilavuusvirran säätöön.

### 7.6 Painelinja 3

Painelinja 3:en paineensäätö tapahtuu vastapaineventtiilin(kuva 23) avulla, joka on toiminnaltaan vastaa paineenrajoitusventtiiliä. Painelinja 3 pumppu tuottaa painelinjaan maksimissaan 17 barin painetason, joka on alennettu 10 barin paineeksi painetukille.



Kuva 21. Vastapaineventtiili.

Paineenalennusventtiilin säätö tapahtuu paineenalennusventtiilin yläpuolella olevan kierretangon ja mutterin avulla. Kierretankoa kiertämällä saadaan venttiilin sisällä olevaa joustaa säädettyä painetasoa vastaavaan jousivoimaan. Paineensäätöalue 5-16 barin paineen välillä.

## 8 KEHITTÄMINEN

Laitteiston kehittäminen on tässä työssä rajattu kehitysideoiden kirjaamiseen ja laajuutensa vuoksi, tarkempi laitteiston kehittäminen, tulevaisuuden toiminta ja kehitysideoiden toteutus on jätetty yrityksen harkinnan varaan. Kehitysideat laitteistolle perustuvat opinnäytetyöntekijän havaitsemiin puutteisiin ja ongelmiin. Kehitysideoiden syntyminen on vaatinut käytössä olevaan laitteistoon ja tiloihin tutustumista Fortumin Inkoon voimalaitoksella sekä paneutumista työhön käytössä olleisiin ja työssä syntyneisiin materiaaleihin.

### 8.1 Yleisilme ja ylläpito

Koestusaseman yleisilme ja järjestys on kärsinyt koestusasemalla huonosti hoidetusta laitteiston ylläpidosta ja ohjeistuksesta. Yleisilmettä pystytään parantamaan ohjeistuksella, mikä on myös työn tarkoitus. Ohjeistuksen lisäksi koestusasemalle olisi hyvä nimetä henkilö, joka vastaisi asemalla tehdyistä töistä, ylläpidosta ja ohjeistuksen toimivuudesta. Vastaava henkilö valvoisi ja raportoisii asemalla esiintyvistä uusista puutteista ja ongelmista

### 8.2 Pumput ja paineentuotto

Järjestelmän pumpuilta saatava paine jakautuu 17–210 barin alueelle ja paineensäätö on toteutettu 5–220 barin välille. Vaikka painealue on varsin laaja ja paineensäätö myös, esiintyy siinä silti puutteita. Paineensäätöjen vaillinaisuuksien vuoksi painealueeseen jää aukko 17–35 barin paineiden välille. Tämä tarkoittaa sitä, että tämä painealue on pois käytöstä koestuksen aikana, jos ei muulla paineensäätimellä vähennetä isompaa painetta. Seuraavassa selvitys, miksi näin tapahtuu. Painelinja 1. pumppu tuottaa 60 baria painetta ja säätöalue paineenrajoitusventtiilillä on 50–220 baria. Säätöalue on paineenrajoitusventtiilin mallin mukaan 10 baria. Painelinja 2. pumppu tuottaa painetta 35–210 barin

alueella ja paineensäätö pumpun painekompensaattorin avulla. Painelinja 3. pumppu tuottaa painetta 17 baria ja paineensäätö 5-16 baria välillä. Tästä voidaan todeta, että paineen saaminen koestuksessa 17–35 barin alueelle ei ole mahdollista nykyisten paineensäätöventtiilien avulla. Ratkaisuna ongelman poistamiseksi on kolme kehitysideaa.

## 1. Kehitysidea

Ensimmäinen tapa olisi kustannuksiltaan pienin ja helpoin tapa muokata paineensäätöä. Kehitysideana olisi, että painelinja 2:ssa oleva pumpun tuotto voitaisiin uudistaa uudella paineenrajoitusventtiilillä, jossa säädettävä paine-alue olisi rajoitettavissa vähintään 15–60 barin paineen välillä, koska pumpun maksimipaine on 60 baria. Ratkaisu mahdollistaisi paineensäädön laajemmin. Paineensäätöventtiilin pitäisi myös olla sellainen, että sen läpivirtaus arvo on suurempi kuin pumpun tuottama tilavuusvirta. Tällöin saadaan pumpun tuottama tilavuusvirta kokonaan käyttöön.

## 2. Kehitysidea

Toinen kehitysidea olisi laajuudessaan suurempi ja kalliimpi vaihtoehto. Kehitysideana olisi vaihtaa matalapainepumppu uuden malliseen, koska nykyisen matalapainepumpun valmistus on lopetettu ja pumppu on jo vanha, vaikkakin toimintakuntoinen. Uusi pumppu voisi malliltaan olla samankaltainen kuin nykyisin käytössä oleva 3-ruuvipumppu, mutta paineen tuotoltaan suurempi. Uuden pumpun maksimipaine voitaisiin nostaa 40 bariin. Tämä tarkoittaisi, että nykyisen matalapainepuolen paineenrajoitusventtiilinä toimiva vastapaineventtiili pitäisi myös vaihtaa uudempaan, koska paineensäätöaluetta pitäisi kasvattaa nykyisestä 5-16 barin paineen säätöalueesta. Tämä ratkaisu vaatisi myös uuden suodattimen hankkimista vanhan tilalle, koska vanha suodatin toimii jäähdyttimenä. Suodattimen nykyinen tilanne on muutenkin ongelmallinen, koska sen toiminta on muutettu nesteen jäähdyttämiseen ja tämä johtaa siihen, että laitteiston suodattimilta vaadittu suodatustarkkuus vaaditun puhtausluokan aikaan-



saamiseksi ei toteudu. Lisäksi järjestelmää voitaisiin täydentää erillisellä jäähdyttimellä, joka estäisi paremmin järjestelmän lämpenemistä. Jäähdytintarkaisu on kuvattu omana osionaan.

### **3. Kehitysidea**

Kolmantena kehitysideana olisi näiden kahden ensimmäisen ehdotuksen väli-muoto lisättynä erillisellä jäähdyttimellä. Laitetta voitaisiin kehittää siten, että ensimmäisen kehitysidean mukaan painelinja 2:en paineenrajoitusventtiiliin säätöaluetta laajennettaisiin uudella paineenrajoitusventtiilillä. Uusi säätöalue olisi vähintään pumpulta saatavaan maksimipaineeseen asti. Tällöin voitaisiin käyttää järjestelmässä vain kahta pumppuyksikköä ja välttyttäisiin laitteiston suuremmalta muutokselta. Matalapainepuoli voitaisiin haluttaessa korvata erillisellä jäähdytysratkaisulla ja vanhat komponentit laitteistosta voitaisiin poistaa kokonaan.

Matalapaine puolen ongelmana ovat olleet myös vuotavat laippaliitokset. Vuotavat liitokset ovat aiheuttaneet nykyisen niiden alapuolella olevan valuma-altaan täyttymisen epäpuhtaasta öljystä. Vuotojen ongelmana on ollut myös säiliön öljyn väheneminen, joka vaikuttaa omalta osin säiliön lämmönsiirtokykyyn.

### **Matalapainepumpun uudistus, huolto ja kunnostus**

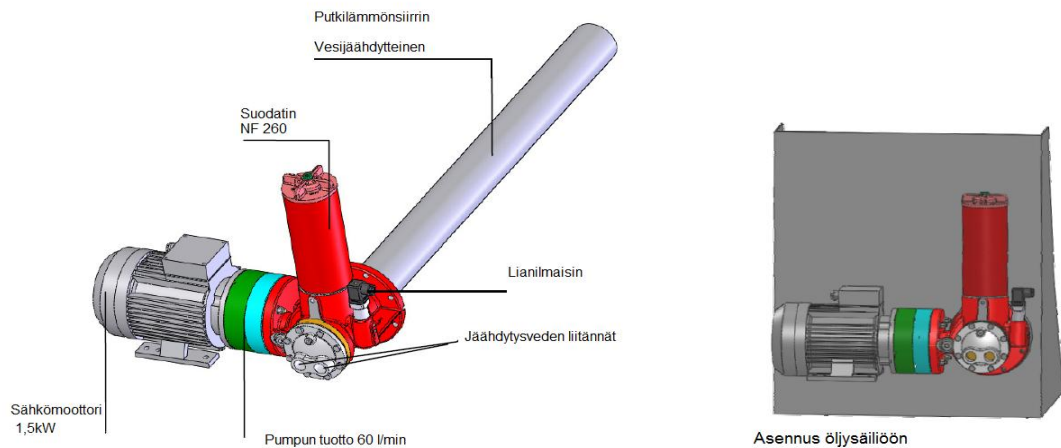
Käytössä oleva matalapainepumpun malli on valmistajan (Joh.Heinr Bornemann) mukaan lopetettu ja uudempien mallien valmistus on siirretty toisen yrityksen nimiin (KRAL). Suomessa edustajana toimii Sondex Tapiro. Pumpun vanha malli ja tuotto on nykyisten C118 ja C160 mallisten pumppujen välistä. Vanhaan pesään voidaan asentaa uusi sisäpumppu tarpeen vaatiessa mallia 118, joka on tuotoltaan nykyistä hieman pienempi 118 l/min. Uutena pumppuna toimisi C160.

### 8.3 Jäähdytin

Koestusjärjestelmän ongelmana on öljyn lämpeneminen useamman koestuksen jälkeen yli 45 °C asteen. Koestuslämpötilan pysyminen stabiilina parantaa servomoottorien koetulosten vastaavuutta niiden oikeaan toimintaan ympäristöön. Keskimääräinen koestusaika yhdelle servomoottorille eri järjestelyineen on ollut keskimäärin 3 tuntia. Ensimmäisen servomoottorin koeajon jälkeen, seuraavan koeajo- ja järjestelyaika voi pudota alle 2 tuntiin. Tämä järjestely vaatii kuitenkin, että seuraava koestettava servomoottori on samanlainen kuin edellinen. [17.]

Koeajot vaikuttavat järjestelmän lämpenemiseen merkittävästi, mutta lämpeneminen johtuu myös sopivan jäähdytyksen puutteesta. Järjestelmä lämpenemiselle suurin selitys on, että öljysäiliö ei ainoana lämmönsiirtimenä pysty pitkien koestusten aikana vapauttamaan tarpeeksi ylimääräistä lämpöä järjestelmästä ympäröivään ympäristöön.

Kehitysideana järjestelmän lämpenemiselle on jäähdytin ratkaisuksi HYDAC-nimisen yrityksen valmistama jäähdytys-suodatin yksikkö FCI (kuva 22). Tällä ratkaisulla voitaisiin laajasti jäähdyttää säiliössä olevaa öljyä. Jäähdytinteho olisi yli 30 kW ja kattaisi laskelmien perusteella hyvin pumppujen muodostaman häviötehon ja järjestelmän lämpenemisen. Jäähdyttimen hyvänä puolena on, että erillisten jäähdyttimien asentamista öljyn paluu puolelle ei tarvitse rakentaa, vaan ratkaisulla saataisiin koko öljysäiliön öljymäärä jäähdytyksen alaisuuteen.



Kuva 22. Jäähdytin-suodatin yksikkö [18].

Jäähdytintarvikkeiden koostuu sähkömoottorilla ohjatusta pumpusta, jolla voidaan jäähdytykseen käytetty vesi pumpata putkimaiseen lämmönsiirtimeen. Jäähdyttimeen kuuluu lisäksi suodatin, joka pyrkii pitämään jäähdytysveden puhtaana. Jäähdytin asennettaisiin säiliön kylkeen laippaliitoksella, niin että lämmönsiirrin on kokonaan öljysäiliön sisällä. Putkimaisen lämmönsiirtimeen tehtävänä on jäähdyttää säiliön sisällä olevaa öljyä putken sisällä virtaavan kylmän veden avulla. Jäähdytysveden putkilinja voitaisiin rakentaa hydraulisenkoestusaseman viereisessä tilassa olevasta pesutilasta.

### Laskelmat jäähdytyksen tarpeesta

Laskettu säiliön jäähdytyspinta-ala, joka määräytyy säiliön siitä osasta, joka on kosketuksissa nesteeseen. Säiliön pituus 2,4m , leveys 1,4m ja korkeus 0,7. Nestettä säiliössä oletettu 80%. Käyttölämpötila  $t_k = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ympäristön lämpötila  $t_u = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Säiliö on nostettu lattiatasosta joten oletetaan, että säiliön pohjan ali kulkeva ilmavirta on heikko  $k = 6 \text{ W/m}^2/\text{K}$ .

$$H_{neste} = 0,7\text{m} * 0,80 = 0,56\text{m}$$

$$A_h = 2,4\text{m} * 1,4\text{m} + 2 * 2,4\text{m} * 0,56\text{m} + 2 * 1,4 * 0,56 = 7,62 \text{ m}^2$$

Säiliön jäähdytyskyky:

$$P_{\text{jäähdytys}} = k * A_h * (t_k - t_u) = 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 7,62 \text{ m}^2 ((273 + 50) - (273 + 20)) \text{K} = 1310 \text{ W}$$

Verrataan pumppujen muodostamaan häviötehoon. Järjestelmän pumppujen häviötehot ovat ruuvipumppu M1= 1950 W, mäntäpumppu M2 = 1320 W ja ruuvipumppu M3 = 705 W. Huomataan, että säiliön jäähdytysteho on sopiva mäntäpumppulle M2 ja ruuvipumppu M3:lle. Laskelmissa täytyy ottaa huomioon, että järjestelmän jäähdytyskykyyn vaikuttaa myös muiden komponenttien kuin pumppujen lämpeneminen, joita ei ole otettu huomioon. Laskelmien perusteella voidaan tukea ajatusta, että järjestelmä tarvitsisi silti jäähdytystä.

Pumppujen häviöteho on laskettu seuraavan kaavan mukaisesti:

$$P_p = Q_p * \Delta p * (1 - \text{pumpun hyötysuhde} * \text{moottorin hyötysuhde})$$

esim. ruuvipumppu M1

$$P_p = 123 \text{ l/min} * 60 \text{ bar} * (1 - 0,92 * 0,8) = 1950 \text{ W}$$

#### 8.4 Öljysäiliö ja neste

Koestusjärjestelmän öljysäiliölle on ominaista, että se kerää hydraulinesteen mukana tulleita epäpuhtauksia ja toimii järjestelmän ainoana passiivisena lämmönsiirtimenä. Epäpuhtauksien pääsyä järjestelmän komponenteille sekä koestettaville servomoottoreille sekä nesteen tarvittavaa jäähdytystä voitaisiin parantaa öljysäiliöön seuraavanlaisin menetelmin.

Koestusjärjestelmässä öljyn paluu- ja vuotoliitännät on rakennettu siten, että käytössä olevat letkut asennetaan suoraan huoltoluukun päälle kierrelitoksien. Huoltoluukku sijaitsee samalla puolella kuin korkeapainelinjojen 1 ja 2 imukanavat. Ongelmana tässä yhteydessä on, että paluu ja vuotoliitännöjen kautta öljy-

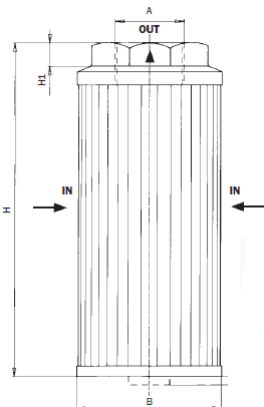
jysäiliöön palautuva öljy ei ehdi välttämättä tarpeeksi jäähtyä vaan voi joutua uudelleen jäähtymättömänä takaisin koestukseen. Paluu, että vuotoliitännöiltä palautuvan lämpimän öljyn jäähtymistä saataisiin paremmaksi sijoittamalla ne mahdollisimman kauas imukanavista. Lisäksi rakentamalla öljysäiliön sisälle erillinen välilevy, jonka avulla voitaisiin paluu- ja vuotoliitäntä puoli pitää omaan imupuolesta. Väliseinän asennuttaminen auttaisi öljyn sekoittumista ja jäähtymistä. Väliseinä estäisi lämpimän nesteen pumppaamisen takaisin järjestelmään. Lisäksi se auttaisi palautuvan lämpimän öljyn lämmönsiirtymistä ympäristöön. Väliseinän avulla sekä öljyn säiliössä viettämää aikaa, että epäpuhtauksien erottumista saadaan parannettua. Väliseinän rakennuttamista hankaloittaa säiliön sisälle pääsy, koska huoltoluukku on pieni ja levyjen asentaminen on täten hankalaa. Mahdollisena on viedä säiliön sisälle pienempiä levyjen osia ja yhdistää niistä hitsaamalla suurempi kokonaisuus säiliön sisälle. Vaihtoehto on kuitenkin hankala. Paluu- ja vuotopuoli sekä imupuolten sijainnin takia, välilevy pitäisi asentaa säiliön keskelle pitkittäissuuntaisesti. Levyn koko kasvaisi ja sen hitsaaminen olisi hankalaa ja turvallisuusriski.

Nykyisen huoltoluukun päälle rakennetut liitännät voisi rakentaa siten, että palautuva öljy tulisi nestepinnan alapuolelle. Nykyinen systeemi mahdollistaa suihkumaisen öljyn palautumisen, joka muodostaa vaahtoa ja ilman sekoittumista öljyyn. Järjestelmän tätä osaa voitaisiin kehittää rakentamalla pidemmät paluu putket, jotka vievät öljyn varmasti nestepinnan alapuolelle tai asentamalla viistosti olevan levy huoltoluukun paluu- ja vuotoliitäntöjen alapuolelle. Levyn asentaminen huoltoluukun alapuolelle taas heikentää pääsyä huoltoluukun kautta säiliöön, joten öljyn paluuputkien asentaminen olisi parempi vaihtoehto.

## 8.5 Suodattimet

Laitteiston painelinjojen suodatus toimii painesuodattimien avulla ja sen hyötynä on puhdistaa painelinjassa oleva öljy servomoottorien vaatiman puhtausluokan mukaan. Ongelmana painelinjoissa on, että pumppujen ja öljysäiliön välistä imu-lyhdettä ei ole suodatettu. Imusuodattimena toimivalla imusiivilällä parannettaisi

siin pumpun imupuolelle tulevan öljyn puhtaus, joka samalla estäisi suurempien likapartikkelien pääsyn pumpulle. Pumpun toimintavarmuus ja käyttöikä kasvaisi.



Kuva 23. Imusiivilä [15].

Imusuodattimena käytettäisiin kuvan 23. kaltaista imusiivilää. Imusiivilä asennettaisiin imuyhteyteen kierrelittimien avulla.

Matalapainepumpun painepuolen 3 suodatin toimii nykyään öljyn jäähdytys tarkoituksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman erillistä painesuodatinta painepuolella koestettavan servomootorin vaatimaa öljyn puhtausluokkaa ei voida taata. Tarvittava suodatus voitaisiin rakentaa siten, että painetukista otettavan letkun ja servomootorin väliin asennetaan vaadittavan puhtausluokan toteuttama painesuodatin, jos vanha jätetään paikalleen. Tämän toteutustavan huonona puoleena on, että suodatin täytyisi aina erillisesti asentaa painetukin ja servomootorin väliin. Toinen toteutustapa olisi nykyisen suodattimen vaihtaminen uuteen. Koska nykyinen suodatintyyppi on asennettu putkistoon laippaliittimin, tulisi uuden suodattimen olla laippaliitännällä asennettava. Tämä helpottaisi uudelleen asennusta ja laitteiston muokkausta uudelle suodattimelle.

Laitteistoa voisi kehittää myös suodattimien osalta siten, että säilytyskaapeista löytyisi tarpeen tullen aina sopiva suodatinelementti painesuodattimille. Tilanteessa, jossa suodatinelementti on täyttynyt liasta ja vaatisi vaihtoa, olisi säilytyksessä oleva uusi elementti helposti saatavissa.

## 8.6 Työkalut

Koestusasemalta puuttuu enimmäksä määrin koestuksessa tarvittavia työkaluja. Tämä hidastaa koestuksia ja lisää niihin käytettävää aikaa.

Nykyisellään olevat koestusaseman omat työkalut ovat sekaisin ja oikean työkalun löytäminen on hankalaa. Työkalujen säilytyksessä esiintyy puutteita, koska työkaluille ei ole ohjeistettu oikeata säilytyspaikkaa ja tilaa käyttävä henkilö ei tunne yleistä käytäntöä. Liitteessä 3 on kirjattu ehdotus servoasemalle hankittavista työkaluista. Työkalut säilytettäisiin niille varatuissa säilytyskaapeissa joita koestusasemalla on käytössä. Työkalujen säilytys paikat nimettäisiin työkalujen mallien ja koon mukaan. Asemalta olevista työkaluista tehtäisiin lista, mitä työkaluja on käytössä ja mitkä työkalut ja varusteet tarvitsevat vuosittaisia tarkastuksia.

## 8.7 Liittimet ja letkut

Liittimien ja letkujen varastoinnissa esiintyy puutteita niiden säilytyksessä ja käytössä. Letkuja ei ole käytön jälkeen säilytetty oikein, vaan ne ovat jätetty koestuksen jälkeen joko kiinni laitteeseen niin, että niitä ei ole tulpattu tai ne on tulpattu mutta takaisin vieminen niille varatuille paikoille on unohtunut. Lisäksi letkujen nykyisellä määrällä niiden säilytystilat ovat jäämässä pieniksi ja letkujen kasaaminen päällekkäin johtaa alempien letkujen mahdolliseen kasaan puristumiseen. Suurimpana puutteena on, että letkujen tulppaus on vaillinaista. Epäpuhauksien pääsy letkujen kautta järjestelmään vaikuttaa koko laitteiston toimintaan ja huoltoon. Siksi pienienkin asioiden tekeminen on tärkeää.

Letkujen varastointia voitaisiin kehittää entisestään siten, että rakennettaisiin lisää säilytystilaa letkuja varten. Kuvasta 24. nähtävillä nykyinen tilanne letkujen säilytyksen hoitamisesta. Letkujen määrä verrattaessa säilytystilaan on pieni. Letkujen säilytys voitaisiin toteuttaa jakamalla ne halkaisijoidensa mukaan omiin hyllyihinsä ja hyllyt nimettäisiin letkujen kokojen mukaan. Lisäksi letkujen oike-

anlaisen varastoinnin varmistamiseksi voitaisiin hyllyjen viereen laittaa ohjeistus säilönnästä. Liitteessä 3 on kerätty ohjeita ja tietoja letkujen säilöntään.



Kuva 24. Letkujen säilöntä.

Liittimien käytössä esiintyvä ongelma on niiden yleinen sekava järjestys (kuva 25). Liittimet sijaitsevat koestusaseman eri säilytys tiloissa ja oikean liittimen löytäminen on hankalaa ja aikaa vievää. Puutteena ei välttämättä ole liittimien vähäisyys vaan koestusasemalta löytyy paljon eri kierre- ja laippaliittimiä, mutta suurimpana ongelmana on, että niitä ei säilytetä järjestelmällisesti. Liittimiltä puuttuu tarkat säilytyslaatikot ja paikat, joissa oli nimetty niiden tiedot.



Kuva 25. Liittimien säilöntä.



Säilytyslaatikkoon tulisi nimetä liittimen malli, koko ja kierre. Laippaliitimet nimettäisiin myös samalla periaatteella, muuta niiden säilytys voitaisiin järjestää samalla tavalla kuin aikaisemminkin, mutta järjestystä ylläpitämällä. Kuva 25. kuvaa nykyisen tilanteen koestusasemanliittimien kohdalta. Paremmiin toteutettuihin liittimien säilytys nopeuttaisi koestuksia ja vähentäisi sopivien liittimien etsimiseen ja asentamiseen menevää aikaa.

## 8.8 Lisävarusteet

### **Tilavuusvirran mittaus**

Laitteiston painepumppujen tuottaman tilavuusvirran varmistamiseksi koestustilanteessa laitteistoa voisi kehittää tilavuusvirtamittauksella. Asennus tapahtuisi painelinjan painetukin ja koestettavan servomootorin väliin asennettavalla tilavuusvirtamittarilla. Tilavuusvirtamittariin asennettaisiin koestusjärjestelmän TE-MA 7510 mallinen pikaliitin, joka on myös käytössä painelinjojen painetukissa. Mittarin asennus tapahtuisi pikaliittimen avulla nopeasti ja vaivatta. Tilavuusvirtamittaria voisi hyödyntää myös virransäätöventtiilien säädöissä ja tarkistuksissa. Tilavuusvirtamittarilta saataisiin virtaviesti tilavuusvirran määrästä ja se voitaisiin liittää nykyisin käytössä olevaan mittalaitteistoon.

### **Paineakku**

Järjestelmässä on esiintynyt koestuksien aikana puutetta sopivan tilavuusvirran aikaansaamisesta servomootorille. Apuna on käytetty erillistä paineakkua, joka on mahdollistanut hydraulijärjestelmän tuottaman paineellisen nesteen varastoinnin. Tilavuusvirran heikkenemiseen on järjestelmässä suurimmassa osin syynä letkujen käyttö. Letkut toimivat samoin kuin paineakut. Paineen noustessa ne venyvät ja toimivat paineakkujen tapaan paineiskujen ja värähtelyjen vaimentimina. Letkujen huonona puolena on, että ne lisäävät järjestelmän joustoja, jolloin tilavuusvirran kulku heikentyy koestettavalle servomootorille.

Paineakku on otettu kehityskohteeksi laitteistolle johtuen siitä syystä, että laitteistolta puuttuu oma paineakku ja sopiva liitännäpaikka. Hydraulijärjestelmässä on aikaisemmin käytetty kaasumaista rakkopaineakkuja, mutta se on ollut lainassa Inkoon voimalaitoksen tiloista, eikä järjestelmässä täten ole omaa käytössä olevaa paineakkuja. Vaikka laitteistolle ei hankittaisikaan uutta paineakkuja, olisi kuitenkin järkevää rakentaa lainatulle paineakulle oma liitännä paikka siltä varalta, että laina-akku saadaan asennettua paikalleen.

Paineakun hyötynä on se, että energian varastoinnissa paineakkuja käyttämällä voidaan tilavuusvirran tarvetta parantaa ja ehkäistä tilavuusvirran vaihteluista syntyviä paineiskuja. Paineiskuja synnyttää järjestelmään pumppujen epätasainen tuotto, painekompensaattori venttiilit, nopeasti avautuvat ja sulkeutuvat sulku- ja säätöventtiilit ja pumppujen päälle ja poislytkennät. [5.]

Paineakku täyttyy aina silloin, kun pumpun tuottama tilavuusvirta on suurempi kuin järjestelmän tarve. Tämä tarkoittaa sitä, että kun tilavuusvirtaa tarvitaan enemmän kuin mitä pumppu tuottaa, niin tällöin voidaan tarvittava osuus ottaa paineakulta.

### **Pinnankorkeusmittari**

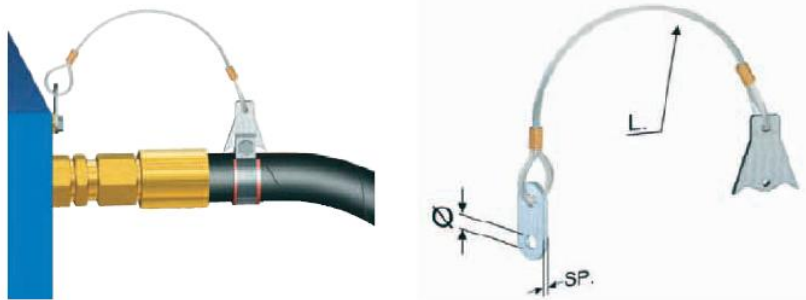
Öljysäiliöstä puuttuu pinnankorkeusmittari. Mittari helpottaisi öljysäiliön nestemäärän valvomista. Pinnankorkeusmittarilla voidaan määrittää myös säiliön minimi ja maksimirajat.

### **8.9 Turvallisuus**

Koestusaseman turvallisuutta saataisiin parannettua asentamalla laitteistolle oma hätäkatkaisin, koska nykyisellään olevasta laitteistosta se puuttuu kokonaan. Tilanteessa, jossa letku on päässyt irtomaan tai hajoamaan saadaan hätäkatkaisimen avulla virran syöttö nopeasti katkaistua painepumpuilta ja ehkäistä täten vaarantilannetta Hätäkatkaisin on hyvä asentaa sellaiseen koh-

taan koestusasemalla jossa se on helposti nähtävillä ja johon jokaisen tiloissa työskentelevän on helppo päästä ilman, että olisi itse vaarassa.

Letkun irtoaminen liitoksesta tai letkurikon aiheuttamaa letkun sinkoilua ja nestesuihkua ei ole koestusasemalla estetty erillisillä turvamekanismeilla. Kaiteet ja muoviset suojalevyt estävät öljyn suihkua letkujen sinkoilua koestustilassa, mutta eivät turvaa koestustilaa kokonaislaajuisesti. Turvallisuutta voitaisiin tältä osin parantaa kiinnittämällä letkuihin turvalukitukset. Turvalukitusten avulla letkuri-koista aiheutumat haitat saataisiin paremmin estettyä. Kuvassa 26. on malli siitä, miten letkut tulisi asentaa turvalukitusta apuna käyttäen.



Kuva 26. Letkujen turvalukitus ja asennus [10].

Turvalukitukset asennetaan letkuun letkupannan avulla, johon metallinen levy kiinnitetään. Levystä lähtee metallinen vaijeri toiseen levyyn, joka kiinnitetään öljysäiliöön.

## 9 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli muodostaa yrityksen käyttämästä hydraulisesta koestusasemasta ohjeistus ja dokumentointi koeajolaitteen ja koeajojärjestelyjen käytöstä, jonka avulla yrityksen laitetta käyttävä henkilökunta pystyy tietoisemmin toimimaan ja näkemään millainen laite on ja mitä ominaisuuksia siitä löytyy. Työllä on pyritty esittämään laitteistoa niin, että jokainen laitetta käyttävä pystyisi sitä tulevaisuudessa käyttämään. Aikaisemmin hydraulisen koestusaseman laitteistosta ei ollut dokumentoitua materiaalia, joten laitteiston käytöstä ja toiminnasta olevat tiedot ovat olleet enemminkin yksittäisten työntekijöiden tiedossa.

Työ aloitettiin tutustumalla laitteistoon, joka sijaitsi Fortumin Inkoon voimalaitoksen tiloissa. Laitteiston dokumentointi tehtiin laitteiston niistä laitteista, jotka ovat servomoottorien koestuksessa merkityksellisimmät. Koestusasemalta kerättiin kaikki se tieto, jota koestusasemalta löytyi käytössä olevasta laitteistosta. Puuttuvat tiedot pyrittiin etsimään valmistamien antamista laitemanuaaleista, joita löytyi usein valmistajien kotisivuilta. Lisäksi tarkempaa tietoa saatiin sähköpostin välityksellä. Lisäksi koestusjärjestelyjen selvittämistä käytiin läpi sähköpostin välityksellä työn ohjaajan kanssa. Laitteistosta piirrettiin lisäksi hydraulikaavio, jonka tarkoituksena on helpottaa laitteiston visuaalista havainnointia.

Työssä pyrittiin myös havainnoimaan ja esittämään, mitä turvallisuusasioita on huomioitava koestuksia tehtäessä. Servomoottorien koestuksesta tehtiin kytkentäkaaviot ja tarkastuspöytäkirja, joiden perusteella pystytään yleisesti määrittämään miten koestuksia tehdään. Työhön rajattiin yrityksen toimesta yleisemmät koestettavat servomoottorimallit. Servomoottorimalleihin tutustuttiin Fortum Turbinesin arkistoista löytyvien materiaalien avulla. Materiaaleista löytyvien servomoottorien käyttöpaineiden avulla kartoitettiin koestusjärjestelmästä tarvittavat öljynpaineet koestuksia varten. Ongelmana oli, että kaikista nimetyistä servomoottorimalleista ei löytynyt tarkempaa tietoa, joten tarkastelu jäi löytyvien materiaalien varaan.

Koestusaseman tulevaisuutta on mietitty monella tapaa. Suunnitelmia on ollut siirrettävästä ja kokonaan uudesta laitteistosta. Laitteen sijoittamista on mietitty myös siirrettäväksi Inkoon voimalaitoksen tiloista muihin tiloihin. Kehitysideoilla on pyritty esittämään opinnäytetyöntekijän mielipiteitä ja ongelmia, joiden perusteella laitteistoa voitaisiin kehittää.

Nykyisellään käytössä olevat tilat ovat hyvät. Laitteiston siirtämistä muualle on mietittävä, senkin vuoksi tarkasti, koska koestuslaitteen tila ja sitä ympäröivä tila ovat hyvin kehityskelpoisia. Laitteistoa kehittämällä ja työssä esiintyneiden kehitysmahdollisuuksien avulla laitteistosta voidaan saada hyvinkin toimiva kokonaisuus. Koestusaseman tiloista ja laitteistosta olisi pidettävä erityisen hyvää huolta, koska epäpuhtauksilla ja laitteen huolloilla on suuri merkitys sen tulevaisuuden toiminnan takaamiseksi.

Nykyisen laitteiston tulevaisuus on varmasti paljolti kiinni laitteistoon käytettävistä resursseista ja ajasta. Laitteiston ominaisuudet ja käytettävät tilat vastaavat hyvin servomoottorien koestuksissa tarvittavia ominaisuuksia. Servomoottoreille löytyy asennuspöydät ja pukit. Pumpuilta saadaan tarpeelliset paineet ja tilavuusvirtojen määrä ei ole ongelma. Työkalujen, letkujen ja liittimien varastoinnissa on parannettavaa, koska tilan tulisi koestustilana olla järjestelmällinen ja ympäristöltään mahdollisimman puhdas. Sijainti muuhun toimintaan on ollut mielestäni suuri tekijä senkin takia, että laitteistolla ei ole nimetty isäntää, joka siitä pitäisi huolta. Tärkein asia tulevaisuuden kannalta olisi määrätä laitteille vastaava henkilö, joka määrittäisi laitteistossa tulevia uusia ongelmia ja puutteita.

Aloituspalaverissa mietittiin myös, että työssä tulisi esittää laitteiden elinkaaret varsinkin matalapainepuolen laitteistosta. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista rajallisen tiedon vuoksi. Elinkaaria laskettaessa olisi pitänyt tietää laitteiden huollot vuosittain ja mahdollisten vikojen selvittäminen olisi vaatinut myös laitteiston pääasiassa pumppujen avaamista ja tutkimista. Pidän tätä kuitenkin mielenkiintoisena ja hyödyllisenä aiheena, jota kannattaisi tulevaisuudessa tutkia.

Tutkiessani laitteistoa huomasin kuitenkin, että varsinkin matalapainepuolen käytössä olevat laitteet alkavat olemaan iältään jo vanhoja komponentteja. Komponentit kuten venttiilit ja moottori-pumppuyksiköt ovat valmistettu jo 40 vuotta sitten ja suurimman osan niistä valmistus on täysin lopetettu tai siirretty toisen yhtiön nimiin. Iältään vanhat komponentit ovat kuitenkin toimintakuntoisia ja pääosin hyvässä kunnossa

Pelkästään matalapainepuolen laitteiston huoltaminen kunnolla ja määrittämällä viat voitaisiin säästyä uusien laitteiden ostolta. Muu laitteisto vastaa hyvin koestusten vaatimia ominaisuuksia, kunhan niiden ylläpidosta pyritään pitämään kunnossa.

Laitteiston paremmalla ylläpidolla ja ohjeistuksella ja niiden toteutuksella pystyttäisiin vastamaan paremmin aseman toimivuuteen nykyisestä tilanteesta, mikä on myös tämän työn tarkoitus. Henkilökunnan tulisi myös ymmärtää, mikä merkitys on hydraulisen koestusaseman tilojen puhtaudella ja mitä seurauksia voi syntyä koestusaseman siisteyden ja järjestyksen laiminlyömisestä. Pelkästään ohjeiden lukeminen paperilta ei välttämättä paranna tilannetta.

## LÄHTEET

- 1] Fortum Oyj:n vuosikertomus 2010 – esite.
- [2] Fortum. Asiantuntijapalvelut. [www-dokumentti] Viitattu 4.11.2011  
[http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Asiantuntijapalvelut/Turbines\\_main\\_fi.pdf](http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Asiantuntijapalvelut/Turbines_main_fi.pdf)
- [3] Kauranne, H; Kajaste, J & Vilenius, M. 2000. Hydraulitekniiikan perusteet. 3 painos. Helsinki: WSOY
- [4] Hydraulitekniiikka.[www-dokumentti]. Viitattu 7.11.2011  
<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojaksot/.../hydraulitekniiikka.pdf>
- [5] Mannesmann Rexroth GmbH.1991. Hydraulitekniiikan perusteet ja komponentit. 2 painos. Marktheidenfeld: Schleunungdruck
- [6] Teollisuushydrauliijärjestelmien suunnittelu- ja hankintaohje, osa 2.[www-dokumentti]. Viitattu 9.12.2011  
[www.promaint.net/downloader.asp?id=589&type=1](http://www.promaint.net/downloader.asp?id=589&type=1)
- [7] Venttiilit.[www-dokumentti].Viitattu 8.12.2011  
<http://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/8.+Venttiilit>
- [8] Fluid Finland. Tilavuusvirran muuttaminen. [www-dokumentti]. Viitattu 30.11.2011  
[www.fluidfinland.fi/content/download/.../tilavuusvirranmuutos.pdf](http://www.fluidfinland.fi/content/download/.../tilavuusvirranmuutos.pdf)
- [9] Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja.18 painos. Mikkeli. Genesis-kirjat Oy
- [10] Dunlop Hiflex. Hydrauliikkatuotteet. [www-dokumentti] Viitattu 09.01.2012  
<http://www.dunlophiflex.fi/upload/?id=dd9aa68ffa36792455ef9ffbd6870779>
- [11] Fortum Turbines arkisto. Meri-Porin servojen huoltokansio. Viitattu 20.11.2011
- [12] Promaint. Hydrauliiikka ja turvallisuus. [www-dokumentti] Viitattu 15.12.2011  
[www.promaint.net/downloader.asp?id=3034&type=1](http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3034&type=1)
- [13] KIL-yhtiöt. KiL asiakas- ja sidosryhmälehti [www-dokumentti]. Viitattu 16.12.2011  
[http://www.kilyhtiot.fi/images/tiedostot/KIL\\_news\\_11\\_web.pdf](http://www.kilyhtiot.fi/images/tiedostot/KIL_news_11_web.pdf)
- [14] PMC Polarteknik. Brand Hydraulics FC-51-valve. [www-dokumentti]. Viitattu 10.12.2011  
[http://www.pmcpolarteknik.com/files/brochures/b/brand\\_fc\\_EN.pdf](http://www.pmcpolarteknik.com/files/brochures/b/brand_fc_EN.pdf)
- [15] PMC Polarteknik. MP-filtri suction filter. [www-dokumentti]. Viitattu 04.01.2012  
[http://www.pmcpolarteknik.com/files/brochures/m/mpfiltri\\_str\\_EN.pdf](http://www.pmcpolarteknik.com/files/brochures/m/mpfiltri_str_EN.pdf)

- [16] Työturvallisuusohje.2009. Työturvallisuuskeskus TTK.[www-dokumentti] Viitattu 03.01.2012  
[http://www.tyoturva.fi/files/1295/STO6\\_Voimalaitosten\\_erityiskysymyksiä.pdf](http://www.tyoturva.fi/files/1295/STO6_Voimalaitosten_erityiskysymyksiä.pdf)
- [17] Jouko Varakas, Fortum Turbines. Viitattu 09.01.2012
- [18] Hydac Technews.FCI – Filter Cooler Industrial [www-dokumentti]. Viitattu 10.1.2012  
<http://hydac.fi/pdf/uutiset/J%E4%E4hdytys-suodatusyksikk%E6-FCI.pdf>
- [19] Eaton Hydraulics. Q-series piston pumps.[www-dokumentti] Viitattu 12.1.2012  
<http://hydraulics.eaton.com/products/pdfs/V-PP-MC-0002-E.pdf>
- [20] Mannesmann Rexroth GmbH.1988. Proportionaali ja servoventtiilitekniikka. 3 painos. Werheim: Hinckel–Druck GmbH
- [21] Johnsson, J; Kördel, L.1999. Servotekniikka. Suom. Rantanen, U. Iisalmi: IS-VET OY
- [22] Keinänen, T; Kärkkäinen, P; Lähetkangas, M; Sumujärvi,M. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 2007.Helsinki: WSOY



# Tarkastuspöytäkirja

## SERVOMOOTTOREIDEN KOEAJO

- Koestusöljy Neste Turpiini 32.
- Koeajon aikana öljyn puhdistus Kleentek ELC-R25SP sähkösuodattimen avulla.
- Koestusöljyn lämpötilan pitäminen \_\_\_\_\_
- Vaadittava koestuspaine \_\_\_\_\_

### Servomoottorin koeajo:

- Servomoottori paineistetaan ja katsotaan mahdolliset vuodot:
- Servomoottorin ajo min. ääriasennosta max. ääriasentoon.
- Kokonaisiskunpituuden mittaus.
- Minimi pitojännitteen ja maksimi vetojännitteen tarkastus ja mittaus
- Min. paineen tarkastus, kun servomoottori lähtee liikkeelle sekä minimi paine, jolla servomoottori pysyy täysin auki.
- Tarkistetaan paikannuksen tarkkuus, mitä valmistaja on luvannut.
- Lineaarivirheen tarkastus.

### Tarkastajat:

## Tarkastustaulukko

Tyyppi			
Iskun pituus, mm			
Käyttöpaine, bar			
Min. pitojännite, VDC			
Min. vetojännite, VDC			
Min. paine, 0% bar			
Min, paine % bar			
Kelan resistanssi $\Omega$			
Kelan resistanssi $\Omega$			
Vuotoöljyn määrä max. iskunpituudella l/min			
Öljyn viskositeetti ISO luok- ka			
Öljyn lämpötila koeajo aika- na °C			
Ympäroivä lämpötila °C			

Vuodot:

## Ehdotus

# Servoaseman työkalut

### Kiintolenkkiavaimet

koko	kpl	
22		2
24		2
27		2
30		2
32		2
34		1
36		2
38		1
41		2
46		2
50		2

### Kiintoavaimet

koko	kpl	
55		1
60		2

### Jakoavaimet

koko	kpl	
10"		2
12"		1
15"		1
18"		1

### Kuusiokoloavainsarja

## Koestuspenkin käyttöönotto

### Ennen käynnistystä:

- Järjestelmän huuhtelu: paine- ja paluuputkistot puhdistetaan ja huuhdellaan ennen servomoottorien koestuksen aloitusta
- Tarpeen vaatiessa hydraulinesteen täyttö on aina ehdottomasti tehtävä erillistä suodatinyksikköä käyttäen. (Hydac OLF 15 apuna käyttäen)
- Nestepinta täytetään säiliön ylärajaan asti. Huom. Järjestelmän ilmaaminen
- Tarkistetaan letkujen yleiskunto silmämääräisesti: kovettumat, halkeamat
- Paineletkujen kytkentä vain järjestelmän ollessa paineettomana
- Asennusalue ja sen ympäristö sekä koestettava servomoottori täytyy olla puhtaita
- Puhdistuksessa käytettävä nukkaamattomia kankaita ja materiaaleja

### Varsinainen käynnistys

- Käynnistetään painepumput
- Pumppujen käynnistyskytkimet ovat koestuspenkin kyljessä ja tasolla olevassa sähkökeskuksessa
- Tarkistetaan, että sähkömoottori-pumppu yhdistelmät pyörivät kevyesti
- Öljyn lämpötilamittarin toiminnan tarkastus
- Varmistetaan, että hätä-seis katkaisimet toimivat.
- Hätä-Seis / Pysäytys katkaisimet löytyvät koestustasolla sijaitsevien työkalukaappien vierestä
- Tarkistetaan, että paineenrajoitusventtiilit ovat täysin auki taikka niille asetetuilla rajoilla.
- Pumppujen imupuolien venttiilit ovat varmasti auki.
- Pumppujen pyörimissuunnan tarkastus, käynnistys hetkellisesti
- Käynnistetään pumppu ja tarkastetaan, että öljy virtaa takaisin säiliöön
- Annetaan pumppujen käydä ja samanaikaisesti tarkkailla ääntä ja lämpötilaa.
- Koestuspaineen tarkastaminen mittareista. Paineenrajoitusventtiilin säätö
- Öljyn lämmittimen päälle kytkentä tarpeen tullessa. Käynnistyy sekoittajan päälle kytkennän kautta.

## Hydrauliijärjestelmän tekniset tiedot

### Öljysäiliö

Tilavuus: 2300 l

Öljy: Neste Turbiini 32

### Pumppujen tekniset tiedot

Ruuvipumpun M1 tekniset tiedot.

<b>Tyyppi</b>	<b>E4 038N1 LE BE G102</b>
<b>Valmistaja</b>	<b>IMO PUMP AB</b>
<b>Malli</b>	Ruuvipumppu
<b>Toiminta</b>	Vakio-tilavuuspumppu
<b>Paino</b>	15 kg
<b>Max. työpaine</b>	100bar (60bar)
<b>Max. imupaine</b>	0.3 bar
<b>Tilavuusvirta</b>	123 l/min
<b>Nimellinopeus</b>	2940 rpm
<b>Nesteen viskositeetti</b>	12-400mm <sup>2</sup> /s
<b>Sallittu pumppauslämpötila</b>	0 - + 90°C
<b>Kierrostilavuus</b>	49.1 cm <sup>3</sup> /r
<b>Pumpun teho</b>	15.5 kW
<b>Hyötysuhde</b>	0,7 -0,8
<b>Melutaso (dB) 2940 rpm, 20 mm<sup>2</sup>/s 50°C</b>	
<b>2-7 Mpa</b>	(60-62 dB)
<b>Materiaalit</b>	
<b>Pumpun roottori</b>	Karkaistu seosteräs
<b>Roottorikammio</b>	Alumiiniseosta/pintakäsitelty valurauta
<b>Akselitiiviste</b>	Nitriilikumi
<b>Liityntä runko</b>	Alumiiseos

## Ruuvipumpun M1 moottorin tiedot

Valmistaja		Brook Hansen			
Teho	Tyyppi	I			Pyörimisnopeus
		380V	400V	415V	
15 kW	WU-DA160MJ-D	27.6 A	26.3 A	26.3 A	2940 RPM (50Hz)
Vääntömomentti		Nimelliskäyttö			Melutaso
48.8 Nm		S1			68 dB
Cosø		Vaihe			Suojausluokka
0.90		3~			IP 55

## Mäntäpumpun M2 tekniset tiedot

<b>Tyyppi</b>	<b>PVQ20-B2R</b>
<b>Valmistaja</b>	<b>Eaton Hydraulics</b>
<b>Malli</b>	Aksiaalimäntäpumppu
<b>Toiminta</b>	Säätötilavuuspumppu
<b>Paino</b>	14 kg
<b>Max.työpaine</b>	210 bar
<b>Max.imupaine</b>	0,2bar
<b>Paineen säätöalue</b>	100-210 bar
<b>Tilavuusvirta</b>	34 l/min (1800 rpm)
<b>Nimellisoisuus</b>	1800 rpm
<b>Kierrostilavuus (210bar)</b>	21.1 cm <sup>3</sup> /r
<b>Öljyn viskositeetti</b>	12-400 mm <sup>2</sup> /s
<b>Öljyn lämpötila</b>	0 - + 90°C
<b>Pumpun teho</b>	14.9 kW (1800rpm)
<b>Kokonaishyötysuhde</b>	0.90
<b>Melutaso</b>	60- 64 dB

## Mäntäpumpun M2 moottorintiedot

Valmistaja		HSM-motors		
Teho	Tyyppi	I		Pyörimisnopeus
		400V(kolmio)	690V (tähti)	
7,5 kW	Y2-132M-4	14,81 A	8,59 A	1440 RPM (50Hz)
Vääntömomentti		Nimelliskäyttö		Hyötysuhde
49,4 Nm		S1		0,87
Cosø		Vaihe		Suojausluokka
0,84		3~		IP 55

## Ruuvipumppu M3 tekniset tiedot.

<b>Tyyppi</b>	PDS 45-4
<b>Valmistaja</b>	<b>Joh.Heinr.Bornemann (KRAL)</b>
<b>Malli</b>	Ruuvipumppu
<b>Toiminta</b>	Vakio tilavuuspumppu
<b>Max. työpaine</b>	17 bar
<b>Tilavuusvirta</b>	132 l/min
<b>Nimellisopeus</b>	1450
<b>Sallittu nesteen viskositeetti</b>	30 mm <sup>2</sup> /s
<b>Pumpun teho</b>	5.5 kW

Ruuvipumppu M3 moottorin tekniset tiedot.

Valmistaja	Teho	Tyyppi	I		Pyörimisnopeus
			380V		
Strömberg(ABB)	5,5 kW	HXUR 262A2 V1	11,7A		1440 rpm
<b>Paino</b>					
<b>38 kg</b>	<b>Cosø</b>		<b>Vaihe</b>		<b>Suojausluokka</b>
	0.84	3~		IP 55	

Sekoittaja M4 moottorin tiedot.

Valmistaja	Teho	Tyyppi	I		Pyörimisnopeus
			380V (tähti)	220V (kolmio)	
Strömberg(ABB)	1,1 kW	HXUR 188A3 V1	3,2 A	5,5 A	925 rpm
<b>Paino</b>					
<b>17 kg</b>	<b>Cosø</b>		<b>Vaihe</b>		<b>Suojausluokka</b>
	0.72	3~		IP 55	



## Tehosiirtopuolen suodattimet

Suodatin MDF.

<b>Valmistaja</b>	<b>Hydac</b>
Tyyppi	MDF BHHCO60 G10 B1.0
Valmistusvuosi	04/95
Suodatustarkkuus	10 µm
Suodatinkammio/runko	Yksiosainen
Paino suodatin elementin kanssa ja ilman	3.2 kg ja 3.0 kg
Suodatin kammion tilavuus	0.18 l
Putkiliitäntä	Kierrelitäntä
Putkiliitännän kierrekoko	G 1 ¾
<b>Toimintapaine/lämpötila</b>	
δ min...δ max..	-10 °C...+100 °C
Max. Toimintapaine	210 bar
Sallittu paine-ero yli elementin	210 bar
<b>Hydraulinen yhteensopivuus</b>	
Mineraaliöljyt	ISO 2943
Voiteluöljyt	ISO 2943
<b>Sopii myös ei syttyville nesteille, synteettisille ja nopeasti biohajoaville öljyille</b>	
Tunkeuman osoittimen paineasetus	Δpa = 5 bar - 10%
<b>Materiaalit</b>	
Suodatinpää	Pallografiittirauta (GGG 40)
Suodatin kammio/240 G	Kylmämuokattu teräs
Tiivisteet	Nitriili (NBR)
<b>Varusteet</b>	
Visuaalinen tunkeumanosoitin	Kyllä

LF-suodatin.

<b>Valmistaja</b>	<b>Hydac</b>
Tyyppi	LF BNHC 240G 3B1.0
Valmistusvuosi	02/00
Suodatustarkkuus	3 µm
Suodatinkammio/runko	Yksiosainen
Paino suodatin elementin kanssa ja ilman	11.3 kg ja 10.6 kg
Suodatin kammion tilavuus	0.8 l
Putkiliitäntä	Kierrelitäntä
Putkiliitännän kierrekoko	G 1 ¼
Toimintapaine/lämpötila	
δ min...δ max..	-10 °C...+100 °C
Max. Toimintapaine	100 bar
Sallittu paine-ero yli elementin	210 bar
<b>Hydraulinen yhteensopivuus</b>	
Mineraaliöljyt	ISO 2943
Voiteluöljyt	ISO 2943
<b>Sopii myös ei syttyville nesteille, synteettisille ja nopeasti biohajoaville öljyille</b>	
Tunkeuman osoittimen paineasetus	Δpa = 5 bar - 10%
<b>Materiaalit</b>	
Suodatinpää	Alumiini
Suodatin kammio/240 G	Alumiini
Tiivisteet	Nitriili (NBR)
<b>Varusteet</b>	
Visuaalinen tunkeumanosoitin	Kyllä

## Sivuvirtasuodattimet

OLF-15

<b>Tyyppi</b>	OLF 15-S-370-N-N15DM002-E
<b>Suodatin elementti</b>	N15DM002-E
<b>Epäpuhtauskapasiteetti ISO 4572</b>	500 g
<b>Suodatus tarkkuus ISO 4572</b>	2 µm
<b>Sallittu paine-ero yli ele- mentin</b>	5 bar
<b>Suodatin kammion mate- riaali</b>	Ruostumaton teräs
<b>Suodatin kammion tila- vuus</b>	20 L
<b>Max. käyttöpaine</b>	6 bar
<b>Tiivisteiden materiaali</b>	NBR (nitrili)
<b>Suodatin kammion paino</b>	11 kg
<b>Sallittu nesteen lämpötila</b>	10...80 °C



**Paineenrajoitusventtiili**

<b>Valmistaja:</b>	<b>Oleostar Hydraulics</b>
Tyyppi	VMP/B/L/20-100
Käyttöpaine	50-220 bar
Tilavuusvirta	180 l/min
Liitäntä	G 1"
Paino	2.9 kg

**Painekompensoitu 3-tievirransäätöventtiili**

<b>Valmistaja</b>	<b>Brand Hydraulics</b>
Tyyppi	FC 51 3/4"
Käyttöpaine	max. 210 bar
Tilavuusvirta	0-114 l/m
Suodatus	vähintään 30 µm
Paino	n. 3.5kg
Liitäntä	3/4" (NPT)