



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SIMO HOLOPAINEN  
HYDRAULISEN KOEKÄYTTÖPAIKAN SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: Kalevi Huhtala  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
31. toukokuuta 2017

## TIIVISTELMÄ

**SIMO HOLOPAINEN:** Hydraulisen koekäyttöpaikan suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 47 sivua, 9 liitesivua

Elokuu 2017

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Fluid power

Tarkastaja: professori Kalevi Huhtala

Avainsanat: Projekti, projektinhallinta, hydraulikka hydraulisuunnittelu, hydraulikaavio, 3D-mallinnus, koekäyttöpaikka,

Paineteholla valmistetaan kompressoreita ja koneikoita, joiden toiminta testataan niiden valmistuksen jälkeen. Lisäksi Paineteholla tehdään huoltotoimenpiteitä asiakkaiden toimilaitteille. Nykyisellään Painetehon koekäyttöpaikalla ei voida testata osaa yrityksen valmistamista tai huoltamista tuotteista ja nykyinen järjestelmä on vanhanaikainen ja hankala käyttää. Lisäksi vanhalla koekäyttöpaikalla suoritetuista testeistä tehtiin testipöytäkirja lukemalla analogisia mittareita ja täyttämällä arvot käsin paperille. Koekäyttöpaikkaa halutaan uudistaa siten, että koekäyttöpaikan käyttäminen olisi helpompaa ja käytännöllisempää ja lisäksi haluttiin, että testeistä saadaan muodostettua testipöytäkirjat automaattisesti tietokoneelle. Koekäyttöpaikan uudistamiseksi Paineteholla on vuonna 2016 tehty jo yksi diplomityö, jossa Anssi Sarhaluoma teki koekäyttöpaikan esisuunnitelmat, jotka toimivat tämän työn lähtökohtana.

Tässä työssä käyn ensin läpi yleisesti projekteja ja projektinhallintaa, josta saatuja oppeja käytän tämän työn toteutuksessa. Käyn tässä työssä läpi Anssi Sarhaluoman tekemien esisuunnitelmien perusteella koekäyttöpaikan vaatimusten selvittämistä, toiminnan suunnittelua, hydraulisuunnittelua ja layoutsuunnittelua.

Hydraulijärjestelmän vaatimuksena oli yrityksen erään valmistaman kompressorin tarve 165 l/min virtaus ja 300 bar painetaso. Näiden perusteella järjestelmän käyttömootoriksi valittiin 110 kW sähkömootori. Lisäksi järjestelmässä on eri testiosioita kompressoreille, koneikoille, venttiileille ja sylintereille. Testeissä mitataan testistä riippuen paineita, tilavuusvirtaa, lämpötilaa ja sähkövirtaa.

Tämän työn tuloksena yritykselle saadaan kaikki valmiudet toteuttaa koekäyttöpaikka käytännössä. Alkuperäisen suunnitelman mukaan tämän työn tuloksena piti olla valmis käyttöönotettu koekäyttöpaikka, mutta aikataulumuutosten myötä järjestelmän asennusta ja käyttöönottoa ei ehditty tämän työn puitteissa tekemään. Kaikki järjestelmän toteuttamista varten tarvittavat komponentit on hankittu ja asennus ja käyttöönotto tehdään syksyllä 2017.

## ABSTRACT

**SIMO HOLOPAINEN:** Designing of a hydraulic test system

Tampere university of technology

Master's thesis, 47 pages, 9 appendices

August 2017

Master of Science, Automation Engineering

Major: Fluid power

Inspector: professor Kalevi Huhtala

**Keywords:** Project, project management, hydraulics, hydraulic design, hydraulic diagram, 3D-model, test bench

Paineteho manufactures compressors and hydraulic power units that need to be tested after manufacturing. Paineteho also does maintenance for other hydraulic components for their clients. With the current test system it is not possible to perform thorough tests for all the products needed. The current system is also old fashioned and the test results had to be read from analog meters and then filled to a paper by hand. There's a need to modernize the test system so that the use of the system would be easier and more practical. There's also need to modernize the logging of the test results so that they are saved automatically to a digital database. In July 2016 Anssi Sarhajuoma did pre-designing for the test system as a master's thesis and these plans are the basis of this thesis.

In this thesis I start by covering theory about projects and project management and then I utilize these points in the design project. In this thesis I cover the requirements for the test system and then plan the operation of the system based on these requirements. This thesis also covers the hydraulic, mechanical and layout designing processes for this test system.

The main requirement for the hydraulic system is based on the requirements of one of the compressor models. The compressors require 165 l/min flow and 300 bar pressure level. Based on this a 110 kW electric motor was selected as the power source. The system also consists of different test sections for different components such as hydraulic power units, valves and cylinders. In the system measurements of pressures, oil and air flows, temperatures and electrical currents are needed.

As the result of this thesis the company has the readiness to execute the renovation of the test system. According to the initial plan the test system was to be assembled and commissioned within this thesis but because of changes in the schedule they are not part of this thesis. All the components needed for the system have been acquired and the assembly and commissioning is planned to take place in fall of 2017.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Jussi Koljosta mahdollisuudesta tehdä tämä työ Paineteholla ja myös mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitos ohjaajalleni Mikko Suhoselle ja työni tarkastajalle Kalevi Huhtalalle kaikista neuvoista ja opastuksesta työni aikana. Kiitos myös koko Painetehon henkilökunnalle kaikesta avusta tämän työn toteuttamisessa.

Eriyiskiitos avopuolisolleni Leena-Maija Ruokolaiselle kaikesta tuesta ja jaksamisesta opintojeni aikana.

Kuopiossa 27.7.2017

Simo Holopainen

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	PROJEKTINHALLINTA .....	2
2.1	Projekti .....	2
2.1.1	Projektin sidosryhmät .....	4
2.1.2	Projektin elinkaari .....	6
2.2	Projektinhallinnan osa-alueet .....	7
2.3	Projektin suunnittelu .....	8
2.4	Projektin ohjaus .....	9
2.5	Projektin organisointi .....	10
3.	KOEKÄYTTÖPAIKAN VAATIMUKSET .....	14
3.1	Koekäyttöpaikan toiminnallisuuksien vaatimukset .....	14
3.1.1	Kompressorien testauksen vaatimukset .....	14
3.1.2	Venttiilien testauksen vaatimukset .....	15
3.1.3	Sylinterien testauksen vaatimukset .....	16
3.1.4	Servolaitteiden testauksen vaatimukset .....	16
3.1.5	Hydraulikoneikkojen testauksen vaatimukset .....	16
3.2	Koekäyttöpaikan yleiset vaatimukset .....	16
4.	TOIMINTAKUVAUS .....	18
4.1.1	Kompressorien testaus .....	18
4.1.2	Venttiilien testaus .....	19
4.1.3	Sylinterien testaus .....	20
4.1.4	Servolaitteiden testaus .....	20
4.1.5	Koneikkojen testaus .....	21
5.	JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU .....	22
5.1	Hydrauliikkasuunnittelu .....	22
5.1.1	Koneikko .....	22
5.1.2	Testiosiot .....	26
5.1.3	Suodatus, jäähdytys ja säiliö .....	27
5.2	Mekaniikkasuunnittelu .....	31
5.3	Sähkö- ja automaatiosuunnittelu .....	36
5.4	Layout-suunnittelu .....	37
5.5	Turvallisuus .....	39
6.	PROJEKTIANALYYSI .....	42
7.	YHTEENVETO .....	46

LIITE 1: KOEKÄYTTÖPAIKAN HYDRAULIKAAVIO

LIITE 2: TOIMINTAKUVAUS JA AUTOMAATION VAATIMUKSET

<i>Taulukko 1. Esimerkkejä ohjelmista ja niihin liittyvistä projekteista.[5, s. 50]</i> .....	4
<i>Taulukko 2. PTR-sarjan kompressorien vaatimukset</i> .....	14
<i>Taulukko 3. COHU 700 ja 1200-kompressorien vaatimukset</i> .....	15
<i>Taulukko 4. Komponenttien puhtausluokkasuositukset [11]</i> .....	28
<i>Taulukko 5. Valittujen suodattimien painehäviöt</i> .....	29
<i>Taulukko 6. Komponenttien viskositeetti- ja lämpötilarajat</i> .....	30
<i>Taulukko 7. Riskianalyysi</i> .....	39

<i>Kuva 1. Projektin elinkaarimalli [1 s. 47]</i> .....	6
<i>Kuva 2. Projektin toteutus [1 s. 49]</i> .....	6
<i>Kuva 3. Funktionaalinen organisaatio[8]</i> .....	11
<i>Kuva 4. Projektimainen organisaatio[8]</i> .....	12
<i>Kuva 5. Heikko matriisiorganisaatio[8]</i> .....	13
<i>Kuva 6. Sähkömoottorin ominaiskäyrät</i> .....	24
<i>Kuva 7. V60N-130 RQFN-1-0-00/NRV/L-G 24 -2-110/670-320 pumppu ja säädin</i> .....	25
<i>Kuva 8. Suodattimien valintataulukko [11]</i> .....	28
<i>Kuva 9. Testihuone</i> .....	32
<i>Kuva 10. Valintaventtiililohko</i> .....	33
<i>Kuva 11. Sylinterien testauslohko</i> .....	34
<i>Kuva 12. Mittauslohko</i> .....	35
<i>Kuva 13. Koneikko</i> .....	36
<i>Kuva 14. Koekäyttöpaikan alustava layout</i> .....	37
<i>Kuva 15. Koekäyttöpaikan layout</i> .....	38
<i>Kuva 16. Diplomityöaikataulu ja työn ositus</i> .....	42

# 1. JOHDANTO

Tämä diplomityö tehtiin Painetehto Oy:lle ja työn tavoitteena oli suunnitella ja käyttöönottaa uusi koekäyttöpaikka yrityksen valmistamille kompressoreille ja koneikoille sekä yrityksen huoltapuolen korjaamille venttiileille, sylintereille ja servolaitteille. Yrityksen vanha koekäyttöpaikka on nykyisiin vaatimuksiin nähden liian pienitehoinen ja sillä ei pystytä testaamaan kaikkia yrityksen valmistamia tuotteita. Tämän työn tarkoituksena on myös parantaa koekäyttöpaikan käytettävyyttä. Työn pohjana on Anssi Sarhaluoman aiheesta vuonna 2016 tekemä diplomityö, jossa on tehty esisuunnitelma koekäyttöpaikan uusimiseksi.

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä projektinhallintaan, sen toimintatapoihin ja työkaluihin sekä hyödyntää näitä koekäyttöpaikan suunnitteluprojektin toteuttamisessa.

Aluksi työn teoriaosuutena käyn läpi, mikä on projekti ja kuinka projektia tulisi johtaa. Tässä osiossa esittelen keskeisimmät projektinhallinnan osa-alueet ja työkalut. Seuraavaksi työssäni käyn läpi testilaitteistolle eri toiminnallisuuksien asettamia vaatimuksia. Vaatimusten ollessa selkeät, on työssä seuraavana järjestelmän suunnittelu. Järjestelmän suunnittelu koostuu neljästä osa-alueesta: hydrauliiikan, ohjausjärjestelmän, mekaniikan, sekä layoutin suunnittelusta.

Hydrauliikan suunnitteluun sisältyy käytön suunnittelu ja hydraulikaavion laatiminen, mitoituslaskelmat ja komponenttien valinnat. Hydrauliikan suunnitteluun kuuluu myös kiinteistön sähköverkon riittävyden varmistaminen ja lisäksi koekäyttöpaikan toiminnankuvaus on oleellinen osa hydraulisuunnittelua. Ohjausjärjestelmän suunnittelu pitää sisällään ohjausjärjestelmän ja siihen liittyvän ohjelmiston ja sähkötysten suunnittelun. Mekaaninen suunnittelu sisältää koekäyttöpaikan osien 3D-mallinnusta ja niiden sijoittaminen koekäyttöpaikalle kuuluu layout suunnitteluun.

Yksi keskeinen projektinhallinnan työkalu on projektianalyysi, jonka tein työni loppuvaiheessa. Projektianalyysissä peilaan työn alussa esiteltyjä projektinhallinnan keinoja tähän projektiin, mitä hyötyjä niistä on ollut työn aikana ja mitä niistä ei käytetty ja mitä hyötyä niiden käyttämisestä olisi voinut olla projektin kannalta. Analyysi sisältää myös ajatuksia siitä, mitä olen tämän työn myötä oppinut projektien toteuttamisesta, projektinhallinnasta sekä yleisesti hydrauliikkasuunnittelusta.

## 2. PROJEKTIHALLINTA

Projektit ovat alttiita muutoksille ja tästä syystä projektien onnistuminen voi olla joskus hankalaa. Projektinhallinta tarjoaa systemaattisia johtamistapoja ja menetelmiä, joita soveltamalla projektien päämäärän, odotusten ja vaatimusten mukaista onnistumisen todennäköisyyttä voidaan parantaa muutosten keskellä. Kirjallisuudessa projektinhallinta määritellään: ”Projektinhallinta on projektin tavoitteiden ja päämäärän saavuttamisen tähtävien johtamistapojen soveltamista.” [1, s. 35]

### 2.1 Projekti

Ennen projektinhallintaan perehtymistä on tarpeellista selvittää ja määritellä, mitä käsitteellä projekti tarkoitetaan tässä työssä.

Projektia voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta ja siksi projekti voidaan määritellä monella tavalla. Yksi näkemys on tarkastella projektia väliaikaisena organisaationa, joka perustetaan vain tiettyä työn suorittamista varten ja joka työn valmistuttua puretaan. Tekijöiden taidot ja osaamiset ovat tämän näkemyksen mukaan suuressa roolissa projektin tulosten laadun kannalta. Tässä näkemyksessä korostuu myös tekijöiden vastuu eli jokaiselle projektiorganisaation jäsenellä on omat vastualueensa tai tehtävänsä, joiden hoitaminen tai hoitamatta jättäminen vaikuttaa osaltaan merkittävästi projektin lopputulokseen. Toinen näkemys on määritellä projekti tuote- ja työrakenteena. Tässä näkemyksessä projekti määritellään siinä tehtävän työn tai tuotteen kautta. Projektin tuloksena saatava tuote voidaan jakaa hierarkkisesti pienempiin osatuotteisiin, tuoterakenteeksi. Myös projektin työt voidaan näin jakaa hierarkkisesti pienempiin osiin, jolloin näiden hallinta ja seuranta on helpompaa. Projektit voidaan myös nähdä tehtävinä ja vaiheina, joilla on jokin järjestys ja joilla on jonkinlainen keskeinen riippuvuus toisistaan. Luvussa 2.1.2 esitelty projektin elinkaarimalli liittyy vahvasti tähän näkemykseen ja tukee projektin näkemistä tehtävinä ja vaiheina. Tähän näkemykseen liittyy vahvasti myös luvussa 2.2 esiteltävä aikataulun- ja resurssienhallinta. [1, s. 25] Yleisesti projektin voidaan sanoa olevan johonkin tiettyyn rajattuun päämäärään tähtävä ainutkertainen vaiheiden ja tehtävien sarja, jotka tulee suorittaa tietyissä esimerkiksi aikataulun, resurssien ja kustannusten rajoissa. [2]

Prosessit, hankkeet ja erilaiset ohjelmat mielletään usein projekteiksi, vaikka niiden välillä on yleensä havaittavissa eroja. Joskus näitä eroja voi olla vaikeaa nähdä, sillä niillä voi olla hyvin paljon toisilleen samankaltaisia ominaisuuksia. Projektien ehkä tärkein muusta toiminnasta erottava tekijä on niiden ainutkertaisuus. Projekti voi olla ainutkertainen, jos esimerkiksi vastaavaa työtä tai tuotetta ei ole aikaisemmin toteutettu,



eikä välttämättä tulla koskaan enää toteuttamaan, ainakaan vastaavissa olosuhteissa. Projektin työtavat tai organisaatio voivat poiketa mistään aiemmin tehdystä ja projektin toteuttaminen yhdessä uusien sidosryhmien kanssa voi tehdä projektista ainutkertaisen. [1, s. 35] Alla olen käynyt läpi näitä eroavaisuuksia termien välillä.

Toimintatavoiltaan ja menetelmiltään prosessit ja projektit voivat olla hyvinkin samankaltaisia. Molemmat voivat olla tiettyyn päämäärään tähtääviä tapahtumaketjuja, mutta selkeä ero näiden kahden välillä tulee siitä, että prosessit eivät ole projektien kaltaisia rajattuja kokonaisuuksia, vaan ne ovat jatkuvaa tekemistä. Prosesseilla budjetit ovat yleensä määritelty jollekin tietylle ajanjaksolle, kuten esimerkiksi vuosi- tai kuukausibudjetit, kun taas projektien budjetit on yleensä tehty tietyn työn tai tuotteen tekemistä varten. Prosesseilla on yleensä tavoite saada optimoitua tuotteen tai tuote-erän valmistus mahdollisimman kustannustehokkaaksi. Prosesseihin pystytään tekemään asteittaisia parannuksia ja seuraamaan niiden vaikutusta kustannuksiin, laatuun ja tuotantonopeuteen. Näistä havainnoista voidaan ottaa oppia ja tehdä tarvittavia muutoksia, jotta työ saadaan tehtyä mahdollisimman tehokkaasti. Projekteilla ei tällaiseen hitaaseen, oppimisen myötä tapahtuvaan kehittymiseen ole mahdollisuutta niiden ainutkertaisuuden vuoksi. [1, s. 28]

Termiä hanke käytetään suomenkielessä usein synonyyminä projektille, mutta sillä voidaan myös tarkoittaa jatkuvaa tekemistä. Esimerkiksi valtioneuvoston asetuksessa ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 713/2006 hankkeeksi määritellään eläinten pito kanaloissa ja sikaloissa, joka on jatkuvaa toimintaa, eikä sen voi sanoa olevan projektien kaltaista kertaluontoista suoritteen tekemistä. [3] Projekti-instituutti sanoo hanke-termistä seuraavaa: ”Hanke-termin käyttö ei ole vakiintunut vaan viittaa eri organisaatioissa eri asioihin, mikä aiheuttaa helposti väärinymmärryksiä. Hanke voi olla synonyymi sanalle projekti tai "iso projekti". Joissain organisaatioissa se tarkoittaa suurta kehitysohjelmaa tai aietta, mahdollista tulevaa projektia. Joskus taas hanke-sanaa käytetään pienistä, projektimaisista toimeksiannoista.” [4] Esimerkiksi rakennusalan hanke-termillä tarkoitetaan aietta, josta investointipäätöksen myötä kehittyi projekti. [5, s. 49] Tämän diplomityön voisi ajatella kulkeneen tämän rakennusalan määritelmän mukaisesti: Yrityksellä oli aie, eli hanke, koekäyttöpaikan uusimiseksi, josta investointipäätöksen myötä kehittyi projekti. Julkishallinnossa hanke-termiä taas käytetään paljon edellä mainituista suurista kehitysohjelmissa. Esimerkkinä tästä Keski-Suomen ELY-keskuksen nosturi-kehittämishanke, jonka tavoite on auttaa nuoria, korkeasti koulutettuja, maahanmuuttajia, ikääntyneitä ja pitkään työttömänä olleita valmennuksen ja koulutuksen avulla takasin työmarkkinoille. [6] Tämän päämäärän voidaan sanoa olevan melko epämääräinen ja siitä on vaikea nähdä, milloin hankkeen voidaan sanoa toteutuneen onnistuneesti.

Ohjelmat ovat käytännössä suuria projekteja. Ohjelmilla on jokin tavoite, johon niillä pyritään ja ne koostuvat useista projekteista tai hankkeista, joilla puolestaan on omat

tavoitteensa. Taulukossa 1 on esitetty muutamia esimerkkejä ohjelmista ja niihin liittyvistä projekteista.

Taulukko 1. Esimerkkejä ohjelmista ja niihin liittyvistä projekteista. [5, s. 50]

Projekti	Mahdollinen ohjelma
Kanaalin tunnelin rakentaminen	Englannin ja Ranskan välisten kulkuyhteyksien kehittäminen
Ydinvoimalan rakentaminen	Suomen energiahuollon turvaaminen
Uuden tuotteen kehittäminen	Uuden liiketoiminnan kehittäminen

Esimerkiksi taulukon 1 ydinvoimalan rakentaminen voi koostua useista toisiinsa liittyvistä osa- ja aliprojekteista, joilla on keskinäiset vuorovaikutussuhteet. Ohjelma Suomen energiahuollon turvaamiselle voi sisältää useita toisistaan täysin riippumattomia projekteja kuten tämän ydinvoimalan rakentamisen ja lisäksi vaikka tuulipuiston ja aurinkovoimalan rakentamiset, jotka taas koostuvat omista, toisiinsa sidotuista osa- ja aliprojekteista. Erona projektien ja ohjelmien välillä on myös se, että ohjelmista voidaan saada liiketoiminnallisia hyötyjä jo ohjelman aikana, esimerkiksi kun yrityksen kehitysohjelmaan kuuluva yksi tuotekehitysprojekti saadaan valmiiksi. Projektit alkavat tuottaa hyötyä yleensä vasta kun ne on saatu valmiiksi. [5, s. 50] Myös esimerkiksi aiemmin esittelemäni nosturi-kehityshanke voisi olla yksi hanke ohjelmassa Keski-Suomen työttömyyden vähentämiseksi.

### 2.1.1 Projektin sidosryhmät

Projekteihin liittyy aina tärkeänä osana sidosryhmät, jotka kohdistavat projektille vaatimuksia tai odotuksia. Sidosryhmillä tarkoitetaan kaikkia eri tahoja, jotka vaikuttavat projektiin ja sen toteutumiseen tai joihin projektin tuloksilla on vaikutusta ja nämä keskinäiset vaikutukset voivat olla suoria tai epäsuoria. Projektiin vaikuttavien sidosryhmien tunnistaminen on tärkeää projektin onnistumisen kannalta. Sidosryhmien tunnistaminen voi olla hankalaa, sillä niitä voi olla useita erilaisia ja epäsuorien vaikutusten havaitseminen voi joskus olla haastavaa. Yleensä projekteilta voidaan tunnistaa ainakin seuraavat sidosryhmät:

- Projektin toteuttavan yrityksen organisaatioyksikkö eli se yritys, jonka osana projekti tehdään ja jonka työntekijöitä sidotaan projektiorganisaatioon.

- Projektioorganisaatio, joka koostuu kaikista henkilöistä ja organisaatioista, jotka osallistuvat projektiin. Projektipäällikkö ja projektiryhmä ovat keskeisessä osassa projektioorganisaatiota, sillä päällikkö vastaa toteutuksen johtamisesta ja projektiryhmä on se ryhmä, joka toteuttaa projektissa suoritettavia tehtäviä.
- Asiakas on se taho, jolle projektin päämääränä oleva tuote tai palvelu tehdään ja se on myös taho, joka vastaa projektin kustannuksista. Asiakas voi olla yrityksen sisäinen tai ulkopuolinen. Yrityksen ulkopuolisista asiakkaista käytetään usein myös nimitystä tilaaja.
- Käyttäjä on se taho, joka projektissa tehtävää tuotetta tai palvelua tulee lopulta käyttämään. Usein käyttäjänä toimii asiakas.
- Sponsori tai projektin omistaja vastaa investoinneista yrityksen sisäisissä projekteissa. [1, s. 41–46]

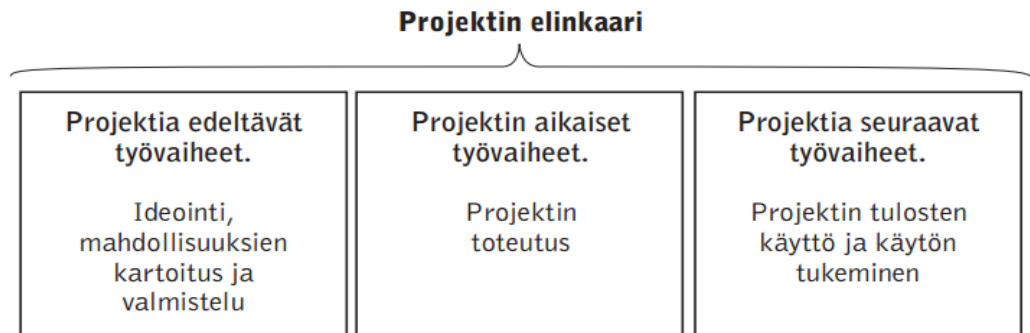
Nämä ovat sidosryhmiä, jotka löytyvät lähes jokaiselta projektilta. Näiden lisäksi projekteilta voidaan löytää myös joitakin seuraavista ryhmistä:

- Toimittajat ja palveluntarjoajat eli alihankkijat tai projektin muut osapuolet.
- Viranomaiset, jotka voivat vaikuttaa projektin lopputulokseen esimerkiksi tiettyjen määräysten tai lakien kautta.
- Rahoittajat, jotka investoivat projektiin, mutta eivät omista tai käytä projektin tuloksia, vaan odottavat investoinneiltaan tuottoa.
- Media eli välineet ja kanavat, joiden kautta suuri yleisö voi saada tietoa projektista.
- Muut kohderyhmät, kuten ulkopuoliset ihmiset ja organisaatiot, joihin projektin tulokset kuitenkin vaikuttavat.
- Kilpailijat, kuten muut vastaavan kaltaisia projekteja tarjoavat yritykset tai yritykset, jotka muuten kilpailevat asiakkaan investoinneista.
- Projektiin osallistuvien henkilöiden lähipiiri. [1, s. 41–46]

Kaikki sidosryhmät aiheuttavat projektille tiettyjä odotuksia ja vaatimuksia, joten näiden hallinta sidosryhmien moninaisuudesta ja määrästä johtuen voi olla haastavaa. On voitava luoda jonkinlainen yhteinen näkemys projektin tavoitteille. Yleensä asiakkaan ja rahoittajan vaatimukset ovat näistä tärkeimmät, mutta esimerkiksi lainsäädännössä määrätyt vaatimukset ovat välttämätöntä täyttää huolimatta muiden vaatimuksista. Nämä tärkeimmät sidosryhmät ovat myös projekteissa eniten mukana ja voivat jopa osallistua projektityöskentelyyn tai sen johtoon. [1, s. 41–46]

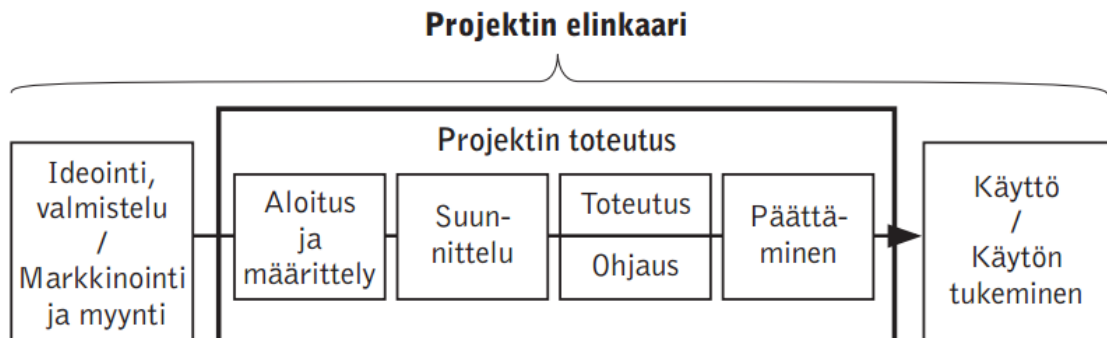
## 2.1.2 Projektin elinkaari

Projektien luonteesta johtuen niillä on yleensä melko tarkkaan määritelty kesto ja niillä on melko selkeät alku- ja loppupisteet. Projekteihin liittyy yleensä myös projektien toteuttamisvaiheen ulkopuolelle sijoituvia toimia. Voidaan siis ajatella, että itse projektin toteutus on vain yksi osa projektin elinkaarta. [1, s. 47]



**Kuva 1. Projektin elinkaarimalli [1 s. 47]**

Kuvassa 1 nähdään yksi kuvaus projektien elinkaarimallista. Tästä elinkaarimallista voidaan nähdä, että projekti alkaa paljon ennen itse toteutusta. Tässä vaiheessa tehdään tärkeää ideointia, mahdollisuuksien kartoitusta ja valmistelua projektiin liittyen. Projektin päätyttyä taas on vuorossa projektia seuraavat työvaiheet, joihin kuuluvat mm. projektissa syntyneiden tulosten käyttö ja käytön tukeminen. Esimerkiksi projektintoimittajayritys voi tuotteen ylläpito- ja huoltopalveluilla saada merkittävästi lisää tuottoa projektin toteutuksen jälkeen. [1 s. 47–50]



**Kuva 2. Projektin toteutus [1 s. 49]**

Koko projektin toteutusvaihe voidaan jakaa osiin, jotka nähdään kuvassa 2. Aloitus ja määrittelyvaiheessa on tarkoitus tunnistaa projektin tarve sekä määrittää sille tietty tavoite, johon projektilla pyritään pääsemään. Projektin toteutuksen alkuvaiheissa määritellään projektipäällikkö ja projektiryhmä. Aloitus ja määrittelyvaiheessa olisi myös hyvä tehdä projektin riskianalyysi, jolla pyritään tunnistamaan projektin toteutukseen liittyviä riskejä ja pyritään analysoimaan näiden riskien vaikutuksia projektin onnistumiseen. [1, s. 49]

Suunnitteluvaiheessa on tarkoitus tunnistaa projektin tehtävät ja käytettävissä olevat resurssit ja tehdä näiden pohjalta toteutussuunnitelma ja aikataulu. Myös kustannusrakenne olisi hyvä saada selville tässä vaiheessa. Suunnitteluvaiheessa projektiorganisaatio muodostetaan ja jokaiselle jaetaan omat vastuunsa ja tehtävänsä. Projektin suunnittelua käydään tarkemmin läpi luvussa 2.3. [1, s. 49]

Tässä kohtaa on huomattavaa, että projektin toteutus pitää sisällään toisen toteutusvaiheen, jotka eivät tarkoita samaa asiaa. Tässä yhteydessä toteutuksella tarkoitetaan suunnitelman mukaista teknistä toteutusta. Tämä toteutusvaihe on rinnakkain ohjausvaiheen kanssa ja tämä tarkoittaa sitä, että niiden välillä tulisi olla takaisinkytkentää eli ohjauksessa seurataan toteutuksen etenemistä ja tehdään tarvittaessa muutoksia ohjaukseen, jotta saadaan toteutus sujumaan suunnitellulla tavalla. Työkaluja tämän takaisinkytkennän mahdollistamiseksi on mm. aikataulu- ja kustannusraportointi. Raportoinnilla pyritään saamaan ohjaukselle tieto mahdollisista muutoksista, joita ei ole otettu huomioon projektin suunnitteluvaiheessa. Raportoinnilla tulisi saada selville mieluummin tulevia muutoksia, kuin jo tapahtuneita, jotta voidaan tehdä tarvittavat korjaavat toimenpiteet. Projektien ohjausta tarkastellaan tarkemmin luvussa 2.4. [1, s.49–50]

Päättäminen on projekteissa se vaihe, kun projekti on saatu valmiiksi ja projektiorganisaatio puretaan. Ennen projektiorganisaation purkamista tulee kuitenkin hoitaa valmiiksi kaikkien projektidokumenttien viimeistely ja arkistointi. Nämä dokumentit tulee myös luovuttaa asiakkaalle. Päättämisvaiheessa olisi syytä pitää myös jonkinlainen päättämis- tai palautekokous, jossa projektia arvioidaan yhdessä asiakkaan kanssa. [1, s. 49–50] Tämän työn päättämisvaiheen analysointi käydään läpi luvussa 6.

## 2.2 Projektinhallinnan osa-alueet

Projektinhallinta on käsitteenä laaja, joten on helpompaa ymmärtää jakamalla se pienempiin, tiettyihin tehtäviin tai aiheisiin liittyviin osa-alueisiin. Jokaiseen osa-alueeseen sisältyy omat toimintatapansa, menetelmänsä ja työkalunsa.

Kokonaisuuden hallinta on eri osa-alueiden riippuvuuksien hallintaa, tavoitteiden määrittelyä ja tarkentamista projektin edetessä. Kokonaisuuden hallinnassa yksi keskeisenä työkaluna on projektisuunnitelma, josta lisää luvussa 2.3.

Laajuuden hallinnalla pyritään varmistamaan, että projektista saatavat tulokset tai tuotteet täyttävät vaatimukset, jotka niille on asetettu kuitenkin tehokkaasti ilman turhaa ylimääräistä työtä.

Aikataulun hallinnalla pyritään varmistamaan projektin valmistuminen sovitussa ajassa. Aikataulun hallinnassa on tärkeää ymmärtää tehtävien välisiä riippuvuuksia ja olla

selvillä niiden kestosta. Muutokset ja niiden hallinta kuuluvat myös olennaisesti aikataulun hallintaan.

Kustannusten hallinnalla pyritään pitämään projektin toteutus liiketoiminnallisesti kannattavana. Kustannusarviointi, budjetointi ja kustannusten seuranta ovat kustannusten hallinnan keskiössä

Resurssien ja henkilöstön hallinnan tarkoitus on varmistaa, että projektilla on saatavilla oikeat resurssit oikeaan aikaan. Aikataulutetut toimet vaativat aikaa ja resursseja, joten resurssien hallinta tukee aikataulun hallintaa. Henkilöstön hallintaan kuuluu työn osituksen mukaisten tehtävien ja vastuiden suunnittelu ja jakaminen. Resurssien ja henkilöstön hallinnalla on tarkoitus saada resurssit jaettua projektin eri vaiheille mahdollisimman tehokkaasti.

Viestinnän hallinnalla pyritään pitämään yllä vuorovaikutusta projektin eri osapuolen välillä, jolloin kaikille osallisille välittyy selkeä kokonaiskuva projektista ja sen etenemisestä.

Riskienhallinnalla on tarkoitus tunnistaa ja määrittää projektiin liittyviä riskejä ja arvioida niiden mahdollisesta aiheuttamista hyviä ja huonoja vaikutuksia projektin toteutumiselle.

Hankintojen hallinta koostuu hankintoihin liittyvien sopimusten ja yhteistyön hallinnasta sekä toimitusten seurannasta. Myös yrityksen ulkopuolisten resurssien valinta ja käyttö kuuluvat hankintojen hallintaan.

Laadunhallinta on projektin osa-alue, jolla pyritään varmistamaan tehdyn projektin saavuttavan sille asetetut vaatimukset. [1, s. 37–38]

## 2.3 Projektin suunnittelu

Kuten jo aiemmin on käynyt esille, projektin suunnittelulla pyritään saamaan projektille yhdessä asiakkaan kanssa määriteltyä tietyt päämäärät, resurssit ja toteutustavat. Suunnittelusta vastaava henkilö on usein projektipäällikkö ja siihen voi myös osallistua henkilöitä muista sidosryhmistä. Suunnittelutyön tuloksena on usein projektisuunnitelma, jolla on tarkoitus saada pidettyä projektissa tehtävä työ ja projektinhallinnan osa-alueet tarvittavanlaisena kokonaisuutena. Projektisuunnitelma olisi hyvä pitää kohtuullisen suppeana dokumenttina, jotta siitä olisi helposti ymmärrettävissä projekti kokonaisuutena. [1, s. 107] Tekesin projektisuunnitelman laatimisohejen mukaan projektisuunnitelmassa tulisi olla seuraavat kohdat:

- Projektin tarve. Suunnitelmasta tulisi käydä selville projektin taustalla oleva ongelma, jota sillä pyritään ratkaisemaan ja minkälaiseen muutokseen projektilla pyritään.

- Projektin tavoitteet. Mahdollisimman konkreettinen selvitys siitä, mitä projektin tuloksena on tarkoitus syntyä. Minkälainen uusi tuote projektin tavoitteena on ja miten se täyttää sille asetetut vaatimukset. Myös projektin laajuus tulee selvittää ja rajata projektiin kuuluvat asiat.
- Projektin toteutus. Projektin jakaminen työn osituksen mukaisiin pienempiin osiin. Toteutukseen tulee myös selvittää projektille keskeisimmät virstanpylväät, joihin esimerkiksi raportointia voidaan sitoa projektin etenemisen seuranta varten.
- Projektin aikataulu. Graafinen kuvaus projektin suunnitellusta aikataulusta. Aikataulu tulee pyrkiä realistisesti suhteuttamaan projektin tavoitteisiin ja käytössä oleviin resursseihin.
- Projektin resurssit. Kuvaus projektiryhmän jäsenistä, heidän roolistaan ja tehtävistään projektissa, heidän kokemuksestaan ja mahdollisesta projektiryhmän ulkopuolisten sidosryhmien kanssa tehtävästä yhteistyöstä
- Projektin työmäärät ja kustannukset. Arvio projektiin käytettävästä työmäärästä ja kustannuksista.
- Projektin riippuvuudet. Kuvaus projektin riippuvuudesta muihin projekteihin tai päätöksiin ja suunnitelma näiden riippuvuuksien hallitsemiseen.
- Riskien tunnistaminen ja niihin varautuminen. Kuvaus projektin toteuttamiseen liittyvistä riskeistä ja keinoista joilla näiden riskien tapahtumiseen ja vaikutuksiin pyritään vaikuttamaan.
- Projektin tulosten hyödyntäminen. Tarvitaanko projektin tulosten hyödyntämiseen muita projekteja, panostuksia tai päätöksiä? Lisäksi kuvaus aikajänteestä, jolla projektista saatavien hyötyjen odotetaan toteutuvan.

Projektisuunnitelma voi myös pitää sisällään muita osia, kuten esimerkiksi laadunhallintasuunnitelman tai projektiryhmän pelisäännöt. [1, s. 107–110; 7]

Näin laaja projektisuunnitelma ei todellisuudessa juuri koskaan ole, varsinkaan pienemmissä projekteissa. Yleensä projektisuunnitelmasta löytyy vain puolet yllä mainituista osista. Projektisuunnitelmasta tulisi kuitenkin minimissään käydä ilmi miksi projekti tehdään ja mitä tehtäviä siinä tulee tehdä milloinkin ja kuka nämä tehtävät suorittaa. [1, s. 109]

## 2.4 Projektin ohjaus

Projektin ohjaus on verrattavissa tavallisiin takaisinkytkettyihin säätöjärjestelmiin, joissa prosessia ohjataan prosessista saatavan takaisinkytkentätiedon avulla. Tästä syystä termi ohjaus on mielestäni hieman harhaanjohtava, ohjauksella kun tarkoitetaan

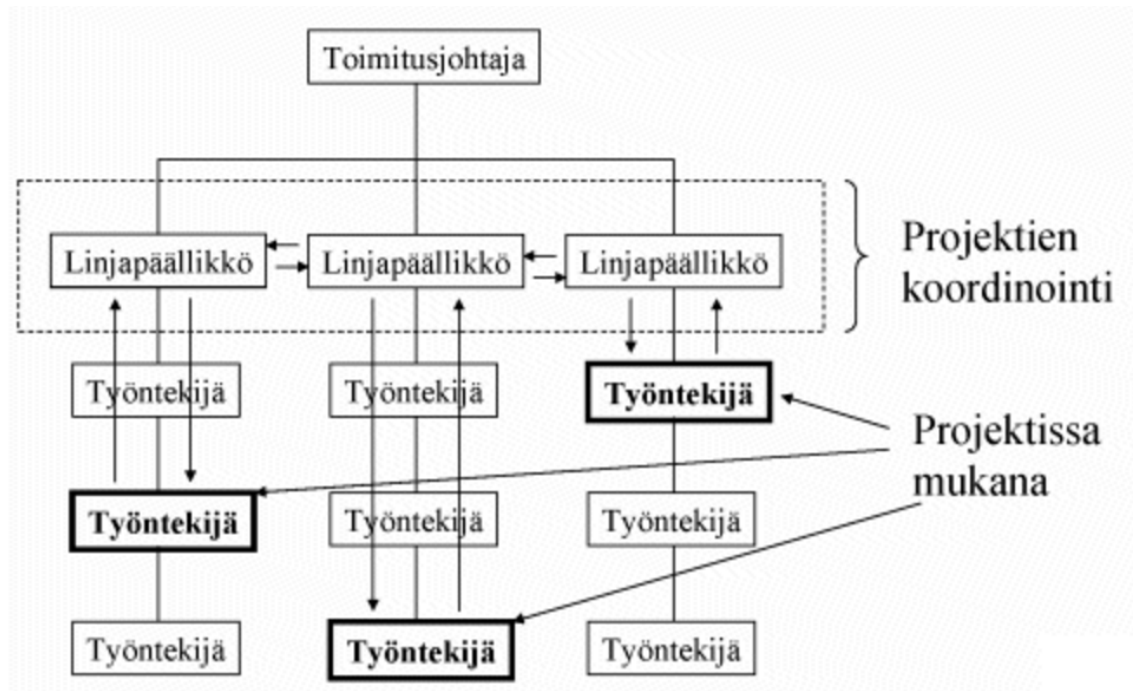
ohjausjärjestelmiä, joissa prosessia ohjataan ennakoimalla prosessin toimintaa, ilman takaisinkytkentää.

Mitä projektin ohjaus sitten on? Projektin ohjauksella pyritään siihen, että projekti saadaan valmiiksi sovitussa aikataulussa ja budjetissa ja sillä myös pyritään varmistamaan, että valmistunut lopputuote vastaa asiakkaan kanssa sovittua. Projektin ohjauksella siis pyritään pitämään projektin suunta kohti suunniteltua päämäärää, muutoksista huolimatta. Takaisinkytkentä ohjausta varten, saadaan projektin tilasta seurannan ja raportoinnin avulla. [1, s. 248-250] Seurannalla tarkoitetaan projektista jatkuvasti tehtävää tiedonkeruuta, jonka avulla tarvittavia muutoksia ohjauksissa tehdään. Seuranta voidaan tehdä jokaiselle aiemmin esitellylle projektinhallinnan osa-alueelle, joista ehkä tärkeimpinä aikatauluseuranta, kustannuseuranta, resurssien seuranta ja tehtävien etenemisen seuranta. Raportointi on seuranta, jota tehdään muodollisesti ja se on yleensä sidottu johonkin aikaan tai tapahtumaan, kuten projektin virstanpylväisiin. Raportointia suoritetaan myös edellä mainituille projektinhallinnan osa-alueille, mutta projektiorganisaation johdolla tai projektin johdolla voi olla tarve saada muutakin, kuin suoraan projektin ohjaukseen välttämättömästi tarvittavaa tietoa, kuten projektisalkun tai -ohjelman hallintaan tarvittavaa tietoa. [1, s. 250-257] Vaikka seuranta ja raportointi olisi tehty erinomaisesti, ei tämä vielä tarkoita, että projektin ohjaus olisi välttämättä kunnossa. Projektin ohjauksessa on tärkeää pystyä vertaamaan seurannan ja raportoinnin avulla saatua tietoa suunnitelmiin. Eli täytyy pystyä analysoimaan tietoa ja selvittää miltä osin projektin nykyinen tila poikkeaa suunnitellusta ja kuinka nämä poikkeamat voivat vaikuttaa projektin etenemiseen. Lisäksi ohjauksessa on tärkeää pystyä tämän tiedon pohjalta pystyä päättelemään mitä muutoksia tulee tehdä, jotta projekti saadaan taas kulkemaan kohti alkuperäistä päämäärää. [1, s. 259-271]

## **2.5 Projektin organisointi**

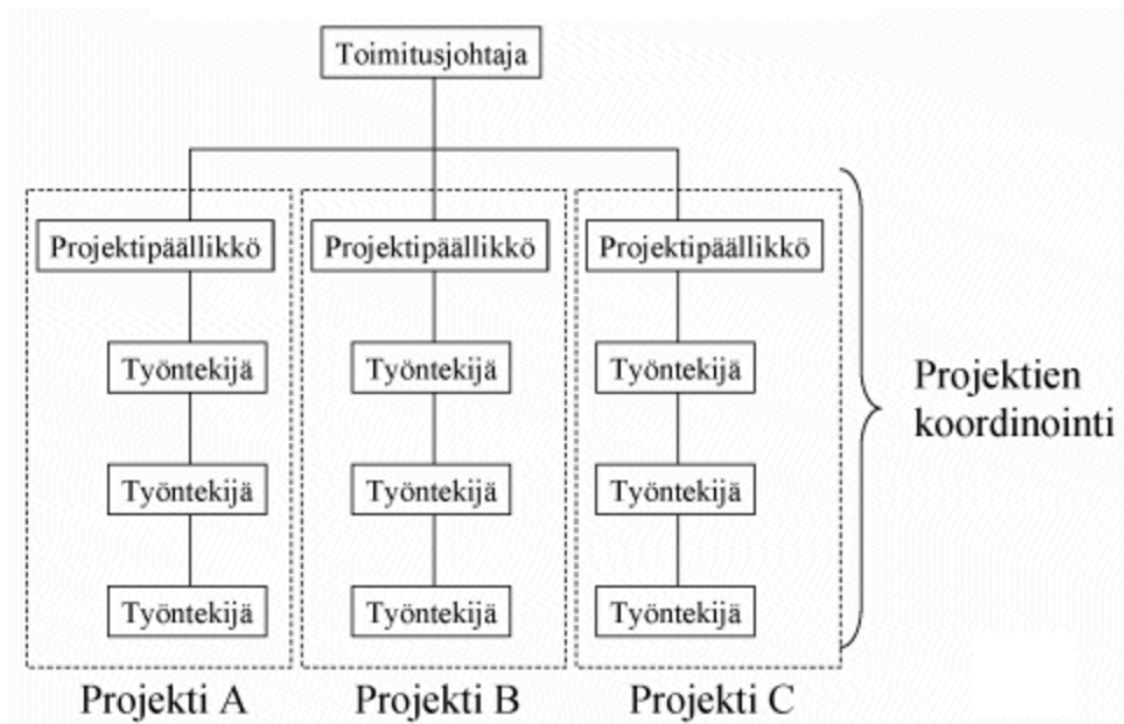
Projektiorganisaatioiden rakenne vaihtelee riippuen paljon projektin lähtökohdista ja projektin ympäristöstä ja tavoitteista. Perusta tietynlaiselle organisaatorakenteelle saadaan projektisuunnittelun työn osituksesta. Projektiorganisaatioilla voi olla erilaisia rakenteita ja niitä on funktionaalinen organisaatio, projektiorganisaatio ja matriisiorganisaatio. [1, s. 332-341]





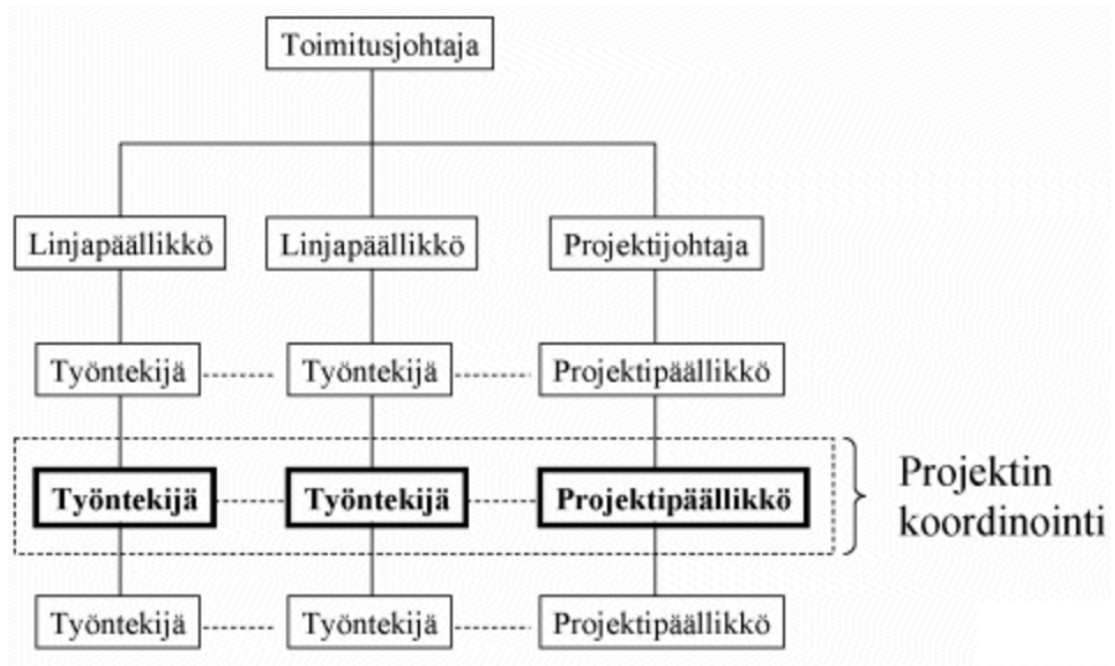
**Kuva 3. Funktionaalinen organisaatio[8]**

Kuvassa 3 on esitetty funktionaalisen eli toimintokohtaisen organisaation malli, jossa organisaation jäsenet järjestetään hierarkkisesti heidän osaamistensa mukaan. Samantyyppisiä tehtäviä tekevät henkilöt sijoitetaan samaan yksikköön ja jokainen osaston jäsen ymmärtää ja hallitsee oman tehtävänsä. Tämä mahdollistaa sen, että jäsenet voivat kehittyä omalla osaamisalueellaan, mutta koko projektikokonaisuuden ymmärrys voi jäädä epäselväksi. Funktionaalissa organisaatiossa työntekijöillä on yksi esimies ja he vastaavat vain hänelle. Haasteina funktionaalissa organisaatiossa onkin funktioiden välisen yhteistyön hallinta ja funktioiden välinen kommunikointi. Funktionaalissa organisaatiossa ei ole selkeää projektipäällikköä tai projektipäälliköllä ei ole suurta roolia, vaan projektien koordinointi tapahtuu linjapäällikköiden tasolla. Funktionaalinen organisaatio on melko raskas ja joustamaton ja sillä voi olla vaikeaa saavuttaa haluttua tehokkuutta. [1, s. 333-335]



**Kuva 4. Projektimainen organisaatio[8]**

Projektiorganisaatioissa jäsenet järjestetään projektien mukaan, kuten nähdään kuvassa 4, jossa on esitetty projektimaisen organisaation rakenne. Projektiorganisaatiossa jokainen organisaation jäsen ymmärtää oman projektinsa kokonaisuuden, mutta sen jäsenillä ei ole niin hyviä mahdollisuuksia kehittyä omilla osaamisalueillaan, kuten funktionaalisessa organisaatiossa. [8] Projektimaisissa organisaatioissa projektipäällikön rooli on huomattavasti merkittävämpi kuin funktionaalisessa organisaatiossa ja projektipäälliköllä on käytettävissään kaikki projektin tarvitsemat resurssit. Projektimaisessa organisaatiossa jäsenet vastaavat projektipäällikölle. Projektimainen organisaatio on huomattavasti joustavampi kuin funktionaalinen organisaatio ja se tukee organisaatorakenteista ehkä parhaiten tehokasta projektinhallintaa. [1, s. 335-336]



**Kuva 5. Heikko matriisiorganisaatio[8]**

Matriisiorganisaatioissa yhdistyvät funktionaalisten ja projektimaisten organisaatioiden piirteitä, joilla pyritään poistamaan molemmissa organisaatorakenteissa esiintyviä ongelmia. Matriisiorganisaatioita on kolmea eri tyyppiä: heikko matriisiorganisaatio, tasapainotettu matriisiorganisaatio ja vahva matriisiorganisaatio. Heikko matriisiorganisaatio tai funktionaalinen matriisiorganisaatio on nimensä mukaisesti funktionaalisen organisaatorakenteen kaltainen, jossa organisaatorakenteet määritetään organisaation jäsenten osaamisen mukaan. Tämän lisäksi heikkoon matriisiorganisaatiossa tunnistetaan muiden funktioiden projektit ja projekteja koordinoidaan yksiköiden johdon alapuolella, kuten nähdään kuvan 5 matriisiorganisaation rakenteesta. Heikossa matriisiorganisaatiossa ei välttämättä ole selvää projektipäällikköä tai hänellä ei ole selvää valtaa resurssien käytössä, vaan hän koordinoi funktioiden välisten projektien työtä. Tasapainotetussa matriisiorganisaatiossa projektin vastuu jaetaan projektipäällikön ja linjapäällikön välille, jolloin esimerkiksi projektipäällikkö vastaa projektin aikataulusta ja kustannuksista, kun taas linjapäälliköt vastaavat oman funktionsa työstä. Projekti- ja linjapäälliköt sopivat keskenään resurssien käytöstä. Vahva matriisiorganisaatio tai projektimatriisiorganisaatio muistuttaa myös nimensä mukaisesti projektimaista organisaatorakennetta. Vahvassa matriisiorganisaatiossa projektipäälliköillä on enemmän valtaa, niissä vastuu on linjaorganisaatioiden sijaan projekteilla. Kaikilla matriisiorganisaatorakenteilla on yhteistä se, että projektipäälliköt sopivat yhdessä linjapäälliköiden kanssa resurssien käytöstä ja projektin tuloksista. Matriisiorganisaatioiden jäsenet voivat työskennellä yhtäaikaaisesti projekti- ja linjaorganisaatioissaan. Suurimmat erot eri matriisirakenteiden välillä onkin työnjohdon ja tulosvastuun kohdalla. [1, s. 337-340]

### 3. KOEKÄYTTÖPAIKAN VAATIMUKSET

Ensimmäisenä koeajojärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää selvittää järjestelmälle asetetut vaatimukset. Tässä työssä lähtökohtana käytetään Anssi Sarhaluoman aiemmassa diplomityössä selvittämiä vaatimuksia koekäyttöpaikalle. Vaatimukset on kuitenkin vielä tarkastettu uudelleen asennuksen ja huollon työnjohdon kanssa mahdollisten muutosten varalta.

#### 3.1 Koekäyttöpaikan toiminnallisuuksien vaatimukset

Koekäyttöpaikalta vaaditaan erilaisia toiminnallisuuksia, mikä siis tarkoittaa sitä, että sillä täytyy pystyä testaamaan tiettyjä erilaisia laitteita ja komponentteja. Jokainen vaadittu toiminnallisuus aiheuttaa koekäyttöpaikalle omat vaatimuksensa, niin hydraulikalle kuin fyysisesti testihuoneen layoutille. Koekäyttöpaikalla täytyy olla mahdollisuus testata PTR-kompressorit, pohjalaatta-asenteiset on/off- ja proportionaaliventtiilit, sylinterit, servolaitteet ja koneikot. Myös lohkokokoonpanojen testaus täytyy ottaa huomioon, ainakin liitännöissä.

##### 3.1.1 Kompressorien testauksen vaatimukset

Ensimmäinen ja ehkä tärkein toiminnallisuus koekäyttöpaikalle on kompressorien testaus. Koekäyttöpaikalla testattavia kompressoreita on kolmea eri sarjaa: PTR-sarja, COHU 700- ja COHU 1200-sarjat. Taulukossa 2 on esitetty PTR-sarjan kompressorien asettamat vaatimukset hydraulikalle.

*Taulukko 2. PTR-sarjan kompressorien vaatimukset*

	Q_max [l/min]	p_max [bar]	P [kW]
<b>PTR-30-EVO</b>	100	300	58
<b>PTR-40-A</b>	68	250	28
<b>PTR-40-HV</b>	68	250	28
<b>PTR-50</b>	135	150	34
<b>PTR-60-SP</b>	103	240	41
<b>PTR-60-SPQ</b>	103	250	43
<b>PTR-80</b>	108	260	47
<b>PTR-120-H</b>	164	300	82

Taulukosta 2 nähdään, että PTR-sarjan kompressorien testaus asettaa hydraulikalle vaatimuksiksi 300 bar maksimipaineen ja 164 l/min tuoton. Suurin tehontarve on tässä toimintapisteessä PTR-120-H kompressorilla 82 kW. COHU sarjan kompressorien hydraulikan vaatimukset on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3. COHU 700 ja 1200-kompressorien vaatimukset**

	Q [l/min]	p [bar]	P [kW]
<b>COHU 700</b>	20 - 120	230	8 - 47
<b>COHU 1200</b>	35 - 155	280	16 - 75

Taulukosta 3 nähdään, että COHU sarjan kompressorien vaatimukset jäävät PTR-sarjan kompressoreita alhaisemmiksi ja eivät siksi vaikuta vaatimuksiin.

Layoutin suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kompressorien helppo liittäminen testijärjestelmään. Asennusvaiheessa kompressorit kasataan pyörillä varustettujen vaunujen tai kuormalavojen päälle, joilla ne myös siirretään koekäyttöpaikalle. Kompressorit tulee olla siirrettävissä näillä vaunuilla tai lavoilla riittävän lähelle koekäyttöpaikkaa, jotta ne voidaan kytkeä testilaitteistoon.

Kompressoreilta tarvitaan mittaukset niiden hydraulimoottorilla olevasta paineesta, sen läpäisemästä tilavuusvirrasta ja öljyn lämpötilasta. Kompressoreilta tarvitaan myös tieto paineilman tuotosta, paineesta ja lämpötilasta. Sähkökäyttöisistä kompressoreista halutaan näiden lisäksi mitata niiden sähkömoottorin ottamaa virtaa. Sähkökäyttöisiä kompressoreita varten koekäyttöpaikalla tulee myös olla niihin tarvittavat sähköliitännät. Kompressoreissa voi olla sähköisesti ohjattuja venttiileitä, joita tulee pystyä ohjaamaan, joten niitä varten koekäyttöpaikalla on oltava yleisimpiä venttiilipistokkeita.

### 3.1.2 Venttiilien testauksen vaatimukset

Yleisimmät testattavat venttiilit ovat pohjalaatta-asenteisia venttiileitä ja niitä on käytännössä kolme kokoluokkaa: NS6, NS10 ja NS16 nimelliskoon venttiilit. Näille venttiileille tarvitaan nopea liitännämahdollisuus testijärjestelmään. Venttiilien testauksessa käytetty painetaso on 200 bar ja vaadittu tilavuusvirta saadaan NS16 venttiilien tarpeesta, joka on noin 200 l/min. Venttiilien toiminnasta pystytään käytännössä varmistamaan jo PTR-120-H kompressorin vaatimalla noin 165 l/min tuotolla, joten vaatimusta maksimituotolle ei tarvitse nostaa venttiilien testauksen takia. Venttiilien testauksessa tulee varmistaa venttiilien tiiveys ja toiminta. Venttiileistä

mitataan niiden yli olevaa paine-eroa ja sen läpäisemää tilavuusvirtaa ja öljyn lämpötilaa. Venttiileiden työlinjoja pitää pystyä kuristamaan, kuorman simuloimiseksi ja linjojen paineistamiseksi.

### **3.1.3 Sylinterien testauksen vaatimukset**

Sylinterien testauksessa on tärkeää selvittää huollettujen sylinterin tiiveys ja toiminta. Sylinterit koeponnistetaan ja niiden tiiveys tarkastetaan. Sylinterien vaatima koeponnistuspaine on suurimmillaan 260 bar. Tarvittava tilavuusvirta vaihtelee suuresti testattavan sylinterin koosta riippuen ja niitä ohjataan proportionaalisuuntaventtiilillä. Testattavat sylinterit ovat yleensä todella likaisia ja niistä pääsee järjestelmään testin aikana suuri määrä epäpuhtauksia. Järjestelmässä on proportionaaliventtiileitä ja sillä on tarkoitus testata myös servoventtiileitä, jotka ovat herkkiä epäpuhtauksille. Tästä syystä sylinterien testaus tulee eristää suodattimilla muusta järjestelmästä. Sylinterien testauksesta mitataan kammioiden paineita, tilavuusvirtaa ja öljyn lämpötilaa.

### **3.1.4 Servolaitteiden testauksen vaatimukset**

Servolaitteita ovat servoventtiilit, -sylinterit ja -toimilaitteet. Servoventtiilit on pystyttävä liittämään nopeasti järjestelmään niille tarkoitetuilla pohjalaatoilla ja niiden tiiveys sekä toiminta on kyettävä testaamaan. Servosylintereille tulee tehdä samat tiiveyden testaukset kuin muillekin sylintereille. Venttiileistä pitää varmistaa, ettei niissä esiinny ryömintää. Eli ilman ohjausta ne eivät saa läpäistä virtausta. Servoventtiilien tilavuusvirtavaatimus on noin 80 l/min ja painetaso 200 bar.

### **3.1.5 Hydraulikoneikkojen testauksen vaatimukset**

Koneikkojen testauksessa ei tarvita ulkopuolista tehonlähdettä, sillä koneikot on varustettu omilla sähkömoottoreillaan. Koneikkojen testausta varten testihuoneessa tulee olla niihin tarvittavat sähköliitännät ja ne tulee pystyä liittämään hydraulikan mittauslaitteistoon. Koneikkoja tulee myös pystyä kuormittamaan, jotta ne voidaan ajaa toimintapisteeseen ja siten varmistua siitä, että ne pystyvät tuottamaan niiltä luvatus paineen ja tilavuusvirran. Sarhaluoman tekemien selvitysten pohjalta koneikoiden käyttöpaineet vaihtelevat välillä 140 – 320 bar, tilavuusvirrat välillä 13 – 150 l/min ja lämpötilat 20–100 °C. Koneikoissa mahdollisesti olevien venttiilien toiminta tulee pystyä testaamaan ja tätä varten testijärjestelmässä tulee olla ylimääräisiä venttiilipistokkeita yleisimmille kelatyypeille.

## **3.2 Koekäyttöpaikan yleiset vaatimukset**

Testijärjestelmän tulee sisältää tarvittava mittauslaitteisto, jolla pystytään suorittamaan mittaukset kaikille vaadituille toiminnoille. Mitattavia suureita ovat siis ainakin öljyn ja

paineilman tilavuusvirrat, -paineet ja lämpötilat. Mittauksista muodostetaan testipöytäkirja, johon testin aikana mitatut arvot tallennetaan. Testattavissa koneikoissa ja kompressoreissa voi olla sähköisesti ohjattuja venttiileitä, joita täytyy pystyä ohjaamaan eli niitä varten järjestelmässä täytyy olla riittävästi venttiilipistokkeita yleisimmille kelatyypeille. Koekäyttöpaikan öljyroiskeiden keräys tulee olla hoidettu siten, että keräysastiat voidaan tyhjentää ilman suuria muutostöitä testipaikalla. Lisäksi huoltotyöt, kuten esim. suodattimien vaihto pitää myös pystyä tekemään mahdollisimman helposti.

Koekäyttöpaikan tulee olla käyttäjälleen mahdollisimman turvallinen, joten putki- ja letkulinjoja ja liitoskohtia tulisi mahdollisuuksien mukaan suojata. Koekäyttöpaikan tulee myös olla mahdollisimman yksinkertainen ja helppo käyttää, jottei sen käyttöön vaadita laajempaa koulutusta.

## 4. TOIMINTAKUVAUS

Ennen varsinaista järjestelmäsunnittelua on hyvä miettiä vaatimusten pohjalta järjestelmän käyttöä ja käydä läpi jokaisen testattavan laitteen testiprosessi. Tämä alustava toimintakuvaus on tehty yhdessä huollon ja asennuksen esimiesten sekä työntekijöiden kanssa, jotta testijärjestelmä saataisiin vastaamaan mahdollisimman hyvin heidän tarpeitaan ja toiveitaan. Toimintakuvaus on myös tässä tapauksessa hyvä pohja käyttöliittymän ja ohjausjärjestelmän suunniteluun.

### 4.1.1 Kompressorien testaus

Testattava kompressori tuodaan sisään testihuoneeseen ja siihen liitetään paine-, tankki- ja vuotoletkut. Painelinja tulee kompressorin testiin NS16 koon valintaventtiililtä. Tankki- ja vuotoelinjat menevät suoraan säiliöön. Kompressorin ilmapää liitetään paineilman mittauspisteeseen. Liitosten tekemisen jälkeen varmistetaan, että hydrauliiikan mittauspisteen pallohanat ovat oikeassa asennossaan, jotta virtaus saadaan kulkemaan kompressorille. Käyttöliittymästä valitaan testattavaksi laitteeksi kompressori ja tämän jälkeen valitaan esimerkiksi pudotusvalikosta testattavan kompressorin tarkempi malli. Aukeavaan ikkunaan syötetään kompressorin ja testin yksilölliset tiedot, kuten sarjanumerot, työnnumero, testaaja jne. Nyt käyttöliittymästä voidaan käynnistää koneikko ja ohjata valintaventtiili avautumaan kompressorien testauksen painelinjaan. Pumpun tuottoa ja painetasoa säädetään kahdella proportionaaliventtiilillä, joiden ohjaus tapahtuu käyttöliittymästä. Ennen testin aloittamista kompressorille voi olla tarpeellista tehdä säätötoimenpiteitä ja siksi ennen testin aloittamista pumpun tuotto pidetään pienenä ja painetaso matalana. Toimimalla näin voidaan myös saada selville mahdolliset vuodot tai huonosti kiinnitetyt liittimet ilman suurempaa vaaraa ja samalla kompressori saadaan ilmattua. Kun ollaan valmiita aloittamaan testi, kasvatetaan pumpun tuottoa ja nostetaan painetasoa asteittain vastaamaan kyseisen kompressorin vaatimuksia. Käyttöliittymässä on painike, josta aloitetaan testaus, jonka painaminen aloittaa anturitietojen tallentamisen pöytäkirjaa varten. Kompressorien testaus suoritetaan manuaalisesti säätämällä paineilmalinjan kuristusta, käsikäyttöisellä hanalla. Hanan ollessa auki saadaan kompressorilta minimipaine ja hanan ollessa täysin kiinni saadaan maksimipaine. Ylipaine ja painerajaventtiilin toiminta saadaan varmistettua, kun hana suljetaan nopeasti. Maksimikuorma kompressorilta saadaan, kun hanaa pidetään raollaan.

Testistä tallentuvat arvot tuotetusta ilmanpaineesta, virtausmäärästä ja lämpötilasta eri tilanteissa. Kussakin tilanteessa hydraulimoottorin läpäisemä tilavuusvirta, paine ja



öljyn lämpötila tallennetaan myös mittauspöytäkirjaan. Kun testi on saatu suoritettua, sammutetaan koneikko käyttöliittymästä, joka myös ohjaa valintaventtiilin keskiasentoonsa ja purkaa paineen testiosiosta. Tämän jälkeen kompressoriin tehdyt liitännät voidaan turvallisesti purkaa. Testin jälkeen käyttöliittymään avautuu testipöytäkirjan esikatselunäkymä. Tässä näkymässä testin tietoja voidaan vielä muuttaa, mikäli niissä oli virheitä. Mittauksista tehdään automaattisesti kuvaajat, joita pystytään tässä näkymässä vielä skaalaamaan, jotta kuvaajista saadaan mahdollisimman selkeät. Mikäli testissä ilmeni ongelmia, joita ei pystytty testin aikana korjaamaan, voidaan testipöytäkirja hylätä ja korjausten jälkeen suorittaa testi uudelleen. Hylätystä testistä tallennetaan myös pöytäkirja. Jos vika pystyttiin korjaamaan testin aikana, kirjataan vika ja toimenpiteet testin lisätietoihin. Pöytäkirja tallennetaan esimerkiksi kompressorin sarjanumerolla verkkolevyille. Jos samalle kompressorille joudutaan tekemään useampi testi, lisätään samalle sarjanumerolle toinen testipöytäkirja (esim. 123456\_testi1, 123456\_testi2 jne.). Testi voidaan myös keskeyttää ilman pöytäkirjan tallentamista, jos esimerkiksi koneikko joudutaan jostain syystä sammuttamaan kesken testin.

#### **4.1.2 Venttiilien testaus**

Venttiilien testaus aloitetaan poistamalla peitelevy venttiilien asennuslevystä ja asentamalla siihen testattava venttiili. Tarvittaessa venttiilin ja asennuslevyn välissä käytetään sopivia adapterilevyjä. Sähköisesti ohjattuihin venttiileihin liitetään tarvittavat sähköjohdot. Ennen testin aloittamista varmistetaan, että venttiilien testaus osion pallohanat ovat käännettyinä oikeaan asentoonsa siten, että venttiilin A ja B kanavat on yhdistetty toisiinsa. Tämän jälkeen käyttöliittymästä valitaan testattavaksi laitteeksi venttiili ja testattavan venttiilin koko pudotusvalikosta. Koneikko käynnistetään käyttöliittymästä ja ohjataan valintaventtiili avautumaan venttiilien testausosiolle. Tässäkin tilanteessa ennen testin aloittamista pumpun tuotto ja painetaso pidetään matalana mahdollisten ongelmien varalta ja venttiili ilmataan. Painetaso ja tuotto nostetaan asteittain vastaamaan testattavan venttiilin vaatimuksia ja aloitetaan testaus käyttöliittymästä. Venttiilien testaus osiossa on virransäätöventtiili, jolla simuloidaan kuormaa ja saadaan paineistettua työlinjat. Venttiilien mittauksista tarvitaan tieto paineista venttiilin P, A ja B kanavissa, sen läpäisemästä tilavuusvirrasta ja öljyn lämpötilasta. Testattavia venttiileitä ohjataan tasavirtalähteellä.

Kun venttiilin läpäisy on saatu mitattua, lopetetaan mittaus, pudotetaan pumpun paine ja tuotto ja suljetaan valintaventtiili venttiilien testausosiolta. Tämän jälkeen käännetään pallohanat toiseen asentoonsa, jotka ohjaavat öljyn testisynterille. Seuraavaksi ohjataan valintaventtiili avautumaan taas venttiilien testausosiolle ja pidetään testattava venttiili suljettuna ja nostetaan paine työpaineeseen. Tuottoa ei tässä vaiheessa enää nosteta aiemman testivaiheen tasolle. Nyt sylinterin liikkeestä ja liikenopeudesta voidaan päätellä riittävä tiiveys. Pöytäkirjaan merkitään tulos tiiveyden testauksesta

asteikolla hyväksytty/hylätty. Jos testattavalta venttiililtä ei vaadita pöytäkirjaa, voidaan tämän sylinterin avulla nopeasti varmistua venttiilin toiminnasta. Nyt koneikko voidaan sammuttaa ja ohjata valintaventtiili keskiasentoonsa. Testattava venttiili voidaan nyt turvallisesti irrottaa asennuslaatasta ja korvata se taas peitelevyllä. Venttiilien testauksesta tallennetaan pöytäkirja venttiilin sarjanumerolla tai työnumerolla.

### **4.1.3 Sylinterien testaus**

Sylinteri tuodaan testauspaikalle ja tarvittaessa kiinnitetään paikalleen. Sylinteri liitetään sille tarkoitettuihin pikaliittimiin, koneikko käynnistetään ja avataan valintaventtiili venttiilien testausosiolle. Tässäkin tapauksessa pumpun tuotto ja painetaso pidetään aluksi matalana ja sylinteri ilmataan, jonka jälkeen paine ja tuotto nostetaan asteittain sopivalle tasolle. Sylinteriä ohjataan proportionaaliventtiilillä, jonka ohjaus tehdään potentiometreistä koekäyttöpaikan läheisyydestä. Sylinterin toiminta testataan ohjaamalla sitä molempiin päätyihinsä. Sylinterin tiiveys voidaan testata koeponnistamalla sylinteri päätyasennoissaan. Testin jälkeen sylinteri ajetaan toiseen päätyynsä, järjestelmä sammutetaan ja valintaventtiilin kautta kammioiden paine purkautuu. Nyt sylinterin se pääty johon se on ajettu, on tyhjä öljystä ja sen päädyn liittämä voidaan purkaa. Tuohon liittimeen liitetään nyt paineilmaletku, jolla ajetaan mäntä toiseen päätyynsä ja samalla tyhjennetään sylinterin toinenkin kammio öljystä. Sylinteri voidaan tämän jälkeen irrottaa järjestelmästä. Sylinterien testauksesta ei tarvita tietoa kuin molempien kammioiden paineista ja öljyn lämpötilasta näistä muodostetaan pöytäkirjaa varten kuvaajat.

### **4.1.4 Servolaitteiden testaus**

Jos testattavana on pelkkä servosylinteri ilman sen yhteydessä käytettävää servoventtiiliä, testataan sylinteri kuten muutkin tavalliset sylinterit. Pelkkien servoventtiilien testaus taas tehdään kuten muidenkin venttiilien testit. Servotoimilaitteet taas testataan liittämällä ne samoihin pikaliittimiin, kuin kompressorien testauksessa. Servoventtiileitäkin ohjataan ainakin alustavasti tasavirtalähteellä. Servoventtiilien testaukseen on myös kehitetty erityisesti niiden testaamista varten MOOGin G040-123 testeri, jolla saadaan annettua venttiileille ohjauksia ja lisäksi saadaan venttiileiltä asematakaisinkytkentätieto. Tällä laitteella ei tämän työn kirjoitushetkellä ollut vielä CE hyväksyntää, joten sitä ei pystytä Euroopassa myymään, mutta MOOGin edustajan mukaan tuon laitteen pitäisi kesän jälkeen olla myytävissä myös Euroopassa jolloin sen hankintaa tulee uudelleen harkita.

#### 4.1.5 Koneikkojen testaus

Testattava koneikko tuodaan testipaikalle ja siihen tehdään tarvittavat sähkökytkennät ja se liitetään hydrauliiikan mittauspisteeseen ja käännetään hydrauliiikan mittauspisteen pallohanat koneikon testaus asentoon. Tämän jälkeen käyttöliittymästä valitaan testattavaksi laitteeksi koneikko ja valitaan testattava koneikko ja syötetään koneelle koneikon yksilölliset tiedot. Tämän jälkeen koneikko käynnistetään ja linja ilmataan. Koneikkoja ei käynnistetä käyttöliittymästä, vaan niille on sähkökaapissa omat käynnistys- ja pysäytyspainikkeet. Koneikoissa voi olla joitakin sähköisesti ohjattuja venttiileitä ja näitä varten tehdään tarvittavat kytkennät ja säädöt. Kun tarvittavat säädöt on tehty, aloitetaan testaus käyttöliittymästä. Koneikkoja kuormitetaan hydrauliiikan mittauspisteessä sijaitsevalla virransäätöventtiilillä. Koneikkoja kuormitetaan, kunnes öljyn lämpötila nousee normaalia käyttötilannetta vastaavalle tasolle ja tämän jälkeen mittaus aloitetaan. Näin voidaan varmistua, että koneikko suoriutuu siltä luvatussa tuotosta ja painetasosta todellista käyttötilannetta vastaavissa olosuhteissa. Testin jälkeen koneikko sammutetaan ja siihen tehdyt liitokset puretaan. Koneikkojen testauksesta tehdään automaattisesti kuvaajat paineesta, tuotosta ja lämpötilasta pöytäkirjaan. Kuten kompressorien testauksessa, mikäli testissä ilmenee ongelmia, joita ei pystytä testin aikana korjaamaan, voidaan testipöytäkirja hylätä ja korjausten jälkeen suorittaa testi uudelleen. Jos koneikko joudutaan jostain syystä sammuttamaan kesken testin, voidaan testaus keskeyttää ilman pöytäkirjan tallentamista.

## 5. JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU

Järjestelmäsuunnittelun pohjana toimivat Anssi Sarhaluoman aiemmin diplomityönä tehty esisuunnitelma ja lisäksi lukujen 3 ja 4 vaatimukset ja toiminnankuvaus. Tarkoitus on saada suunniteltu järjestelmä toiminnallisuuksiltaan vastaamaan mahdollisimman hyvin yrityksen tarpeita ja tehdä siitä mahdollisimman helppokäyttöinen.

### 5.1 Hydraulikkasuunnittelu

Vaatimuksista saatiin selville, että hydraulikan teholle suurimman vaatimuksen aiheuttaa PTR-120 testaus 82 kW. Tämä voi koitua ongelmalliseksi, sillä kiinteistön sähköliittymän koko on 250 A ja nykyisellä sähköliittymällä kiinteistössä voidaan koeajaa 75 kW sähkömoottoreilla varustettuja kompressoreita. Näiden testien aikana kiinteistön sähkövaloissa alkaa kuitenkin esiintyä vilkkumista, eli kiinteistön sähköverkko on liian heikko kyseisiä testejä varten ja 110 kW sähkömoottoria ei välttämättä pystytä käynnistämään lainkaan. Kiinteistön sähköpääkeskuksessa on asennettuna verkkoanalysaattori, josta voidaan tarkastella reaaliaikaisesti kiinteistön sähkönkulutusta. Kun kiinteistössä ei ole käytössä ainoatakaan testattavaa laitetta on virrankulutus noin 100 A. Tämä 100 A:n virrankulutus, koostuu siis kiinteistön ilmanvaihdosta, valaistuksesta, tietokoneista ja muista normaaleista toimisto- ja tuotantokiinteistöihin liittyvistä sähköä kuluttavista laitteista. Suurimpien nykyisellään testattavien, 75 kW:n sähkömoottorien nimellisvirraksi saadaan datalehdeltä 133 A. Näiden summaksi saatava 233 A:a jää juuri ja juuri alle kiinteistön sähköverkon 250 A:n, mutta täytyy ottaa huomioon, että tuo aiemmin mainittu 100 A kulutus ei ole vakio, vaan siinä tapahtuu vaihtelua ja siitä syystä hetkellinen virrankulutus voi ylittää 250 A. Voidaan siis todeta, että näiden kompressoritestien aikana sähköverkko on siis nykyisellään juuri ja juuri riittävä testien suorittamiseen. Vaaditun hydraulisen tehon ollessa 82 kW, vaadittu sähkömoottorin teho on hyötysuhteista ja painehäviöistä johtuen vielä suurempi. Tämä aiheuttaa sen, että on ensimmäisenä selvitettävä käytettävän sähkömoottorin teho ja selvitettävä onko sähköliittymän kasvattaminen välttämätöntä.

#### 5.1.1 Koneikko

Sarhaluoman esisuunnitelmassa käytettäväksi sähkömoottoriksi oli valittu 110 kW 4-napainen sähkömoottori. Tarkastetaan ensin moottorin tehon riittävyys. Lasketaan kaavalla 1 sähkömoottorilta vaadittu akseliteho  $P$ , PTR-120 kompressorin vaatimusten perusteella.

$$P = \frac{Q_v \Delta p}{\eta_t}, \quad (1)$$

jossa  $Q_v$  on pumpun tuottama todellinen tilavuusvirta,  $\Delta p$  pumpun yli oleva paine-ero ja  $\eta_t$  pumpun kokonaishyötysuhde. [9, s. 149] Arvioidaan tässä vaiheessa pumpun kokonaishyötysuhteeksi  $\eta_t = 0,85$  ja järjestelmän kokonaispainehäviöksi 20 baria, jolloin paine-eroksi pumpun yli saadaan  $\Delta p = 320 \text{ bar}$ . Näillä arvoilla vaadituksi sähkömoottorin akselitehoksi saadaan 103,5 kW. Todetaan, että 110 kW sähkömoottori on tähän tarpeeseen riittävä. 110 kW sähkömoottorin nimellisvirta saadaan moottorin datalehdeltä ja se on 193 A. Tarvittava virrankulutuksen kasvu, 75 kW:n sähkömoottoreiden 133 A: iin verrattuna on siis 60 A.

PTR-120 kompressorin vaatimuksista saadaan pumpulta vaadittavaksi tuotoksi noin 165 l/min ja painetasoksi 320 bar, sillä oletuksella, että järjestelmän painehäviöt ovat 20 bar. Kaavalla 2 saadaan laskettua pumpulta vaadittu kierrostilavuus  $V_p$ , kun kierrosnopeus  $n = 1485 \text{ rpm}$ .

$$V_p = \frac{Q}{n\eta_v}, \quad (2)$$

jossa  $Q$  on pumpulta vaadittava tuotto ja  $\eta_v$  pumpun volumetrinen hyötysuhde. [9, s. 144] Oletetaan pumpun kokonaishyötysuhteen  $\eta_t$  olevan 0,85 ja volumetrisen- ja mekaanis-hydraulisen hyötysuhteen olevan yhtä suuret. Kaavasta 3 saadaan johtamalla laskettua volumetrisen hyötysuhteen arvoksi 0,92.

$$\eta_t = \eta_v \eta_{mh}, \quad (3)$$

jossa  $\eta_{mh}$  on pumpun mekaanis-hydraulinen hyötysuhde ja jossa  $\eta_v = \eta_{mh}$ . [9, s. 80] Tämän hyötysuhteen arvolla kaavasta 2 saadaan pumpulta vaadituksi kierrostilavuudeksi noin  $120 \text{ cm}^3/\text{rev}$ . Vaatimuksista voidaan nähdä, että pumpulta vaadittu tuotto vaihtelee hyvin paljon, joten pumpun tulee olla säätötilavuuksinen ja vaaditun painetaso ja tuoton takia valitaan käytettäväksi aksiaalimäntäpumppu. Pumpuksi valitaan Hawen V60N-130 pumppu sen korkean paineenkeston, hyvien säätöominaisuuksien ja hintansa vuoksi. Pumpun kierrostilavuus on  $130 \text{ cm}^3/\text{rev}$ ,

Sähkömoottoria tulisi ajatella momenttilähteenä, joten on siis tarpeellista laskea pumpun vaatima momentti  $M$  kaavalla 4. [9, s. 145; 10]

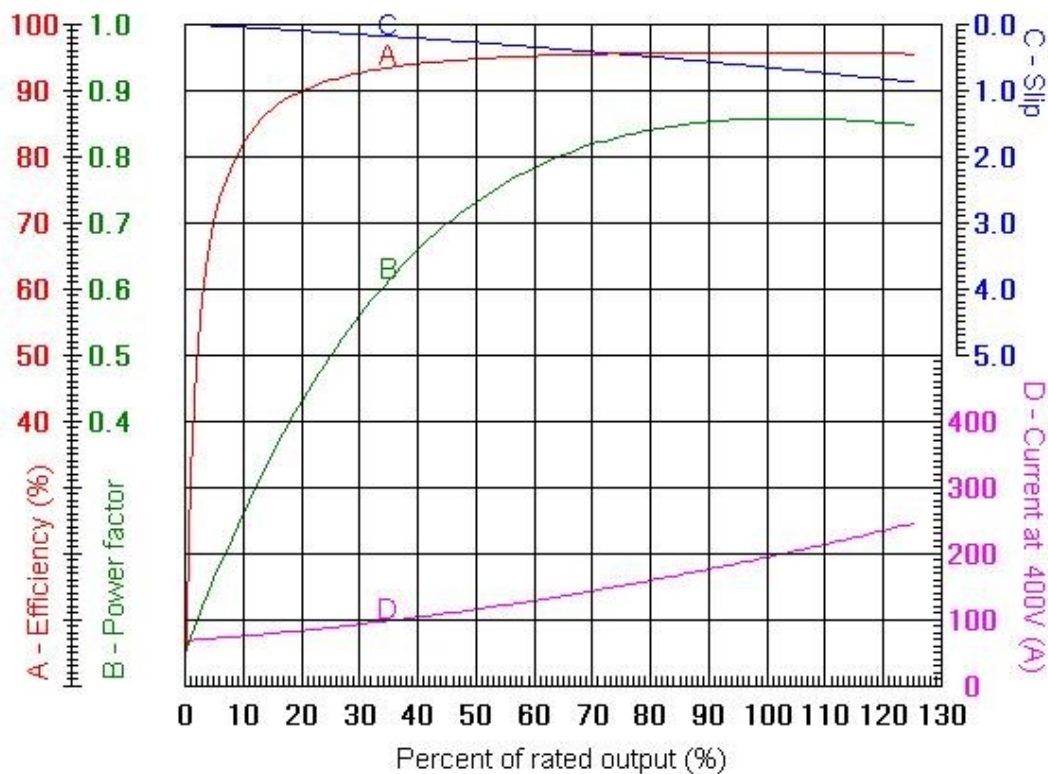
$$M = \frac{V_p \Delta p}{2\pi\eta_{mh}}, \quad (4)$$

Paine-eron ollessa 320 bar ja kierrostilavuuden  $130 \text{ cm}^3/\text{rev}$ , saadaan momentin arvoksi noin 670 Nm. Sähkömoottorin tarvitsema sähkövirta  $I$  voidaan laskea kaavalla 5, momentin arvon ollessa välillä  $0,8 \cdot M_n \leq M_k \leq 0,7 \cdot M_{max}$ . [10] Sähkömoottorin datalehdeltä saadaan arvot pumpun nimellisvääntömomentille  $M_n$  ja

maksimivääntömomentille  $M_{max}$  ja näistä saadaan momenttialueeksi  $566,4 Nm \leq M_k \leq 1189,4 Nm$ . Voidaan todeta kuormamomentin  $M_k = 670 Nm$  olevan tällä välillä ja sähkömoottorin virta  $I$  voidaan siis laskea kaavalla 5.

$$I = \frac{M_k}{M_n} \cdot I_n, \quad (5)$$

jossa  $I_n$  on sähkömoottorin nimellisvirta. [10] PTR-120 kompressorin testissä tarvittavaksi sähkömoottorin virraksi saadaan noin 182 A: a. Todellinen virran tarpeen kasvu 75 kW:n moottoreiden 133 A:n nimellisvirtaan verrattuna on siis noin 50 A: a. Tällä perusteella voidaan todeta, että sähköliittymän kokoa täytyy kasvattaa 250 A:sta ainakin 315 A:iin, jotta PTR-120 kompressoreita voidaan testata.



**Kuva 6. Sähkömoottorin ominaiskäyrät**

Kuvassa 6 on esitetty sähkömoottorin datalehdeltä saatu kuvaaja, josta myös voidaan nähdä sähkövirran suuruus kuorman funktiona. Sähkömoottorin datalehdeltä saadaan tieto, että kuormittamattomana moottorin virrankulutus on 68 A. Tämä, 68 A on moottorin magnetointivirtaa, joka pysyy vakiovoalueella lähes vakiona ja kentänheikennysalueella magnetointivirran suuruus pienenee nopeuteen verrannollisesti. [10] Datalehdten käyrän mukaan nykyisellä sähköliittymällä voitaisiin käyttää kyseistä sähkömoottoria kuormalla, joka on noin 60 - 70 % nimelliskuormasta.



### 5.1.2 Testiosiot

Järjestelmän hydraulikaavio on työn liitteenä 1. Hydraulikaaviosta nähdään, että testiosio koostuu muutamista venttiililohkoista ja niihin liitetyistä venttiileistä. Pumpun painelinja on liitetty valintaventtiililohkoon (pos. 29), johon on asennettu kaksi suuntaventtiilillä (pos. 30 ja 31), joilla ohjataan virtaus halutulle testiosiolle. Venttiilit ovat Argo-Hytoksen Y-karallisia suuntaventtiileitä eli ohjauksettomina venttiilien A ja B kanavat ovat kytkettyinä tankkilinjaan, jotta testiosioiden painelinjoista paine pääsee aina purkautumaan tankkiin. Muilla valmistajilla vastaavasta karasta puhutaan J-karana, kuten esim. Bosch Rexrothilla ja Hydacilla. Valintaventtiilit ovat NS 16 ja 10 nimelliskokojen venttiileitä. Venttiililohkossa on paineenalennusventtiili (pos. 32), jolla rajoitetaan NS 16 koon venttiilin ohjauspainetta. Ohjauspaineen maksimiarvo on 210 baria kun paine testeissä paine voi olla jopa 300 baria. Venttiilien testaukseen ja kompressorien testaukseen vaaditaan noin 165 l/min tilavuusvirta, joten NS 16 venttiiliä käytetään niiden testauksessa. Sylinterien testaukseen ei tarvita näin suurta tilavuusvirtaa, joten niiden testaukseen riittää NS 10 venttiili, jonka maksimiläpäisyksi valmistajan datalehdeltä saadaan 140 l/min. Sylinterien testauksessa ei näin suurta virtausta luultavasti koskaan tarvita, mutta järjestelmässä voi olla tarpeellista testata muitakin laitteita, kuten esimerkiksi hydraulimoottoreita ja ne voidaan testata liittämällä ne sylinterien mittauksen pikaliittimiin.

Venttiilien testausta varten järjestelmässä on NS 16 nimelliskoon asennuslaatta (pos. 31), joka on normaalisti peitettyä NS 16 nimelliskoon peitelevyllä. NS 16 venttiilit voidaan asentaa tämän peitelevyn tilalle ja koekäyttöpaikalla on myös adapterilevyjä, NS 10 ja NS 6 nimelliskokojen venttiileitä ja servoventtiileitä varten. Venttiilien testausaseman läheisyydessä on hydrauliiikkalohko (pos. 34), jossa on kolme painelähetintä PT1-3 ja kolme mittausliitäntää painemittareita varten. Pinalähettimillä saadaan selville testattavan venttiilin yli oleva paine-ero testipöytäkirjaa varten. Asennuslaatan A ja B kanavat on liitetty kahteen pallohanaan (pos. 26.2 ja 27.2) joiden avulla voidaan yhdistää kanavat A ja B toisiinsa tai sitten liittää molemmat kanavat sylinterin (pos. 54) eri kammioihin. Asennuslaatan A-kanavaan on liitetty virransäätöventtiili (pos. 28.2), jolla virtausta voidaan kuristaa ja painetta nostaa, kun A ja B kanavat on yhdistetty toisiinsa. Kun virtaus ohjataan sylinterille, ei virransäätöventtiilin kautta kulje virtausta.

Kompressorien testaus tehdään liittämällä testattavan kompressorin paine-, tankki- ja vuotolinjat kompressorien testauksen pikaliittimiin (pos. 52.1, 52.2 & 53.1) Kompressorin paineilmalinja kytketään paineilman mittauspisteeseen, jossa on lämpötila-, virtaus- ja painelähetimet TT2, FT2 ja PT7. Paineilman mittauspisteen jälkeen paineilmalinjassa on palloventtiili (pos. 44) jota säätämällä kompressoria kuormitetaan ja testi suoritetaan.



Sylinterien testaus tehdään venttiililohkolla (pos. 35), jossa on kiinni NS 10 koon proportionaalisuuntaventtiili (pos. 36). A ja B kanaviin liitetään suodattimet (pos. 37), sillä testattavat sylinterit voivat olla hyvin likaisia ja niistä irtoavaa likaa ei haluta päästää muuhun järjestelmään. Venttiililohkossa on neljä vastaventtiiliä (pos. 8) joiden avulla saadaan suodatettua vain sylintereiltä palaavaa öljyä. Sylinteri liitetään sylinterientestauksen pikaliittimiin (pos. 53.2 & 53.3) ja avataan pallohanat (pos. 27.3 & 27.4).

Järjestelmässä on erillinen sivukiertopiiri, jossa öljyä puhdistetaan ja tarvittaessa jäähdytetään. Sivukiertopiirissä tarvitaan jäähdytintä varten 50 l/min tilavuusvirta, joka tuotetaan MFZP-2/2.1/P/90/40/RV10/1.5/400–50 siipipumpulla ja 1,5 kW:n 4-napaisella sähkömoottorilla (pos. 16). Sivukiertopiirissä on myös CS-1000 hiukkaslaskuri (pos. 20), jolla saadaan pöytäkirjaan tieto testissä käytetyn öljyn puhtaudesta. Laskurin läpäisemä virtaus tulee datalehden mukaan olla välillä 30–500 ml/min, joten sille tulevaa virtausta täytyy kuristaa painekompensoidulla virransäätöventtiilillä (pos. 19). Venttiilin datalehdeltä saadaan tieto, että sen yli oleva paine-ero noin 400 ml/min virtauksella on noin 7 bar ja pumpun sisäinen painerajaventtiili avautuu paineessa 10 bar. Tästä syystä sivukiertopiirissä oleva painerajaventtiili (pos. 21) tulee säätää arvoon, joka on välillä 7-9 bar, jotta virtaus saadaan kulkemaan myös hiukkaslaskurin kautta. Sivukiertopiirissä on myös suodatin (pos. 23) ja jäähdytin (pos. 22).

### **5.1.3 Suodatus, jäähdytys ja säiliö**

Järjestelmässä on käytössä proportionaaliventtiileitä ja sillä on myös tarkoitus testata servoventtiileitä ja näiden vaatimukset öljyn puhtaudelle ovat tiukemmat, kuin tavallisten on/off venttiilien. Taulukossa 4 on esitetty Hydacin suositukset eri komponenttien kanssa käytettävistä puhtausluokista.



Suodattimina käytetään Hydacin suodattimia ja kuvassa 8 nähdään Hydacin suositukset suodatustarkkuudelle vaaditun puhtausluokan mukaan. Kuvasta 8 nähdään, että aiemmin määritelty puhtausluokka sijoittuu välille 12/9/6 – 17/14/11, joten tarvitaan vähintään 5 µm suodattimet. 5 µm suodattimilla tarkoitetaan suodattimia joilla suodattimen betaluku  $\beta_5 \geq 200$ , eli suodatin poistaa vähintään 99,5 % yli 5µm kokoisista hiukkasista. [11] Valitaan suodattimien suodatustarkkuus 5µm kaikkiin muihin suodattimiin paitsi sivukiertosuodattimeen, johon valitaan 3µm suodatin. Testijärjestelmä on suuri investointi ja tällä ratkaisulla pyritään pidentämään sen käyttöikä ja lisäksi tämän kokoisten 3 µm ja 5 µm suodattimen hintaero on mitätön.

Hydacin suositusten mukaan puhtaan suodattimen yli oleva paine-ero tulisi olla maksimissaan 20 % tukkeutumisindekattorin arvosta. [11] Painesuodattimilla indikaattorin kytketympaine-ero on 5 bar ja paluusuodattimilla 2 bar. Näistä mitoitusta varten saadaan painesuodattimille arvot max. 1 bar ja paluusuodattimille max. 0,4 bar. Valitaan käytettävät suodattimet käyttäen avuksi Hydacin Filter-IT sovellusta, joka laskee järjestelmän tietojen pohjalta suodattimen yli olevan paine-eron. Järjestelmän pääpainesuodattimeksi valitaan DF ON 500 5µm korkeapainesuodatin, Paluusuodattimeksi valitaan säiliön kannelle asennettava RFM ON 661 5µm paluusuodatin. Sivukiertosuodattimeksi valitaan LPF ON 240 3µm matalapainesuodatin. Sylinterien testaukseen valitaan suodattimiksi DF ON 240 5µm suodattimet. Tukkeutumisindekattorit kaikkiin suodattimiin valitaan sähköisiksi, jotta niistä saadaan indikoinnit käyttöliittymään. Taulukossa 5 on esitetty valittujen suodattimien painehäviöt.

***Taulukko 5. Valittujen suodattimien painehäviöt***

	<b>Δp tot [bar]</b>	<b>Δp element [bar]</b>
<b>DF ON 500 T F 5 C 1.0 /-B6</b>	0,587	0,498
<b>RFM ON 661 B M 5 C 1.0</b>	0,308	0,291
<b>LPF ON 240 G E 3 C 1.2</b>	0,519	0,503
<b>DF ON 280 T E 5 C1.1 /-B6</b>	0,855	0,779

Valituissa suodattimissa on kaikissa ohitusventtiilit, vaikka esimerkiksi sylinterien suodattimilta ei haluta päästää likaa järjestelmään. Ohitusventtiileillä varustetut suodattimet ja suodatinpatruunat ovat huomattavasti halvempia kuin mallit ilman ohitusta, sillä niiden tulee kestää vain 20 baria paine-ero suodattimen yli, kun ilman ohitusta olevien suodatinelementtien tulee kestää jopa 210 barin paine-ero. Tähän ratkaisuun päädyttiin sillä, järjestelmä ei ole käynnissä jatkuvasti vaan sitä käytetään satunnaisesti ja ennen ohitusventtiilin avautumista indikaattorilta saadaan ilmoitus käyttöliittymään, jonka jälkeen suodatinpatruuna on ennen seuraavan testin aloittamista vaihdettava.

Paineteholla yleisesti käytössä ollut hydraulioöljy on Teboil Larita 46. Täytyy selvittää voidaanko myös koekäyttöpaikalla käyttää kyseistä öljyä. Taulukossa 6 on esitetty järjestelmän komponenttien datalehdiltä kerätyt lämpötilan maksimiarvot ja viskositeetin minimiarvot.

**Taulukko 6. Komponenttien viskositeetti- ja lämpötilarajat**

Komponentti	Viskositeetti [mm <sup>2</sup> /s]	Lämpötila [°C]
Imuventtiili	-	120
Pumppu	10	80
Painepropo	-	120
Vastaventtiilit	7,4	100
Paineraja	7,4	100
Suodatin DF	-	100
Suodatin RFM	-	100
Apupumppu	10	80
Virransäätö SR	7,4	100
CS1000	1	85
Suunta NS10	-	80
Suunta NS16	-	80
Suuntapropo	-	80
Palloventtiilit	-	80
Lämpölähetin	-	125
Virtauslähetin	1	90
Painelähetin	-	100
Virransäätö DV	2,7	100

Taulukosta 6 nähdään, että järjestelmän öljyn maksimilämpötilaksi saadaan 80 °C ja minimi viskositeetin arvoksi 10 mm<sup>2</sup>/s. Teboil Larita 46 öljylle on annettu viskositeetin arvot kahdessa pisteessä: 40 °C:ssa 46 mm<sup>2</sup>/s ja 100 °C:ssa 6,9 mm<sup>2</sup>/s. Kun tiedetään öljyn viskositeetti kahdessa lämpötilassa, voidaan laskea viskositeetti kolmannessa lämpötilassa ASTM D 341–43 mukaan kaavalla 6.

$$v_3 = e^{\phi} - 0,7, \quad (6)$$

josta eksponentti  $\phi$  saadaan laskettua kaavasta 7.

$$\phi = e^Y, \quad (7)$$

josta edelleen eksponentti saadaan laskettua kaavasta 8

$$Y = Y_1 - \left( \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \right) * (X_1 - X_3), \quad (8)$$

jossa edelleen

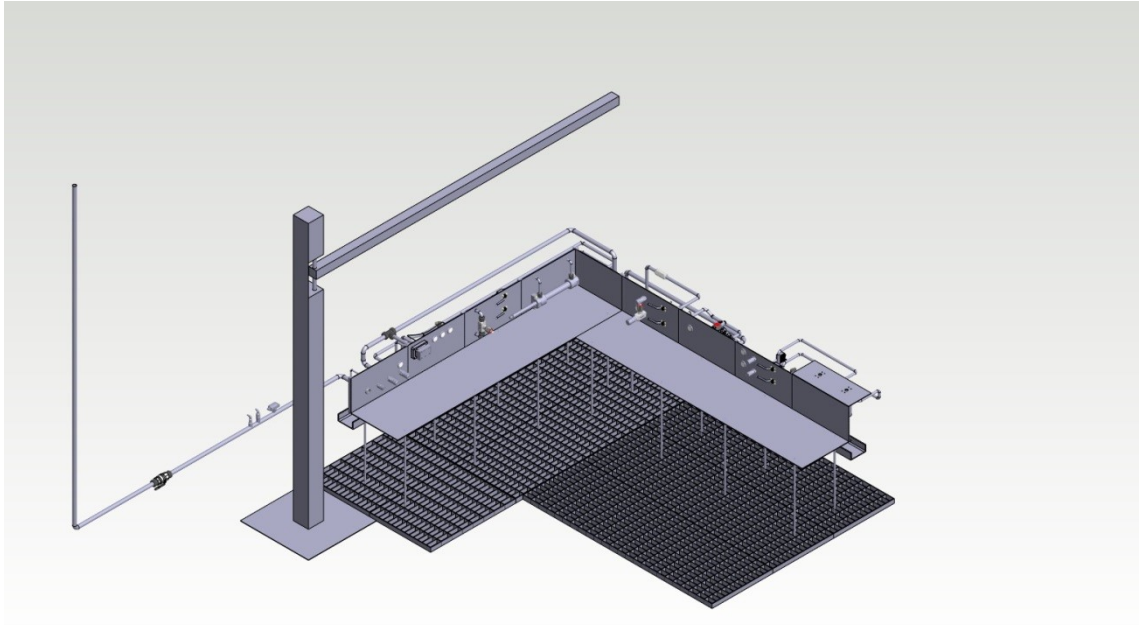
$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \ln(\ln(v_1 + 0,7)) \\
 Y_2 &= \ln(\ln(v_2 + 0,7)) \\
 X_1 &= \ln(\theta_1) \\
 X_2 &= \ln(\theta_2) \\
 X_3 &= \theta_3,
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

jossa  $v_1$  on öljyn kinemaattinen viskositeetti lämpötilassa  $\theta_1$ ,  $v_2$  on öljyn kinemaattinen viskositeetti lämpötilassa  $\theta_2$  ja  $\theta_3$  on lämpötila, josta viskositeetti halutaan selvittää. [9] , s. 121–122] Kaavasta 6 saadaan laskettua öljyn viskositeetiksi 80 °C:ssa 11,6 mm<sup>2</sup>/s. Tämän perusteella kyseinen öljy sopii käytettäväksi järjestelmässä öljyn maksimilämpötilan ollessa 80 °C.

Sarhaluoman tekemien laskelmien perusteella järjestelmän keskimääräinen häviöteho on 10,6 kW ja suurin häviöteho noin 60 kW. Suurin häviöteho tapahtuu NS 16-kokoluokan venttiilien testauksessa ja testin kestoksi arvioidaan noin 15 min. [12] Tuotantotiloissa on koekäyttöpaikkaa varten varattu puhallin, joka sopii suoraan AKG:n T7 jäähdyttimeen, joita yrityksessä käytetään muutenkin paljon ja niitä saadaan hankittua kohtuulliseen hintaan. T7 jäähdyttimen datalehdeltä saadaan selville sen jäähdytysteho, joka on 32 kW, 30 °C ympäristön lämpötilassa. Tällä jäähdyttimellä NS 16 nimelliskoon venttiiliä pystyttäisiin testaamaan yli 30 minuuttia, ennen kuin öljyn lämpötila nousisi yli 80 °C:een. Tämän perusteella voidaan todeta, että tämä AKG:n T7 jäähdytin on riittävä järjestelmän jäähdyttimeksi. Jäähdytin sijoitetaan huoneen seinälle koneikon yläpuolelle lähelle kattoa.

## 5.2 Mekaniikkasuunnittelu

Mekaniikkasuunnittelu sisältää tässä työssä koekäyttöpaikalla käytettävien työtasojen, öljynkeräysosien, koneikon teräsrungon ja säiliön sekä venttiililohkojen suunnittelun. Työn edetessä ilmeni, että yrityksessä on jo aiemmin lähdetty suunnittelemaan koekäyttöpaikan uudistamista ja tähän tarkoitukseen tarvittavat pöydät ja öljynkeräysastiat löytyvät osittain valmiina tuotantotiloista. Kuvassa 9 on esitetty testihuoneen pöydät ja valuma-altaat.

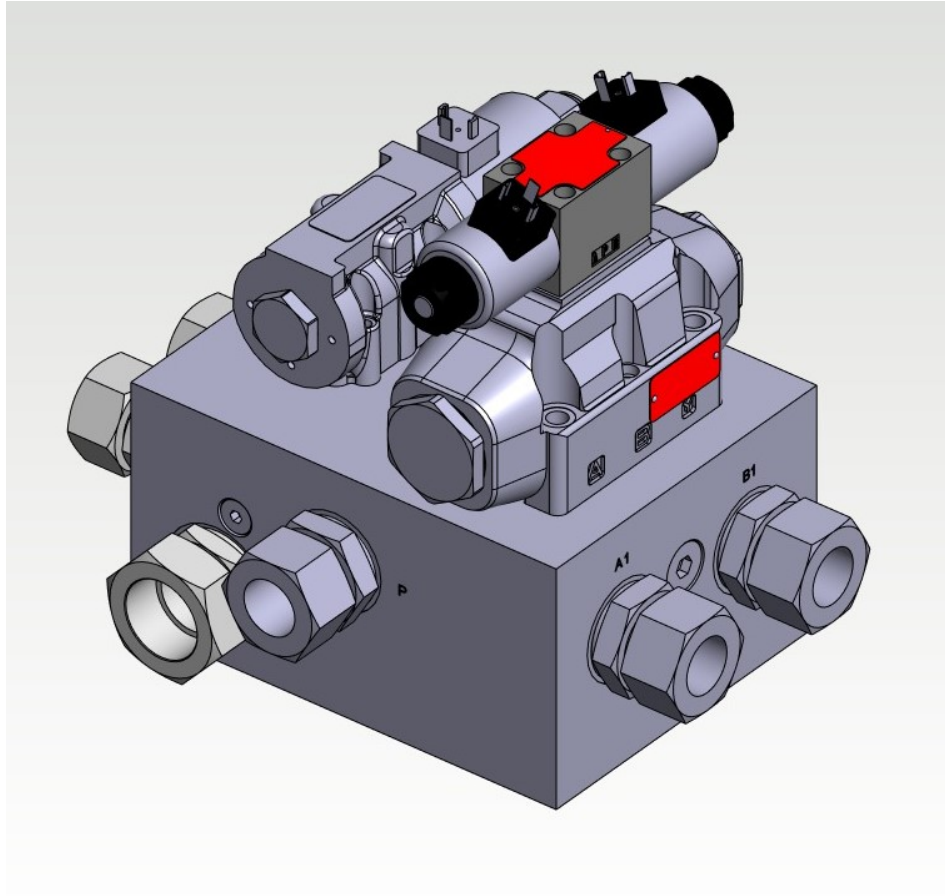


**Kuva 9. Testihuone**

Testipöydät ovat tehty putkirungosta ja niiden päällä on teräslevyä. Pöytätaaso viistää kohti pöydän takareunaa, jotta pöydälle tippuva öljy valuisi pöytätaaso pitkin kohti takareunaa. Pöydän takareunan alle tehdään metalliset kourut, joihin valuva öljy päätyy. Näihin kouruihin asennetaan tyhjennysmuhvit, jotka voidaan avata tyhjennystä varten tai sitten kouruihin kiinnitetään letkut, joista öljy valuu suoraan valutusastiaan. Pöydissä on hitsattuna pystyyn terästankoja, joihin kiinnitetään pystysuuntaiset teräslevyt. Näiden teräslevyjen tarkoitus on peittää mahdollisimman suuri osa hydraulikan komponenteista ja liitoksista, jotta järjestelmän käyttö olisi mahdollisimman turvallista. Pystysuuntaiset teräslevyt ovat helposti irrotettavissa, jotta niiden takana oleviin komponentteihin ja putkituksiin olisi kuitenkin helppo päästä käsiksi huoltoa varten. Teräslevyihin kiinnitetään pikaliittimet, jotta laitteiden ja komponenttien kiinnittäminen järjestelmään olisi mahdollisimman vaivatonta. Sylinterien testausosion suodattimet on sijoitettu testihuoneeseen ja ne kiinnitetään, kuten kuvasta 9 oikealla nähdään, vaakasuuntaiseen teräslevyyn. Näiden suodattimien suodatinelementtien vaihtaminen onnistuu helposti, kun irrotetaan suodattimien edessä oleva pystysuuntainen teräslevy.

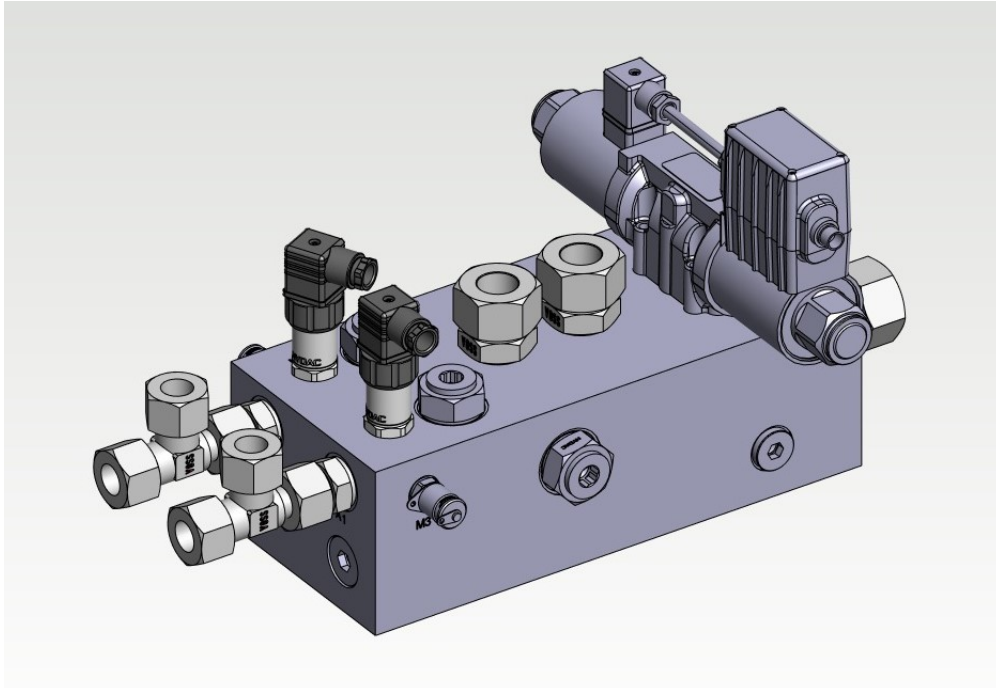
Vuotoallas tulee huoneeseen pöytien alle ja sen tekemiseen käytetään varastossa ylimääräiseksi jääneitä robottihyllykön hyllyjä, joiden sisälle sijoitetaan metalliritilät. Robottihyllykön hyllyt ovat mitoiltaan 2500x800 mm. Metalliritilöihin tehdään leikkauksia siten, että jokaisesta valuma-altaan palasta voidaan poistaa osa ritilää tyhjentämistä varten.

Järjestelmässä on kaksi suurempaa venttiililohkoa, valintaventtiili- ja sylinterien testauslohko, ja lisäksi kolme pienempää lohkoa. Kaikki lohkot suunniteltiin ja valmistettiin itse.



***Kuva 10. Valintaventtiililohko***

Kuvan 10 valintaventtiililohkossa nähdään asennettuna NS 10 ja NS 16 nimelliskokojen suuntaventtiilit. Lohkossa on myös paineenalennin NS 16 venttiin ohjauspaineelle. Tähän lohkoon tuodaan koneikolta paine- ja tankkilinjat. Paineinjassa ennen valintaventtiiliä on hydraulikan mittauspiste. Valintaventtiililohkosta on lähdöt sylinterien testaukselle, kompressorien testaukselle ja venttiilien testaukselle.

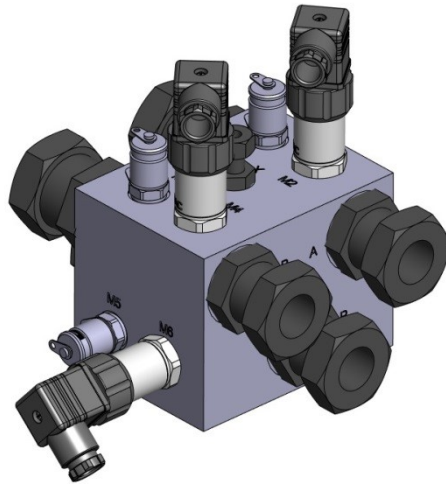


***Kuva 11. Sylinterien testauslohko***

Kuvan 11 sylinterien testauslohkossa nähdään asennettuna NS10 nimelliskoon proportionaaliventtiili, jolla testattavia sylintereitä tullaan ohjaamaan. Tässä lohkoissa on liitännät paine- ja tankkilinjalle ja lähtöliitännät A1, B1, A2 ja B2. Tässä lohkoissa proportionaaliventtiilin A ja B kanavat on molemmat yhdistetty kahteen vastaventtiiliin, joilla ohjataan ainoastaan sylinteriltä palaava öljy suodattimille. Lisäksi lohkoissa on 2 painelähetintä ja 2 mittausliitäntää painemittareille, joilla saadaan selville sylinterin kammioissa vallitsevat paineet.



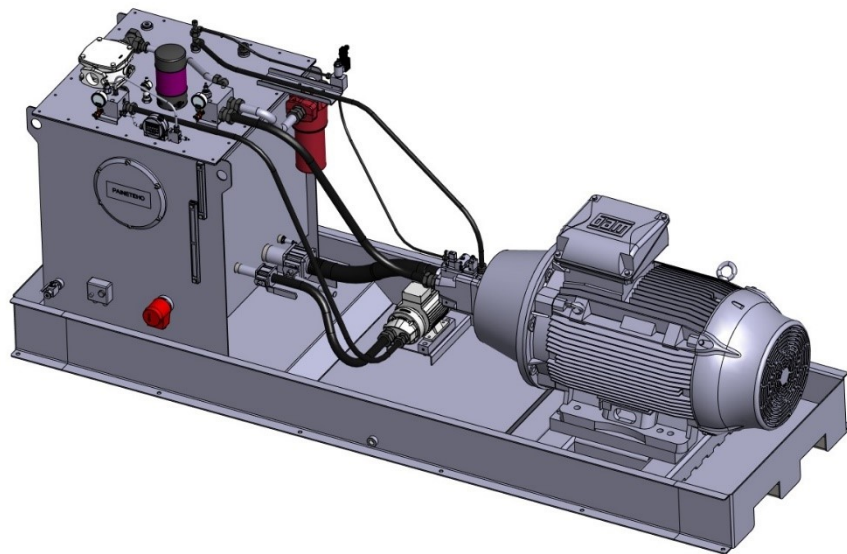
Venttiilien testauksen painelinjassa on lisäksi lohko, johon saadaan liitettyä venttiilien testauksessa tarvittavat painelähtetimet ja –mittarit. Paineenmittauslohko on esitetty kuvassa 12.



***Kuva 12. Mittauslohko***

Kuvan 12 mittauslohkossa on poraukset lohkon läpi painelinjalle ja A ja B linjoille. Näihin linjoihin on tehty lisäksi poraukset, joihin saadaan liitettyä painelähtetimet ja painemittarit. Lisäksi painelinjaan on tehty poraus X-kanavalle eli siitä saadaan testattavalle venttiilille ulkoinen ohjauspaine. Mittauslohkon lisääminen järjestelmään on huomattavasti yksinkertaisempi tapa saada linjoista mittaukset tehtyä kuin lisätä jokaiseen linjaan omat liittimensä kaikille painemittauksille. Lisäksi lohko toimii putkituksien kiinnityspisteenä, jolloin ylimääräistä kannakointia ei tarvitse tehdä.

Lisäksi koneikossa on kaksi pientä lohko, joilla suojataan pumppuja. Näihin lohkoihin on asennettu paineraja- ja vastaventtiilit ja lisäksi niissä on liitännät painemittareilla. Apupumpun lohkossa on myös kanava hiukkaslaskuria varten.



**Kuva 13. Koneikko**

Kuvassa 13 on esitetty koneikon 3D-malli. Koneikko koostuu sähkömoottoreista, pumpuista ja säiliöstä ja nämä asennetaan erilliseen valuma-altaaseen. Valuma-altaan tilavuus on tarpeeksi suuri, jolloin koko säiliön sisältö mahtuu siihen, eikä esimerkiksi vuototilanteessa öljyä pääse valumaan lattialle. Säiliön kanteen on asennettu paluusuodatin, huohotin, pumppujen venttiililohkot, hiukkaslaskuri ja pinnantasolähetin. Säiliön kylkiin on asennettu jäähdyttimen ja lämmittimen termostaatit, kaksi pallohanaa pumppujen imulinjoja varten ja yksi säiliön tyhjennystä varten, lämpötilalähetin, kaksi mittalasia ja huoltoluukku. Valuma-altaan alla on molemmissa päissä hahlot, jotta koneikkoa voidaan siirtää pumppukärryillä.

### 5.3 Sähkö- ja automaatio suunnittelu

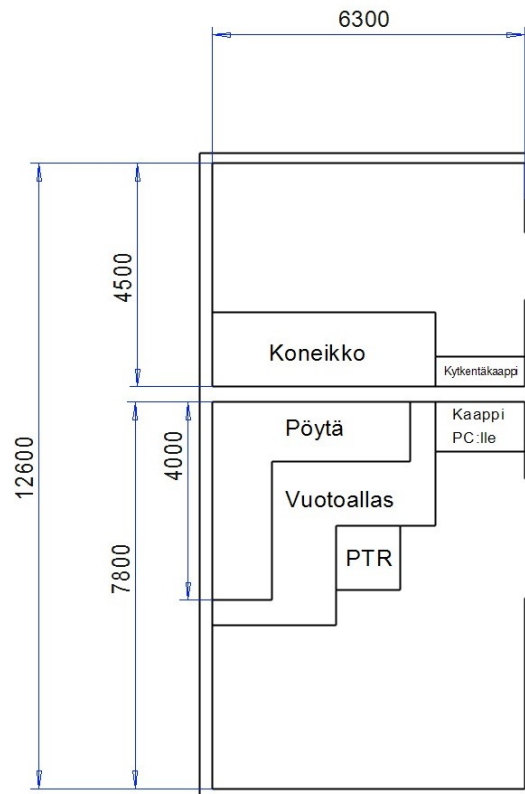
Automaatio suunnittelua en tässä työssä tehnyt itse, vaan määrittelin ohjausjärjestelmälle ja anturitiedon käsittelylle vaatimukset, joiden pohjalta työ annettiin ulkopuolisen, automaatiojärjestelmiä suunnittelevan yrityksen tehtäväksi. Automaatio suunnittelua varten lähetin yrityksille päivitetyn toimintakuvauksen ja taulukoin venttiilit ja ohjaussignaalit sekä anturit ja niiden viestit. Myös anturidatalle tehtävä käsittely on käyty läpi tässä dokumentissa. Tämä dokumentti on kokonaisuudessaan tämän työn liitteenä 2.

Alkuperäiseen suunnitelmaan ei sisällynyt järjestelmän pehmokäynnistimen ohjaus, mutta ohjausjärjestelmän suunnittelun aikana pehmokäynnistimen ohjaus päätettiin lisätä samaan ohjausjärjestelmään. Pehmokäynnistimessä on Profibus liitäntä, jolla se saadaan liitettyä ohjausjärjestelmään. Pehmokäynnistimeltä saadaan myös tieto kaikkien

kolmen vaiheen virtatiedot pöytäkirjaa varten, joten erillistä virtalähetintä ei tarvitse tästä syystä enää hankkia. Pehmokäynnistimen kanssa samaan kaappiin sijoitetaan kaksi kytkintä: toinen 110 kW sähkömoottoria varten ja toinen pienempiä 75 kW ja 55 kW sähkömoottoreita varten. 110 kW kytkin on liitetty pysyvästi koekäyttöpaikan omaan sähkömoottoriin ja pienempi 75 kW kytkin on liitetty 125 A:n pistotulppaan johon liitetään testattavat sähkökäyttöiset kompressorit. Näitä kytkimiä ohjataan logiikan avulla käyttöliittymästä.

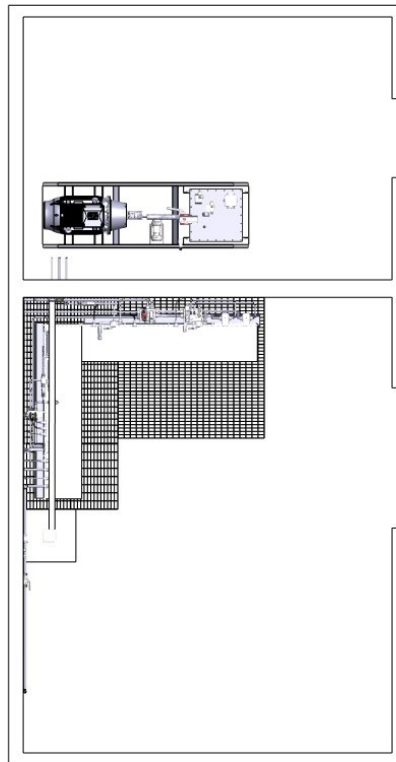
## 5.4 Layout-suunnittelu

Koekäyttöpaikalle on varattu tilaa kahden huoneen verran. Kuten jo Sarhaluoman esisuunnitelmassa, toiseen huoneeseen sijoitetaan järjestelmän koneikko ja toiseen työpöydät ja muu mittauslaitteisto. Koneikkohuoneessa ei ole tarvetta tehdä muita toimia, kuin koneikolle tarvittavat huoltotoimenpiteet. Kaikki testaukseen liittyvät toimenpiteet tehdään testihuoneessa. Huoneiden välissä on seinä, josta tuodaan koneikolta putket läpi testiosioille. Syy tälle jaottelulle on siinä, että testihuoneeseen kantautuisi mahdollisimman vähän koneikosta lähtevää melua. Näin testattavista kompressoreista saataisiin mitattua äänitasot, ilman koneikosta aiheutuvaa häiriötä. Kuvassa 14 nähdään koekäyttöpaikalle varattujen tilojen mitat ja alustava layout.



*Kuva 14. Koekäyttöpaikan alustava layout*

Pöydät on tarkoitus sijoittaa koneikkohuoneen puoleiselle seinälle kulmaan, jotta tarvittavien putkitusten pituus saadaan mahdollisimman lyhyeksi. Pöytien alla on vuotoallas, johon testikomponenttien kiinnityksistä ja irrottamisista vuotava öljy jää talteen. Vuotoallasta ei tarvita PTR-kompressorien alle, sillä niistä vuotava öljy ei ole ongelma. Ainoastaan kompressorien pikaliitinten irrottamisesta voi roiskua öljyä ja siksi kompressorit tuodaan vuotoaltaan reunalle, jotta letkujen öljyroiskeet saadaan valutettua altaaseen. Testihuoneen oven vieressä on nykyisellään sähkökaappi, josta suoritetaan sähkökäyttöisten kompressorien ja koneikkojen koeajot. Testihuoneen oven viereiseen kulmaan sijoitetaan tietokone, josta koekäyttöpaikkaa on tarkoitus käyttää. Testilaitteiston ohjausjärjestelmää varten koneikkohuoneeseen sijoitetaan kytkentäkaappi johon, kaikki ohjausjärjestelmän ohjainkortit ja logiikka sijoitetaan.



***Kuva 15. Koekäyttöpaikan layout***

Kuvassa 15 on esitetty koneikon, työpöytien ja valuma-altaan tarkempi sijoitus. Lisäksi alkuperäiseen suunnitelmaan lisättiin testihuoneen takaseinälle pylväsnosturi, jotta raskaita taakkoja voidaan sen avulla liikutella ja nostaa pöydille. Alustavassa layout suunnitelmassa tietokone oli tarkoitus sijoittaa testihuoneen nurkkaan oven viereen, mutta sen todettiin olevan huono ratkaisu, sillä testipaikalta voi varoimenpiteistä huolimatta roiskua öljyä tietokoneen päälle. Tietokone luultavasti sijoitetaan kuvan 15 alareunan seinustalle, sillä sinne jää paljon käyttämätöntä tilaa ja silloin tietokone saadaan sijoitettua mahdollisimman kauaksi hydraulikan testipöydistä.

## 5.5 Turvallisuus

Hydrauliikassa suurin vaara piilee paineistetussa nesteessä. Paine on järjestelmän ulkopuolelle näkymätöntä ja siinä piilevää vaaraa ei monesti tunnusteta. Paineistettuun nesteeseen varastoituu suuri määrä energiaa, joka nopeasti vapautuessaan voi aiheuttaa vakavia seurauksia. Tästä syystä järjestelmän käyttöturvallisuus on erittäin tärkeää ottaa huomioon. Järjestelmän suunnittelua varten tehtiin riskianalyysi, jossa mahdollisia vaaratilanteita, niiden todennäköisyyksiä ja seurauksien vakavuuksia arvioitiin. Taulukossa 7 on esitetty riskianalyysi, jossa riskien vakavuutta on arvioitu ja niihin on mietitty korjaavia toimenpiteitä ja arvioitu riskien vakavuus näiden toimenpiteiden jälkeen.

**Taulukko 7. Riskianalyysi**

Vaara aiheuttava tilanne	Tilanteen syy	Vaara	Seuraukset	TN	Seoraus	Odotusarvo	Toimenpiteet	TN	Seoraus	Odotusarvo
Pistesuihku	Letkurikko	Öljyinjektio	Henkilövahinko	2	3	6	Suojasukat letkulle	1	2	2
Sääliön tyhjeneminen	Vuotojen aiheuttama öljyhäviö. Sylinterien vastimat, suuret tilavuudet	Rikkoutunut pumppu	Laitevaurio	2	2	4	Pinnatasa-lähtetin suojarajalla	1	2	2
Putkiliitoksen tai putken rikkoutuminen	Putkivaurio/virheellinen asennus	Öljysuihku	Henkilövahinko	2	3	6	Suurin osa putkista ja liitoksista suojeleyn takana	2	1	2
Testattavan koneikon sääliön tyhjeneminen	Virheellinen liitäntä	Koneikon rikkoutuminen	Laitevaurio	3	2	6	Paloventtiilit kytketty mekaanisesti toisiinsa. Kahden venttiilin sijaan tulee kääntää vain toinen	2	2	4
Paineenalaisten liitosten purkaminen	Epätietoisuus linjojen paineista	Öljysuihku, kovalla voimalla irtaavat liittimet	Henkilövahinko	2	3	6	Painemittarit paineisiin. Ohjauksettomina venttiilit purkavat paineen linjoista.	1	3	3
Tukkeutuneet suodattimet	Epätietoisuus suodattimien kunnoista	Ohitusventtiilien avautuminen ja epäpuhtauksien kiertäminen järjestelmässä	Laitevaurio	3	2	6	Sähköiset indikaattorit jokaisessa suodattimessa ja ilmoitukset käyttösiirtymään	1	2	2
Öljyn kuumeneminen	Suuret häviöt ja liian pitkät testitajat	Komponenttien hajoaminen liian kuumien öljyn vuoksi, erityisesti tiivistäet	Laitevaurio	3	2	6	Jäähdytys ja lisäksi ylläpidoisuus, joka sammuttaa koneikon rajan ylityksessä	1	2	2
Äkillinen ohjauksen katoaminen	Sähkökatko, vika ohjausjärjestelmässä	Linjat jäävät paineelliseksi ohjauksen kadotessa	Henkilövahinko	2	3	6	Ohjauksettomina venttiilit purkavat paineen paineelinjoista	1	3	3
Öljyrisotteet	Virheelliset asennukset, vialliset komponentit	Öljyä roiskuu asentajien päälle, erityisesti silmiin. Liuksaat lattiat	Henkilövahinko	2	3	6	Suojalasit, työvaatteet, tunkengat	2	1	2

Taulukossa 7 riskien todennäköisyyksiä ja seurauksia on arvioitu asteikolla 1-3, jossa epätodennäköinen ja vähäiset seuraukset saavat arvon 1, mahdolliset ja haitalliset seuraukset arvon 2 ja todennäköiset ja vakavat seuraukset arvon 3.

Hydrauliletkuissa on vaarana se, että niihin tulee valmistusvirheistä tai kulumisesta aiheutuvia pieniä reikiä, joista neste suihkuua korkealla paineella pistemäisenä suihkuna. Tämä öljysuihku voi olla niin pieni, ettei sitä huomaa paljaalla silmällä, mutta jos suihkun eteen asettaa esimerkiksi käden, tunkeutuu öljy ihon läpi kudokseen. Tällöin puhutaan öljyinjektioista. Pienestä reiästä suihkuava korkeapaineinen öljy toimii kuin vesileikkuri ja suihku voi läpäistä paksuakin materiaalia, kuten työkäsineitä ja saappaita. Öljyinjektio on hyvin vaarallinen ilmiö ja voi pahimmillaan johtaa raajojen amputointiin tai jopa kuolemaan, sillä öljy on haitallista ihmisen kudoksille ja se voi aiheuttaa kudoksissa tulehduksia tai kuolion. Öljy ei poistu kudoksesta itsestään, vaan se täytyy aina poistaa leikkauksella. Käytettävä öljy voi myös olla kuumaa ja öljy, jonka

lämpötila on 60 °C voi aiheuttaa toisen asteen palovammoja alle sekunnissa. [13] Testitoimenpiteiden nopeuttamiseksi kaikki testihuoneessa tehtävät liitokset tehdään käyttäen letkuja ja testin suorittajan on välttämätöntä toimia näiden letkujen läheisyydessä, sillä testattaviin laitteisiin tulee tehdä testien aikana säätöjä sekä niitä tulee tarkkailla. Tämä altistaa testaajan mahdolliselle pistesuihkulle. Tätä mahdollisuutta vastaan varaudutaan suojaamalla jokainen testihuoneessa käytettävä letku suojasukilla. Suojasukat vähentävät letkujen mekaanista kulumista vähentäen letkurikkojen todennäköisyyksiä ja ne myös pitävät mahdolliset pistesuihkut sisällään pienentäen myös seurausten vakavuutta.

Putkiliitosten irtoamisesta voi aiheutua öljysuihkuja ja tämä suihkuava öljy voi olla kuumaa. Tämän riskin takia kaikki mahdolliset putkiliitokset tehdään testipöytien suojaseinien taakse. Suojaseinät eivät pienennä tämän tapahtuman todennäköisyyttä, mutta ne pienentävät seurauksien vakavuutta vakavasta vähäiseksi. Öljyroiskeita vastaan varaudutaan myös testaajien henkilökohtaisella suojauksella, suojalaseilla, työvaatteilla ja turvakengillä, joissa on öljynkestävät pohjat.

Testijärjestelmässä testataan sylintereitä ja vaikka alustava mitoitus on tehty siten, että säiliössä on riittävästi öljyä näiden testien suorittamiseen, voi järjestelmän öljymäärä ajan myötä vähentyä merkittävästi. Järjestelmän säiliöön lisätään pinnantaso-lähetin, jonka suojaraja estää pumpun käyttämisen kuivana. Tällä pienennetään merkittävästi tapahtuman todennäköisyyttä.

Järjestelmällä on tarkoitus testata myös koneikoita, jotka liitetään järjestelmän mittauspisteeseen ja tämän testin suorittamiseksi käyttäjän tulee huolehtia kahden pallohanan oikeasta asennosta. Kytkemällä näiden pallohanojen kahvat toisiinsa pienennetään todennäköisyyttä, että käyttäjä ei muista tai huomaa kääntää molempia hanoja oikeisiin asentoihinsa, sillä nyt riittää, että vain toisen hanan kahvaa käännetään.

Järjestelmän eri osioihin on testeistä riippuen liitettävä erilaisia testattavia laitteita. Testien jälkeen nämä liitokset tulee purkaa ja voi olla mahdollista, että nämä liitokset jäävät paineenalaisiksi. Tästä syystä järjestelmän venttiilit valittiin siten, että ohjauksettomina ne purkavat paineen järjestelmän eri osista. Tällä suojaudutaan myös esimerkiksi sähkökatkojen varalle. Voi silti olla mahdollista, että jokin järjestelmän osa jää paineelliseksi esimerkiksi vikatilanteessa. Tästä syystä järjestelmän kaikkiin osiin, joihin liitoksia tehdään, sijoitetaan painemittarit, jotta ennen liitosten purkamista voidaan vielä varmistua kyseisen liitoksen paineettomuudesta. Näillä toimilla pienennetään merkittävästi tämän tapahtuman todennäköisyyttä.

Järjestelmässä on suodattimia ja erityisesti sylinterien testauksen suodattimet voivat kerätä paljon likaa. Suodattimet on varustettu ohivirtausventtiileillä ja jos suodatin tukkeutuu, lika pääsee tämän ohituksen kautta järjestelmään. Tämän takia kaikki suodattimet varustetaan sähköisillä indikaattoreilla, joista ilmoitukset saadaan suoraan

käyttöliittymään. Suodattimet olisi myös voitu valita ilman näitä ohitusventtiileitä, mutta niiden kustannukset olisivat olleet huomattavasti korkeammat ja todettiin, että tämä indikointi on riittävä tämän tapahtuman todennäköisyyden pienentämiseksi.

Kuten aiemmin esitettiin jäähdytyksen mitoituksessa, testijärjestelmässä voi tapahtua suuria häviöitä, jotka muuttuvat lämmöksi. Järjestelmälle on komponenttien datalehtien perusteella määritetty maksimilämpötilaksi 80 °C. Jos testejä jostain syystä jatketaan mitoitettua aikaa pidempään, voi öljyn lämpötila ylittää tämän. Tämän takia järjestelmä varustetaan yllilämpösuojalla, joka sammuttaa pääpumpun, mutta pitää jäähdytyskierron vielä päällä. Yllilämpösuoja poistaa todennäköisyyden, että järjestelmää käytetään liian kuumalla öljyllä ja siten pienentää riskiä, että järjestelmän komponentit hajoaisivat lämpötilan johdosta.

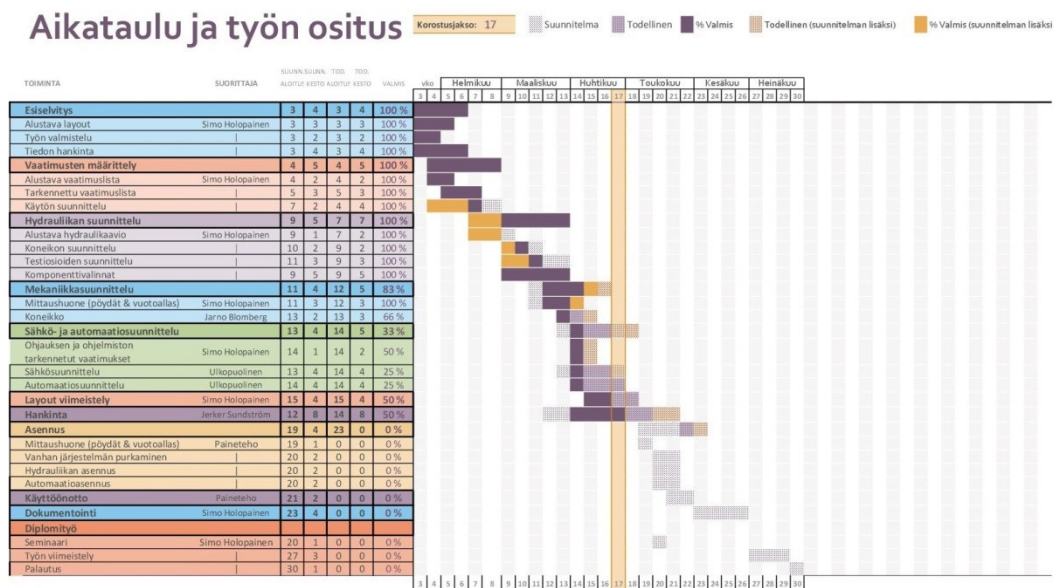
Hydrauliöljy ei ole ympäristöystävällistä, joten sen pääseminen ympäristöön tulee minimoida. Tätä varten testipaikalle on tehty valuma-allas, jolla pyritään keräämään mahdollinen vuotava öljy. Tämä vuotoöljy on jäteöljyä ja se hävitetään asianmukaisesti. Testi- ja koneikkohuoneeseen on sijoitettu öljyn imeytykseen tarkoitettuja paksuja öljynimeytysmattoja, joilla öljyroiskeet, jotka eivät päädy valuma-altaaseen, voidaan siivota lattialta. Nämä imeytysmatot luokitellaan käytettyinä öljyiseksi jätteeksi ja ne hävitetään asianmukaisella tavalla.

Taulukosta 7 nähdään, että riskien arvoa saadaan jokaisessa tilanteessa pienennettyä kyseisillä toimenpiteillä sallittavalle tasolle. Riskit joiden arvoksi jää >4 voidaan kuitenkin vielä pitää merkittävinä ja niihin voidaan edelleen vaikuttaa käyttöhenkilökunnan koulutuksella ja käytönopastuksella. Esimerkiksi koneikoiden testauksessa on erityisen tärkeää, että testiä suorittava henkilö muistaa kääntää pallohanat oikeaan asentoonsa ja, että suodattimet vaihdetaan heti kun niistä saadaan indikoinnit käyttöliittymään.

## 6. PROJEKTIANALYYSI

Tässä luvussa analysoin diplomityöprojektini toteuttamista ja onnistumista viitaten myös luvussa 2 esiteltyjen projektinhallinnan toimintatapoihin ja työkaluihin viitaten.

Työn alkuvaiheessa, jo ensimmäisillä viikoilla, tein ohjaajani Mikko Suhosen avustamana aikataulun, jota projektin toteutuksessa noudatettiin. Kuvassa 16 on esitetty tämä aikataulu Gantt-kaaviona, johon on myös sisällytetty luvussa 2 esiteltyt työn ositus ja resurssien hallinta. Koko projekti on jaettu pienempiin osatöihin, joista osa on jaettu vielä pienempiin osioihin. Jaottelulla osioiden hallittavuus paranee sekä niiden etenemistä on helpompi seurata. Lisäksi jokaisen osatyön vastuuhenkilö tai organisaatio on kirjattu taulukkoon.



**Kuva 16. Diplomityöaikataulu ja työn ositus**

Kuvan 16 aikataulussa jokaiselle työvaiheelle on ilmoitettu suunniteltu aloitusviikko ja sen suunniteltu kesto viikkoina. Lisäksi, kun kyseinen vaihe saadaan suoritettua, merkataan sille todellinen aloitusaika ja todellinen kesto. Tästä saadaan Gantt-kaavioon visuaaliset merkinnät siitä, mitkä työvaiheet on suoritettu ja mitä työvaiheita on suunnitelman mukaan tehtävä tulevana viikkoina. Kuvasta 16 nähdään myös, että työ on pysynyt hyvin aikataulussa ensimmäiset kaksi kuukautta ja joissain työvaiheissa on oltu jopa hieman aikataulua edellä. Tämän jälkeen huomataan, että sähkö- ja automaatio-suunnittelun ja hankintojen kohdalla aikataulusta jäätin jälkeä. Kaavion ”suorittaja” sarakkeesta nähdään, että ensimmäisten kahden kuukauden työvaiheet olivat täysin riippuvaisia minusta itsestäni ja työni oli hyvin itsenäistä ja sain pitää itse



yllä tahtia, jolla projektia vein eteenpäin. Projektin alkuvaiheissa pidimme ohjaajani kanssa viikoittain palaverin, jossa kävimme läpi edellisen viikon tuloksia ja pohdimme tavoitteita kyseiselle viikolle. Tämä oli mielestäni erittäin hyvä tapa pitää projekti aikataulussa, ainakin oman työni osalta ja jatkoin samaa ”viikkosuunnitelman” tekemistä joka viikko, myös alkuvaiheen jälkeen. Sähkö- ja automaatio suunnittelun ja hankintojen vaiheissa ongelmaksi osoittautui yrityksen ulkopuolisten tahojen kanssa toimiminen. En osannut olettaa tällä olevan aivan niin suurta vaikutusta projektin etenemiseen, kuin sillä loppujen lopuksi oli. Jos olisin osannut varautua paremmin tähän ongelmaan, olisi projekti saattanut pysyä paremmin suunnitellussa aikataulussa. Tätä varten ennen projektin aloittamista olisi ollut hyödyllistä tehdä projektille riskianalyysi, jonka avulla nämä ongelmat olisi voitu huomioida ja niihin olisi voitu varautua esimerkiksi aikaistamalla työvaiheita, jotka kestivät pitkään ja joihin sisältyi paljon ”hyödytöntä” odottamista. Yritysten välinen tiedonkulku ei ole välitöntä, vaan siihen sisältyi paljon vastausten odottamista ja vaihtoehtojen harkitsemista. Ulkopuolisella yrityksellä ei ole selkeää kuvaa siitä, minkälaiseen sovellukseen haluttuja komponentteja tarvitaan ja siksi tarjotut ratkaisut eivät välttämättä suoraan sovellu käytettäväksi kyseisessä sovelluksessa, joten tarpeita tuli monesti vielä lisäksi tarkentaa ensimmäisen tarjouksen jälkeen, joka puolestaan lisäsi viivettä.

Toinen viivettä lisäävä asia, johon en osannut varautua, oli komponenttien yhteensopivuuksien tarkastelu. Suurimmassa osassa opintojeni aikaisista harjoitustöistä tällaista toteutuksen mahdollistavaa komponenttien yhteensopivuuksien tarkastelua ei tarvinnut tehdä, vaan komponentit valittiin pelkästään niiden suorituskyvyn perusteella. Esimerkiksi pumpun ja sähkömoottorin väliin tarvittavan kytkimen ja pumpunkannattimen valinta oli odotettua haasteellisempaa. Oletukseni oli, että tällainen osa vain valitaan listasta, mutta tässä projektissa tämä osoittautui yllättävän hankalaksi. Valittu pumppu oli uutta mallia ja kytkinvalmistajalla ei tähän malliin löytynyt suoraan katalogista sopivaa ratkaisua ja tämän takia kytkinvalmistajan Suomen edustaja joutui aina selvittämään sopivan kytkimen tehtaaltaan Saksasta. Kytkintä valitessa valitun pumpun akselia ja kiinnityslaippaa jouduttiin useita kertoja vaihtamaan ja pumppu täytyi aina uudestaan tyypittää pumppuvalmistajan kanssa, sopivan kytkimen valitsemiseksi. Tämä prosessi sisälsi yhteydenpitoa kahteen eri yritykseen ja näiden yritysten omien sisäisten organisaatioiden välistä yhteydenpitoa. Minä toimin näiden kahden yrityksen välissä, välittämässä tietoa toisilleen, joka vaikutti huomattavasti tämän työvaiheen keston.

Tällä projektilla ei ollut alkuun määrättyä budjettia, vaan tarkoitus oli suunnitella järjestelmä yritysten tarpeiden mukaan. Näiden suunnitelmien pohjalta tuli tehdä kustannusarvio, jonka perusteella yhdessä projektin sponsorin kanssa tuli miettiä, lähdetäänkö koekäyttöpaikkaa toteuttamaan kokonaisuutena yhdellä kertaa vai jaettaisiinko toteutus osiin, jotka toteutettaisiin osa kerrallaan. Kustannusarvion valmistumisen jälkeen projektin sponsorin työmatka viivästytti kustannusarvion

hyväksymistä, joka puolestaan viivästytti hankintojen aloittamista. Tämä osoittautui erittäin kriittiseksi tekijäksi aikataulussa pysymisen kannalta, sillä pumpun toimitusajaksi luvattiin 10-12 viikkoa ja pumpu saatiin tilattua vasta viikolla 13. Aikataulussa on merkitty hankintojen suunnitelluksi aloitusajaksi merkitty viikko 12, mutta tarkoitus oli saada pumpu tilaukseen jo viikolla 9, johtuen sen pitkästä toimitusajasta. Tästä viivästyksestä johtuen koko koekäyttöpaikan asennus ja käyttöönotto viivästyvät ainakin syksyille. Alkuperäisen suunnitelman mukaan koekäyttöpaikan asennus oli tarkoitus suorittaa ennen kesäkuun alkua, sillä kesällä yrityksen asiakkailta pidetään seisokit, joiden aikana heidän hydraulijärjestelmänsä huolletaan ja tästä syystä yrityksen omat asentajat eivät ole koekäyttöpaikan asennusta suorittamassa. Lisäksi kesä-heinäkuun jälkeen asentajat ovat kesälomilla. Projektia aloitettaessa oli tiedossa, että tämä alkuperäinen suunnitelma saada koekäyttöpaikka käyttöön ennen kesäkauden huoltoja ja lomaa on erittäin tiukka, joten projektin valmistumisen mahdollinen viivästyminen syksyille oli tiedossa projektin alkuvaiheissa. Tämän työn tarkoituksena onkin ollut saada järjestelmä mahdollisimman lähelle uuden koekäyttöpaikan käyttöönottoa ja tämän diplomityön tuloksena saatiin tilattua kaikki tarvittavat komponentit ja ohjausjärjestelmä, jotta kesän kiireiden jälkeen syksyllä koekäyttöpaikka voidaan ottaa käyttöön.

Alkuperäiseen suunniteltuun aikatauluun olisi ehkä voitu päästä, jos kuvan 16 aikataulua olisi paremmin hyödynnetty muiden projektiin liittyvien vastuuhenkilöiden ja tahojen informoimisessa esimerkiksi tiedottamalla muiden vastuuhenkilöiden tehtävistä ja niiden ajankohdista aikaisemmin. Myös muiden yrityksen ulkopuolisten tahojen mukaan ottaminen olisi voitu tehdä aikaisemmin varsinkin, kun aikataulusta oltiin jo hieman edellä. Kevään aikana myös yrityksessä käynnissä olevien projektien määrä lisääntyi, joka vähensi projektiin käytettävissä olevien resurssien määrää, sillä esimerkiksi mekaniikkasuunnittelua tekevä suunnittelija oli kuormitettu asiakasprojekteissa. Lopulliseen aikatauluun tällä ei lopulta ollut niin suurta vaikutusta, sillä muista viivästyksistä johtuen mekaniikkasuunnittelun aikataulu ei ollut niin tiukka kuin alkuun oli suunniteltu ja riittää, että koneikko saadaan valmiiksi syksyyn mennessä.

Projektin alkuvaiheissa työ eteni suunnitellussa aikataulussa ja oikeastaan ainoa projektin tilan seurantaan liittyvä työkalu oli aikataulun seuranta. Myöhemmässä vaiheessa ohjaajani Mikko Suhosen neuvosta aloin pitää projektin etenemisestä myös viikkokirjaa, johon kirjasin viikoittain projektin etenemiseen vaikuttavia asioista. Tämä on osoittautunut erittäin hyödylliseksi työkaluksi, sillä tapahtuneet asiat unohtuvat hyvin äkkiä, ellei niitä kirjannut ylös. Viikkokirjan avulla pystyy todella hyvin näkemään, mitkä tekijät ovat olleet kriittisiä aikataulusta jäämiselle.

Työaikaseurannalla olen pitänyt kirjaa omista työtunneistani, mutta kuitenkin kustannuseuranta on aloitettu oikeastaan vasta kustannusarvion hyväksymisen jälkeen. Kaikki tälle projektille aiheutuvat kustannukset ohjataan yrityksen

seurantajärjestelmään saman työnumeron alle, josta projektin kokonaiskustannukset voidaan koekäyttöpaikan valmistumisen jälkeen nähdä. Näitä lopullisia kustannuksia voidaan lopulta verrata alkuperäiseen kustannusarvioon ja tästä voidaan saada oppia siitä, mitkä asiat poikkeavat suuresti arviosta ja jatkossa ehkä pystyttäisiin arvioimaan kustannuksia paremmin samankaltaisissa projekteissa. Kustannusarvion suurin epävarmuus oli automaatio suunnittelussa. Erityisesti testipöytäkirjan muodostamista varten tiedon käsittelyyn tarvittavasta ohjelmointityön määrästä ei ollut tarkkaa arviota. Ohjausjärjestelmän kustannuksia arvioitiin tutustumalla vanhoihin projekteihin, joihin oltiin käytetty saman yrityksen palveluita. Ohjausjärjestelmään tarvittavien komponenttien hinta pystyttiin melko hyvin arvioimaan vanhojen projektien perusteella, mutta ohjelmointityölle oli vaikeaa arvioida realistisesti kustannuksia, sillä yhtä laajaa tiedonkäsittelyohjelmistoa ei yritykselle olla koskaan tehty. Ohjelmointityömäärää arvioitiin asettamalla ohjelmointityölle jokin budjetti ja jakamalla se ohjelmoinnin tuntihinnalla. Lisäksi automaatio suunnittelulle haasteita asetti pitkään jatkunut epävarmuus projektin toteuttamisen laajuudesta. Ei ollut varmaa millä laajuudella järjestelmää lähdettäisiin toteuttamaan ja tämä aiheutti aukkoja automaatio suunnittelun vaatimusten määrittelemisessä, joita ilman suunnittelua on hankalaa tehdä. Alun perin ohjausjärjestelmään ei sisällytetty pehmokäynnistimen ohjausta, joten sen lisääminen suunnitteluun lisäsi ohjausjärjestelmän kustannuksia noin 25 %.

## 7. YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella ja ottaa käyttöön uusi koekäyttöpaikka Paineteholla, jolla testataan kaikki yrityksen valmistamat ja huoltamat hydrauliset laitteet. Tämän työn tuloksena saatiin tehtyä suunnitelmat koekäyttöpaikan uudistamiseksi ja kaikki koekäyttöpaikalle tarvittavat komponentit saatiin myös tilattua, mutta valitettavasti viivästyksistä johtuen asennusta ja käyttöönottoa ei ehditty tämän työn puitteissa tekemään.

Koekäyttöpaikan hydraulijärjestelmä suunniteltiin suurimman tarpeen mukaan, joka oli PTR-120 sarjan kompressori. Tämän perusteella sähkömoottoriksi valittiin 110 kW:n sähkömoottori. Järjestelmässä on säätävätilavuuksinen kierrostilavuudeltaan 130  $cm^3$  aksiaalimäntäpumppu, jolla saadaan tuotettua järjestelmään 300 barin paine ja 165 l/min tilavuusvirta. Näillä suoritusarvoilla pystytään suorittamaan tarvittavat testit kaikille Painetehon valmistamille ja huoltamille laitteille.

Suurimmat haasteet tässä projektissa liittyivät projektihallintaan ja erityisesti aikataulun hallintaan. Työn aikana osa työvaiheista vei huomattavasti suunniteltua enemmän aikaa ja niistä aiheutui viiveitä, jotka osaltaan viivästyttivät seuraavia työvaiheita. Paremmalla muutosten hallinnalla olisi tässä työssä voitu saada projekti pysymään suunnitellussa aikataulussa. Projektin alkuvaiheessa olisi myös ollut hyvä tehdä projektin riskianalyysi, jossa olisi voitu tunnistaa aikataulun kannalta kriittisimpiä työvaiheita ja miettiä keinoja näiden riskien välttämiseksi tai niiden vaikutusten minimoimiseksi.

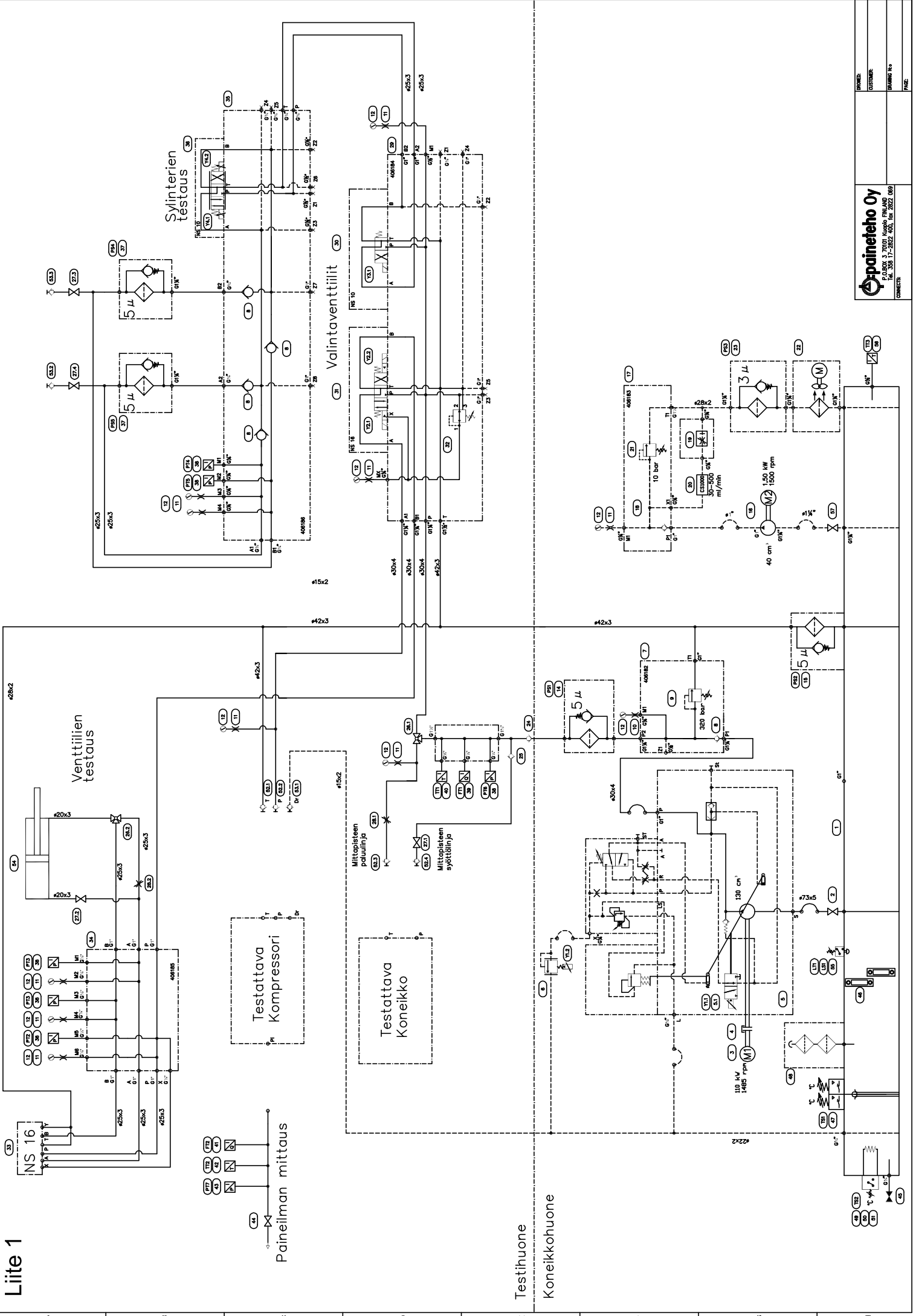
Suunnittelutyön osalta suurin haaste tässä projektissa oli, ainakin oman osaamiseni osalta, ohjausjärjestelmä ja anturidatan käsittely. Vaikka ohjausjärjestelmää ei saatukaan tämän työn puitteissa valmiiksi, on sen toteutuksesta jo tehty tarvittavat sopimukset automaatiojärjestelmiä toteuttavan yrityksen kanssa. Koekäyttöpaikan asennus tapahtuu tämän hetkisen suunnitelman mukaan syyskuussa ja silloin myös ohjausjärjestelmä tullaan asentamaan ja ottamaan käyttöön.

Olen tyytyväinen tämän työn lopputulokseen, koska nyt näiden suunnitelmien ja hankintojen myötä yrityksen on mahdollista saada käyttöön uusi koekäyttöpaikka, jolla valmistettujen ja huollettujen laitteiden toiminta voidaan testata ennen niiden lähettämistä asiakkaille. Tämän työn aikana opin paljon hydraulijärjestelmien suunnitteluun liittyvistä käytännöistä ja projektihallinnallisista asioista, kuten komponenttivalinnoista, hankinnoista, aikataulun hallinnasta, kustannusten hallinnasta ja yhteistyöstä eri yritysten kanssa.

## LÄHTEET

- [1] J. Artto, K. Martinsuo, M. Kujala, Projektiliiketoiminta, 2. painos 2008 ed. WSOY, Helsinki, 2006, .
- [2] A. Munns, B. Bjeirmi, The role of project management in achieving project success, 14/2/1996, pp. 81-87.
- [3] Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, 713, 2006. Saatavilla (viitattu 28.4.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060713#L2P7>.
- [4] Projekti-instituutti, Projektijohtamisen sanastoa, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 28.4.2017): [https://www.projekti-instituutti.fi/materiaalit/projektijohtamisen\\_sanastoa](https://www.projekti-instituutti.fi/materiaalit/projektijohtamisen_sanastoa).
- [5] M. Haukka, Ohjelmajohtaminen ja sen soveltaminen, Projektitoiminta, 2/2007, pp. 49-53.
- [6] Nosturi-kehittämishanke, Keski-Suomen ELY-keskus, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 7.3.2017): <http://www.hanketuloskortti.fi/hanketuloskortti/nosturi/>.
- [7] Projektisuunnitelman laatiminen , ohje, Tekes, 2010, pp. 2.
- [8] Helsingin yliopisto, yleisen kielitieteen laitos, Projektinhallinta - kevät 2006, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 22.6.2017): <http://www.ling.helsinki.fi/kit/2006k/clt310pro/organisaatio/organisaatiotyyppaja.shtml>.
- [9] H. Kauranne, J. Kajaste, M. Vilenius, Hydrauliteknikka. 1. painos ed. WSOY oppimateriaalit Oy, 2008, .
- [10] Tekninen opas nro 7, Sähkökäytön mitoitus. 2001, Saatavilla (viitattu 21.4.2017): [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf).
- [11] Filter Handbook, Hydac International, 22 p.
- [12] A. Sarhaluoma, Diplomityö, Hydraulisten laitteistojen koekäyttöjärjestelmän suunnittelu, 2016, .
- [13] Turvallisuutta ja luotettavuutta hydraulikkaletkujen suojauksella, Promaint-lehti, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 27.4.2017): <http://promaintlehti.fi/Turvallisuus-ja-ymparisto/Turvallisuutta-ja-luotettavuutta-hydrauliikkaletkujen-suojauksella>.

# Liite 1



PROJECT	
CUSTOMER	
DRAWING No	
DATE	

**Paineteho Oy**  
 P.O. BOX 3 70101 Kuopio FINLAND  
 TEL. 358 17-2522 001, FAX 2522 089

## Koekäyttöpaikan toimintamääritelmä

### Sisällys

Koekäyttöpaikan toimintamääritelmä .....	1
Toimintakuvaus .....	2
Anturit ja venttiilien ohjaukset .....	5
Käyttöliittymän toiminnot .....	6
Pöytäkirjaan tarvittavat tiedot .....	7

## Toimintakuvaus

Koekäyttöpaikalla on tarkoitus suorittaa hydraulisille komponenteille ja laitteille testejä niiden kokoonpanon tai huollon jälkeen. Myös sähkökäyttöisiä kompressoreita ja koneikoita on tarve pystyä testaamaan.

Koekäyttöpaikan hydraulijärjestelmässä on pehmokäynnistimellä varustettu 110 kW sähkömoottori (pos. 3), joka käynnistetään ja sammutetaan käyttöliittymästä koekäyttöhuoneessa. Sähkömoottori on kytketty pumppuun (pos. 5), jota säädetään kahdella proportionaaliventtiilillä. Toisella säädetään pumpun maksimipainetasoa (pos. 6) ja toisella tilavuusvirtaa (pos 5.1). Virrattomina solenoidit Y1.1 ja Y1.2 pitävät venttiilit avoimina, jolloin pumpun tuotto ja painetaso on minimissään. Ohjausvirtoja kasvattaessa pumpun tuotto ja painetaso nousee. Solenoidien Y1.1 ja Y1.2 ohjaus käyttöliittymästä. Pumppua suojataan venttiililohkoon (pos. 7) asennetulla vastaventtiilillä (pos. 8) ja painerajaventtiilillä (pos. 9) rajoitetaan järjestelmän maksimipaine. Pumpun tuottamaa virtausta suodatetaan ennen kuin se ajetaan testijärjestelmään painesuodattimella (pos. 12) ja testijärjestelmästä palaavaa virtausta suodatetaan paluusuodattimella (pos. 13).

Koneikossa on sivukiertopiiri, jossa on 1,5 kW sähkömoottori johon on kiinnitetty 40 cc siipipumppu (pos. 14), jolla saadaan tuotettua n. 50 l/min tilavuusvirta. Sivukierron sähkömoottorin tulee käynnistyä aina samalla kun järjestelmän päämoottori käynnistetään ja päämoottorin sammutuksen jälkeen sivukiertopiirin moottori jää päälle vielä n. 30 minuutiksi. Sivukiertopiirissäkin pumppua suojataan vastaventtiilillä (pos. 16.1). Sivukiertopiirissä on hiukkalaskuri (pos. 18), jolla saadaan tieto järjestelmän öljyn puhtaudesta. Hiukkaslaskuri vaatii 30–500 ml/min virtauksen, joten sille tulevaa virtausta täytyy kuristaa virransäätöventtiilillä (pos. 17). Virransäätöventtiili aiheuttaa n. 500 ml/min virtauksella n. 7 bar:in paineeron, joten sivukiertopiiriin tarvitaan myös painerajaventtiili (pos. 19), jonka asetusarvo 10 bar mahdollistaa virtauksen hiukkaslaskurille. Sivukiertopiirissä öljyä jäähdytetään jäähdyttimellä (pos. 20), jonka toimintaa ohjaa termostaatti (TS1). Sivukiertopiirissä öljyä myös suodatetaan säiliöön asennettavalla suodattimella (pos. 21).

Painelinja on kytketty valintaventtiililohkoon (pos. 27), johon on asennettu kaksi on/off-suuntaventtiiliä. Toinen suuntaventtiili on NS 10 koon 4/2-venttiili (pos. 28) ja toinen NS 16 koon 4/3-venttiili (pos. 29). Solenoidien Y2.1, Y2.2 ja Y3.1 ollessa virrattomina venttiilit ovat keskiasennoissaan sallien paineen purkautumisen työlinjoista tankkiin. Solenoideja Y2.1, Y2.2 ja Y3.1 ohjataan käyttöliittymästä. Pumpun ja valintaventtiilien välissä on hydraulikan mittauspiste, jossa on paine-, virtaus-, ja lämpötilalähtimet (PT6, FT1, TT1). Lisäksi mittauspisteeseen on pikaliittimet (pos. 50.3, 50.4), koneikkojen testausta varten.

Kun kytketään ohjaus solenoidille Y3.1, avautuu painelinja valintaventtiililohkon B2 linjaan, joka on yhdistetty ”sylinterien testaus”-lohkoon (pos. 33). Sylinterien testaus-lohkoon on asennettu NS 10 koon proportionaalinen 4/3-suuntaventtiili (pos. 34) ja kaksi paineanturia (PT4 & PT5). Paineantureilla saadaan tieto testattavan sylinterin A ja B kammioissa vallitsevista paineista. Suuntaventtiilin solenoidien Y4.1 ja Y4.2 ollessa virrattomina, on venttiili keskiasennossaan sallien paineen purkautumisen tankkiin. Solenoideja ohjataan mittauspöydän läheisyyteen sijoitetuilla potentiometreillä. Testattava sylinteri on liitetty letkuilla pikaliittimiin (pos. 51.2 & 51.3). Solenoidia Y4.1 ohjattaessa virtaus pääsee venttiilin A-kanavaan ja siitä edelleen, siihen liitettyyn sylinterin kammioon. Solenoidia Y4.2 ohjattaessa taas virtaus pääsee venttiilin B-kanavaan ja siitä edelleen, siihen liitettyyn sylinterin kammioon. Venttiililohkoon (pos. 33) on asennettu



neljä vastaventtiiliä (pos. 16) ja kaksi painesuodatinta (pos. 35), joiden tarkoitus on pitää testattavasta sylinteristä irtoava lika poissa muusta järjestelmästä. Suodattimilla halutaan suodattaa vain sylintereiltä palaavaa virtausta ja tämä on toteutettu vastaventtiilikytkenällä.

Kun kytketään ohjaus solenoidille Y2.2, virtaus pääsee venttiililohkon B1, joka on kytketty venttiilien testauksen asennuslaattaan (pos.31). Asennuslaatta on kooltaan NS 16 ja siihen voidaan tarvittaessa adapterein liittää myös NS10 ja NS6 kokojen venttiileitä. Venttiilien asennuslaatta on liitetty venttiililohkoon (pos. 32), jossa mitataan paineet A, B ja P kanavista painelähettimillä (PT1-3), sekä jaetaan painelinjasta ohjauspaine asennuslaattaa varten. Mittauslohkon A ja B kanavat on liitetty kahteen pallohanaan (pos. 24.2, 25.2), joilla ohjataan virtaus joko kanavasta A kanavaan B, tai sylinterin (pos. 52) kammioihin. Testattavia venttiileitä ei tarvitse pystyä ohjaamaan käyttöliittymästä, vaan painonapeista/potentiometreistä testipöydän läheisyydestä. Sylinterin avulla voidaan testata venttiilien tiiveys, sulkemalla venttiili ja nostamalla sen painelinjaan työpaine. Sylinterin liikkeestä voidaan päätellä venttiilin tiiveys. Myös venttiilit, joiden läpäisyä ei tarvitse mitata, testataan käyttämällä tätä sylinteriä. Esimerkiksi servoventtiilit testataan tämän sylinterin avulla tarkastelemalla, että sylinteri liikkuu haluttuun suuntaan ja ettei siinä esiinny ryömintää.

Ohjattaessa solenoidia Y2.1 pääsee virtaus venttiililohkon A1-linjaan, johon on liitetty pikaliittimeen (pos. 50.2) Testattavan kompressorin paineliitaintä liitetään letkulla tähän pikaliittimeen. Liitetään kompressorin tankkiliitaintä pikaliittimeen (pos 50.1) ja kompressorin mahdollinen vuotoliitaintä vuotolinjan pikaliittimeen (pos. 51.1). Tällä kytkennällä saadaan testin aikana antureilla tietoon kompressorin hydraulimoottorilla oleva paine ja sen läpäisemä tilavuusvirta. Kompressorin ilmapää liitetään paineilman mittauspisteeseen, jossa on virtausanturi (FT2), lämpötila-anturi (TT2), paineanturi (PT7) ja palloventtiili (pos. 42). Palloventtiiliä ohjataan manuaalisesti ja sillä aiheutetaan kompressorille kuormitusta testin vaatimuksien mukaan.

Koekäyttöpaikalla testataan myös sähkömoottorilla käytettäviä kompressoreita ja koneikkoja. Kompressorit ja koneikot käynnistetään huoneen seinällä sijaitsevasta sähkökeskuksesta. Kompressoreissa ja koneikoissa voi olla sähköisesti ohjattuja venttiileitä, joita varten huoneessa on riittävä määrä niiden ohjaukseen soveltuvia pistokkeita, näitä ei ole tarpeen ohjata käyttöliittymästä. Sähkökäyttöisten kompressorien testauksesta tarvitaan tieto paineilman mittauspisteen antureista (FT2, TT2 ja PT7) ja sähkömoottorin ottamasta sähkövirrasta, johon tarvittava anturi on sijoitettu huoneen sähkökaappiin ja koneikkojen testauksessa tarvitaan tieto hydraulikan mittauspisteen antureista (FT1, TT1 ja PT6), sekä sähkömoottorin ottamasta sähkövirrasta.

Säiliössä on pinnankorkeuskytkin ja -lähetin (LS1, LT1), jossa raja hälytykselle. Säiliössä sijaitsevalla toisella termostaatilla (TS1) kytketään jäähdytintä ja toisella termostaatilla (TS2) kytketään öljynlämmittintä (pos. 49). Termostaatti TS1 sisältää myös yllilämpösuojan, jolla kytketään koneikko pois päältä lämpötilan ylittäessä hälytysrajan. Yllilämpösuojan lauetessa apupumppu ei kytkeydy pois päältä, vaan jäähdytyskierto jää päälle.

Kaikissa suodattimissa (pos. 12, 13, 21 ja 35) on painekytkimet (PS1-5), joilla indikoidaan suodattimien tukkeutuminen. Näiltä kytkimiltä tarvitaan ilmoitus käyttöliittymään.

Koekäyttöpaikalla on hätä-seis painikkeita, joilla katkaistaan ohjaus kaikille venttiilien keloille ja sammutetaan koneikko. Myös apupumpun tulee pysähtyä. Hätä-seis painikkeet on sijoitettu siten, että yksi on testihuoneessa ja yksi koneikkohuoneessa. Hätä-seis painikkeen vapauttaminen ei saa palauttaa ohjausta venttiileille ja sähkömoottoreille, vaan järjestelmän on palattava tilaan, jossa se oli ennen

käynnistämistä. Testihuoneessa tulee myös olla esim. sähkökeskuksessa yksi yhteinen reset-painike, joka täytyy käydä kuittaamassa hätä-seis painikkeiden vapauttamisen jälkeen.

## Anturit ja venttiilien ohjaukset

Anturi	kpl	Signaali	Alue	pos.
Painelähetimet	6	Analogi 4-20 mA	0 – 400 bar	PT1 - 6
Painelähetin	1	Analogi 4-20mA	0 – 25 bar	PT7
Virtauslähetin	1	Analogi 4-20 mA	0 – 600 l/min l/min	FT1
Virtauslähetin	1	Analogi 4-20 mA	0,12 – 35,18 Nm <sup>3</sup> /min	FT2
Lämpötilalähetin	3	Analogi 4-20 mA	-25 – 100 °C	TT1 - 3
Sähkövirtalähetin	3	Analogi 4-20 mA	0 – 250 A	ET1 - 3
Termostaatti	1	Binääri 24 VDC	30 – 90 °C	TS1
Termostaatti	1	Binääri 24 VDC	10 – 90 °C	TS2
Pinnankorkeuslähetin ja -kytkin	1 1	Analogi 4-20 mA Binääri 24 V DC	13 – 584 mm 9-59 mm	LT1 LS1
Suodattimien painekeytkimet	5	Binääri 24 V kytkentäjännite	6 bar	PS1-PS5. 12,13,21 & 35
Hiukkaslaskuri	1	Analogi 4-20 mA, KTS. käyttöohje	ISO 4406, 6-24	18

Venttiilien kelat	kpl	Signaali	pos.
Tuotonsäätö propo	1	Analogi 0-5V	Y1.1
Paineleikkuri propo	1	Analogi 4-20 mA	Y1.2
Suuntaventtiilien kelat	3	Binääri 24 VDC	Y2.1, Y2.2 & Y3.1
Proportionaaliventtiilien kelat	2	Analogi 4-20 mA	Y4.1 & Y4.2 (potikalla testipöydältä)
Testattavien venttiilien kelat	2	Analogi 4-20 mA/-10 – 10VDC/ 0-10 VDC/0-5 VDC Binääri 12 VDC/24 VDC	31 (Ei ohjausjärjestelmään, erillisellä testerillä)

Analog input	17
Analog output	2
Digital input	8
Digital output	3

Testattavia venttiileitä käytössä kerrallaan max. 1, asennettuna asennuslevyyn 31. Eli keloja 1-2, riippuen testattavasta venttiilistä.

## Käyttöliittymän toiminnot

- Testin valinta
  - Kompressorien testaus
  - Venttiilien testaus
  - Sylinterien testaus
  - Koneikkojen testaus
- Tietojen syöttö
  - Tuotteen malli
  - Sarjanumerot
  - Työnumerot
  - Asiakas
  - Päivämäärä
  - Testaaja
  - Lisätietoja
- Indikoinnit
  - Suodattimien indikaattorit
  - Öljyn puhtausluokka
  - Säiliön öljyn lämpötila
  - Öljyn pinnantas
- Koneikon käynnistystoiminnot
  - Päälle
  - Pois
- Venttiilien ohjaus
  - Pumpunsäätöpropot
  - Valintaventtiilit
- Pöytäkirja
  - Muokaus ja tallennus

Käyttöliittymästä valitaan ensin haluttu testi, sen mukaan mitä tuotetta ollaan testaamassa. Tämän jälkeen syötetään testistä tarvittavat tiedot niille varattuihin tekstikenttiin.

## Pöytäkirjaan tarvittavat tiedot

Testeistä tulisi muodostaa automaattisesti pöytäkirjat, jotka tallennetaan esim. verkkolevyille. Ennen testin aloittamista, syötetään käyttöliittymään testin ja testattavan tuotteen tiedot. Testeistä tarvitaan seuraavat anturitiedot ja kuvaajat:

- **Kompressorien testaus**
  - Anturitieto
    - Paineanturit: PT6 & PT7
    - Virtausanturit: FT1 & FT2
    - Lämpötila-anturit: TT1 & TT2
    - Hiukkaslaskuri: pos. 18
    - Sähkövirta-anturi sähkökäyttöisten kompressorien testauksessa ET1
  - Kuvaajat
    - Paineet ajan funktiona
    - Virtaukset ajan funktiona
    - Lämpötilat ajan funktiona
    - Sähkövirta ajan funktiona
  
- **Venttiilien testaus**
  - Anturitieto
    - Paineanturit: PT1 PT2 & PT3
    - Virtausanturi: FT1
    - Lämpötila-anturi: TT1
    - Hiukkaslaskuri: pos. 18
  - Kuvaajat
    - Paine-erot ajan funktiona: PT1–PT2 & PT1–PT2
    - Virtaus ajan funktiona
    - Lämpötila ajan funktiona
  
- **Sylinterien testaus**
  - Anturitieto
    - Paineanturit: PT4 & PT5
    - Hiukkaslaskuri: pos. 18
  - Kuvaajat
    - Paineet ajan funktiona
  
- **Koneikkojen testaus**
  - Anturitieto
    - Paineanturi: PT6

- Virtausanturi: FT1
- Lämpötila-anturi: TT1
- Kuvaajat
  - Paine ajan funktiona
  - Virtaus ajan funktiona
  - Lämpötila ajan funktiona

Lisäksi jokaisesta testistä tarvitaan pöytäkirjaan taulukoituna kunkin suureen huippuarvot ja hiukkaslaskurin lukema testin alkaessa.