



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUHO-HEIKKI LUUKKAINEN
AKSIAALIMÄNTÄPUMPPUTESTIPENKIN UUDISTAMISPROJEKTI

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatiotekniikan tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 5. marraskuuta
2014

TIIVISTELMÄ

JUHO-HEIKKI LUUKKAINEN: Aksiaalimäntäpumpputestipenkin uudistamisprojekti

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 89 sivua, 0 liitesivua

Marraskuu 2014

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Hydrauliiikka ja automatiikka, hydraulitekniiikka

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen

Avainsanat: Projekti, projektinhallinta, resurssit, aika, raha, pumppu, aksiaalimäntäpumppu, A10VSO, säädin, testipenkki, ergonomia

Työ perustuu Bosch Rexroth Oy:n Vantaan toimipisteessä sijaitsevan huollon aksiaalimäntäpumpputestipenkin uudistamisprojektiin. Olemassa oleva penkki on tekniikaltaan osittain vanhentunutta. Lisäksi testauskapasiteettia ja toimintavarmuutta haluttiin kasvattaa. Myös järjestelmän käyttöergonomia sekä käyttöohjeet kaipasivat parannusta.

Työ koostuu osista siten, että ensimmäisenä paneudutaan projektin ja sen hallinnan teoriaan. Sen jälkeen perehdytään pumppujen teoriaan, käydään läpi projektin tavoitteet, vaatimukset sekä toteutuminen. Sana projekti voidaan määritellä monella eri tavalla, mutta lyhyesti voidaan todeta, että se on ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, toisiinsa liittyvien monimutkaisten tehtävien muodostama ajallisesti sekä kustannuksiltaan laajuudeltaan rajattu kokonaisuus. Projektinhallinnan kannalta kriittisintä on olemassa olevien resurssien hallinta. Merkittävimmät resurssit ovat raha, aika sekä osaaminen.

Teorian toinen osa koostuu Bosch Rexrothin valmistaman A10VSO-aksiaalimäntäpumppun ja sen kanssa käytettävien säädinten toimintaan. Hydraulipumppu muuttaa mekaanisen energian hydrauliseksi. Yleisimmät pumpputyypit ovat hammaspyöräpumput, ruvipumput, siipipumput sekä mäntäpumput. Bosch Rexrothin A10VSO-aksiaalimäntäpumppu on suoraroottori- eli vinolevyypumppu, jossa sylinteriryhmä pyörii akselinsa mukana siten, että sylinteriryhmän sisäisten mäntien aseisiin vaikuttava vinolevy on kiinteä. Vinolevyn ja akselin välistä kulmaa säätämällä säädetään kierrosluvua.

Projektin jälkeen testipenkillä voidaan testata kooltaan 18 - 500 cc olevia aksiaalimäntäpumppuja ja -moottoreita. Järjestelmän suurin sallittu tilavuusvirta on 500 l/min ja suurin sallittu paine 600 bar. Tehonlähteenä toimii testattavaa laitetta pyörittävä taa-juusmuuntajakäyttöinen 200 kW sähkömoottori. Testissä testattavan laitteen painetta kohotetaan kuristamalla sen tuottamaa tilavuusvirtaa kuormituslohkon sähköisesti ohjattulla DBGT-proportionaaliventtiilillä. Tehonlähteeltä mitataan sen tuottama momentti sekä pyörimisnopeus. Testattavalta laitteelta mitataan painetasot sekä tuotettu tilavuusvirta. Muiden järjestelmien osien eri toiminta-arvoja mitataan järjestelmän eri pisteissä tarpeen mukaan.

Uudistamisessa pyrittiin käyttämään olemassa olevaa tekniikkaa mahdollisimman paljon hyödyksi. Järjestelmän apukoneikko säilyi käytännössä ennallaan muutamia päivityksiä lukuun ottamatta. Testijärjestelmän ergonomian parantamiseksi merkittävin muutos oli testattavan kappaleen akselikorkeuden korotus.

ABSTRACT

JUHO-HEIKKI LUUKKAINEN: Modernising project of the axial piston pump test bench

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 89 pages, 0 Appendix pages

November 2014

Master's Degree Program in Automation Technology

Major: Hydraulics and Automation, fluid power

Examiner: Professor Jari Rinkinen

Keywords: project, project management, recourses, time, money, pump, axial piston pump, A10VSO, controller, test bench, ergonomics

The work is based on the renovation project of a test bench of axial piston units. The test bench is located in the Bosch Rexroth Oy service in Vantaa. Some parts of the old system were obsolete technology. In addition the testing capacity and reliability needed to be increased. Also the ergonomics and the manual needed updating.

This thesis consists of different parts. In the first part there is a theoretical view to project and project management. Then there is theory about hydraulic pumps. After that I go through the aim of the project as well as the requirements and the solutions. The word project can be defined in many different ways, but shortly it can be said that it is a pre-determined, goal-oriented, inter-related combination of complex tasks formed from resources. The main resources are money, time and know-how.

The second part of theory has its focus on the A10VSO axial piston pump that is the most sold pump of Bosch Rexroth. The function of a hydraulic pump is to convert mechanical energy into hydraulic energy, and vice versa. The most common pump types are gear pumps, screw pumps, vane pumps and piston pumps. The A10VSO is a swash plate pump, in which the cylinder block rotates with its axis. The swash plate that has an effect on the inner forces of the pistons in the cylinder group is fixed. Adjusting the angle between the swash plate and the axis adjusts the displacement of the pump.

The outcome of the renovating project is the test bench that is made to test axial piston pumps and axial piston motors, sizes up to 500 cc. The maximum flow rate of the system is 500 l/min and the maximum operating pressure rate is 600 bar. The tested device is rotated by a frequency converted 200 kW electric motor. The test is based on an electric controlled proportional valve, DBGT. The pressure of the tested device is raised by DBGT by throttling the displacement of the tested unit. The torque and the rotation speed are measured directly from the axial of the electric motor. Flow and pressure is measured from the tested unit. All the other main working values are measured in the different parts of the system when needed.

The renovation was based on the idea to use the old system and the existing technology as much as possible. The assist system is mainly the old one, excluding new pressure reducing valves and flow control valves for example. The main improvement in the ergonomics of the system is made by raising the height of the test unit's shaft.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty osana Bosch Rexroth Oy:n Vantaan toimipisteen huollossa käytössä olevan aksiaalimäntäpumppujen testipenkin uudistamisprojektia. Suurin ja merkittävin apu työn toteutumisen kannalta on ollut projektiryhmämme, johon kuuluivat Timo Kii-so, Ilkka Koponen, Markku Nevalainen, Ville Vidqvist sekä Tanja Havukainen. Sen lisäksi haluan kiittää hydraulikka- ja mekaniikkasuunnittelijana toiminutta Etteplanin Risto Hakkarasta sekä työn tarkastajaa professori Jari Rinkistä.

Erityiskiitokset avopuolisolleni Juulialle, joka mahdollisti tämän työn toteuttamisen muuttamalla jo toistamiseen perässäni kaupungista toiseen.

Helsingissä, 14.11.2014

Juho-Heikki Luukkainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	PROJEKTI JA SEN HALLINTA	4
2.1	Projektin päämäärä	5
2.2	Projektin vaiheet	5
2.3	Vaihtoehtoisten ratkaisujen tuottaminen, arvioiminen ja valitseminen	6
2.3.1	Edut ja haitat	7
2.3.2	Kilpailijoiden ja korvaavien ratkaisujen vahvuudet ja heikkoudet ..	7
2.3.3	Toteutettavuus	8
2.3.4	Riskialttius	8
2.3.5	Voimavarat	9
2.3.6	Yhteensopivuus pysyvän organisaation päämäärien kanssa	9
2.4	Projektinhallinta	10
2.4.1	Projektinhallinnan jaottelu	10
2.4.2	Projektinhallinta osaamisena ja ominaisuuksina	12
2.4.3	Projektinhallinta työvälineinä ja dokumentaationa	12
2.5	Projektin sidosryhmät	12
2.6	Projektiorganisaatio	13
2.6.1	Projektiorganisaation rakenne	13
2.6.2	Yhteiset tavoitteet	14
2.6.3	Projektiorganisaation roolit ja vastuut	14
2.7	Osaprojektit	16
2.8	Projektin vaiheistus	17
2.9	Projektiositus ja aikataulut	18
2.10	Projektin kustannukset	19
2.11	Projektin päättäminen	19
2.11.1	Dokumentointi	20
2.11.2	Loppuraportti	20
2.12	Projektikokoukset	21
3.	BOSCH REXROTHIN A10VSO-AKSIAALIMÄNTÄPUMPPU JA SEN SÄÄTÖTAVAT	22
3.1	Mäntäpumppu	23
3.2	Aksiaalimäntäpumppu	25
3.2.1	Staattoriaksiaalipumppu	25
3.2.2	Suoraroottori- eli vinolevypumppu	26
3.2.3	Kulmaroottori- eli vinoakselipumppu	26
3.3	Aksiaalimäntäpumppu A10VSO	27
3.4	Säätimet	29
3.4.1	Suoraanohjattu kaksipistesäätö – DG	30
3.4.2	Painesäädin – DR	30

3.4.3	Kauko-ohjattu painesäätö – DRG	31
3.4.4	Paine- ja tilavuusvirtasäädin – DFR/DFR1	32
3.4.5	Paine-, tilavuusvirta- ja tehosäädin – DFLR	33
3.4.6	Sähköhydraulinen painesäädin – ED71/ED72	34
3.4.7	Sähköhydraulinen painesäädin – ER71/ER72	35
4.	AKSIAALIMÄNTÄPUMPPUTESTIPENKIN TAVOITTEET JA VAATIMUKSET	36
4.1	Alkuperäinen järjestelmä	36
4.2	Tavoitteet	39
4.2.1	Lähtötilanne	39
4.2.2	Seurantapalaverit	40
4.2.3	Lopulliset tavoitteet	40
4.3	Testijärjestelmän vaatimukset	45
4.3.1	Sähköteholtaan 200 kW:n testipenkki	45
4.3.2	Turvallisuus	46
4.3.3	Koneet ja laitteet	46
4.3.4	Tehtävät	47
4.3.5	Mitattavat suureet	48
4.3.6	Järjestelmän kuvaus	50
5.	TOTEUTUNUT JÄRJESTELMÄ	52
5.1	Sähkönsyöttö ja automaatio	53
5.2	Tehonlähde	53
5.2.1	Mitattavat suureet, pyörimisnopeus	54
5.2.2	Mitattavat suureet, momentti	55
5.3	Hydraulinen tasasuuntaaja ja kuormalohko	56
5.4	Paluu- ja huuhtelumuodi	63
5.5	Syöttöpainemoduuli	65
5.6	Ohjauspainemoduuli	66
5.7	Säädintestaus – DRG ja FR/LS	67
5.8	Jäähdytin	68
5.9	Painemittarit	71
5.10	Tilavuusvirtamittarit	72
5.11	Lämpötila-anturit	73
5.12	Rautarakenteet	74
5.12.1	Korokepukit	74
5.12.2	Väliseinä	78
5.12.3	Valuma-altaat	79
6.	TULOSTEN TARKASTELU	82
6.1	Projekti	82
6.2	Testipenkin hydraulijärjestelmä	82
6.3	Rautarakenteet	85
7.	YHTEENVETO	86

LÄHTEET.....	87
--------------	----

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A10VSO	Bosch Rexrothin yleisin muuttuvatilavuusvirtainen aksiaalimäntäpumppu avoimeen hydraulipiiriin
DG	saks. Zweipunktverstellung, direktgesteuert, suoraanohjattu kaksipistesäädin
DR	saks. Druckregler, painesäädin
DRG	saks. Druckregler, ferngesteuert, kauko-ohjattu painesäädin
DFR/DFR1	saks. Druck- Förderstromregler, paine- ja tilavuusvirtasäädin
DFLR	saks. Druck- Förderstrom- Leistungsregler, paine-, tilavuusvirta- ja tehosäädin
ED71/ED72	saks. Elektrohydraulische Druckregelung, sähköhydraulinen painesäädin
ER71/ER72	saks. Elektrohydraulische Druckregelung, sähköhydraulinen painesäädin
FR	saks. Durchflussregler, tilavuusvirtasäätö
HSE	engl. Health, Safety and the Environment, Terveys, turvallisuus ja ympäristö
LS	engl. Load sensing, kuorman tunnistus
OPM	engl. Online particle monitor, linjaan kytkettävä hiukkaslaskuri
PWM	engl. Pulse-width modulation, pulssinleveysmodulaatio
S30	series 30, A10VSO-aksiaalimäntäpumpun valmistussarja
S31	series 31, A10VSO-aksiaalimäntäpumpun valmistussarja
S32	series 32, A10VSO-aksiaalimäntäpumpun valmistussarja
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
WBS	engl. Work Breakdown Structure, Projektin osittaminen
a	kiihtyvyys
d	halkaisija
n	kierrosnopeus
Q	tilavuusvirta
s	iskunpituus
v	nopeus
V_k	kierrostilavuus
x	asema
z	lukumäärä
β	kiertymiskulma
bar	Paineen yksikkö, 1 bar = 10^5 Pa = 0,1 MPa
cm ³ /r	Kierrostilavuuden yksikkö, kuutiosenttimetriä/kierros
l/min	Tilavuusvirran yksikkö, 1 l/min = $1,67 \cdot 10^{-5}$ m ³ /s
Psi	Paineen yksikkö, paunaa/neliötuuma, 1 Psi = 6894,9 Pa
r/s	Pyörimisnopeuden yksikkö, kierrosta/sekunti

1. JOHDANTO

Tämän diplomityön aiheena on Bosch Rexroth Oy:n Vantaan toimipisteessä olevan huollon käytössä olevan aksiaalimäntäpumppujen testipenkin uusimisprojekti. Minun osuuteni tässä projektissa oli toimia projektipäällikön tehtävissä, ja teknilliseltä puolelta olla vahvasti mukana järjestelmän suunnittelussa kuten teknisessä laskennassa, hydraulikaavion laatimisessa ja mitoituksessa sekä layoutin suunnittelussa. Projektionnin lisäksi vastuunani oli testipenkkiin vaadittavan dokumentoinnin toteuttaminen, joka tämän työn puitteissa on rajattu pois kirjallisesta tuotoksesta.

Työn teoriassa käydään monipuolisesti läpi projekti ja sen moninaisuus, sillä koko opinnäytetyötä koskeva aihe perustui projektinhallintaan. Vaikka projektin lopputulos ja koko sen sisältö on hyvin tekninen hydraulijärjestelmä, on koko työnkuva enemmän projektinhallintaa. Koska kyseessä on aksiaalimäntäpumppujen testipenkki, käydään projektipainotteisen teoriaosuuden lisäksi teoriassa läpi erityyppiset hydraulipumput. Pumpuissa pääpaino on kuitenkin aksiaalimäntäpumpuissa, koska kyseisen testijärjestelmän uudistamisprojektin tarkoituksena on rakentaa testipenkki tämäntyyppisille pumpuille.

Bosch Rexrothin aksiaalimäntäpumpuista yleisin on A10VSO-tyyppinen pumppu. Sitä löytyy eri kokoluokkia, ja sitä käytetään hyvin monenlaisissa sovellutuksissa. Se on säätyvätilavuuksinen, joten sillä voidaan toteuttaa myös hyvin energiatehokkaita järjestelmiä. A10VSO:n ohjaukseen käytetään erilaisia säätimiä, joista tyypillisimmät esitellään samassa teoriaosuudessa itse pumpun kanssa.

Projektille on olemassa selvä tarve, sillä testijärjestelmän kunnosta ja turvallisuudesta on tullut huomautuksia. Lisäksi muun muassa epäergonomiset olosuhteet tekivät työskentelyolosuhteet hyvin epämukaviksi. Näin ollen projektin lähtökohtana olivat kohtalaisen selvät tavoitteet. Ne perustuivat valmiiseen konsernin tarjoamaan suunnitelmaan, ja tätä suunnitelmaa sovellettiin sen turhankin monipuolisten ominaisuuksien takia omiin tarpeisiin paremmin soveltuvaksi.

Alusta lähtien oli selvää, että tavoitteena oli saada uusi työntekijöille ergonomisempi tapa testata pumppuja. Lisäksi testaamista haluttiin tehostaa muun muassa kasvattamalla testattavien laitteiden testauskapasiteettia. Tehostamisen avuksi oli valittu uusi ohjausjärjestelmä nimeltä Cadasys. Järjestelmästä haluttiin sellainen, että sillä on tarpeen mukaan mahdollista testata kaikki aksiaalimäntäpumput ja –moottorit aina kokoluokkaan 500 cc asti.

Tavoitteiden jälkeen tulee tarkastella konsernin asettamia vaatimuksia siitä, mitä järjestelmän tulee pitää sisällään. Alkuperäisessä suunnitelmassa, jonka mukaan uusikin järjestelmä suunnitellaan, on teknisessä dokumentaatioissa listattu ne asiat, joita tällaisen 200 kW voimalähteen testijärjestelmän tulee pitää sisällään. Hydraulijärjestelmän suunnitteleminen itsessään ei ole uusi keksintö, mutta projektista tekee ainutlaatuisen muun muassa vanhan järjestelmän mahdollisimman suuri hyödyntäminen sekä kohtalaisen ahtaan tilan luomat rajoitteet. Järjestelmän korkea painetaso ja kohtalaisen suuri tilavuusvirta asettevat paljon haasteita monessa eri järjestelmän osassa komponenttien valinnasta lähtien.

Projektissa on hyvin monta eri ulottuvuutta ja se toimii erittäin hyvänä opettajana ainakin minulle. Projektioorganisaationa projekti on sinällään erikoinen, että sekä projekti-päällikkö, projektiryhmä, projektin johtoryhmä ja tilaaja ovat oman yrityksen sisältä. Oikeastaan kaikki nämä osat istuvat projektiryhmässä. Meillä on siis alusta lähtien oma projektiryhmä, jonka sisällä kaikki projektiin liittyvät päätökset tehdään, ja ryhmään kuuluu käytännössä niin johtoryhmä kuin tilaajakin.

Projekti on jaettu osaprojekteihin siten, että kokonaisuuden hahmottaminen on helpompaa. Merkittävimmät osaprojektit ovat hydraulikka, sähkö/automaatio, ja mekaniikka/rautarakenne. Nämä koostuvat eri osista, kuten teknisestä laskennasta, suunnittelusta ja hankinnasta. Näiden osaprojektien avulla kokonaisuuden hahmottaminen on selkeämpää, sillä jokaisen osa-alueen resurssit ovat helpompi kanavoida. Luonnollisesti myös aika- ja budjettiarvio on helpompi toteuttaa ja seurata.

Merkittävimmät ratkaisut järjestelmän toteutuksessa ovat ohjausjärjestelmä Cadasys, rautarakennemuutokset sekä uudestaan suunniteltu kuormituslohko. Cadasys mahdollistaa tietojen lataamisen konsernin sisäisestä tietoverkosta. Cadasyksellä ohjataan kaikki testit, ja se saa mittasignaalit kentältä sähkökaapin kautta. Rautarakennemuutokset pitävät eri järjestelmänosien uudet kiinnityspukit sekä vuotoaltaat.

Kuormituslohko on massiivinen yli 400 kg painava lohko, jolla ohjataan öljyn virtausta tasasuuntaaja-tyyppisellä vastaventtiililogiikalla. Sen lisäksi siinä on järjestelmän pääpaineenrajoitusventtiilit sekä kuormalogiikka, johon koko järjestelmän toiminta perustuu. Sähköisesti ohjatulla proportionaaliventtiilillä säädetään logiikkaventtiilin avautumispaine, jolla kuristetaan testattavan laitteen tuottamaa virtausta paineen kohottamiseksi.

Koko testijärjestelmän akselikorkeuden kohottaminen vaikuttaa merkittävästi työskentelyergonomiaan. Lisäksi säiliön nostamisella voidaan varmistua siitä, että testattavan laitteen imupuolen paine pysyy riittävän korkeana. Lisäksi muutoksena verrattuna vanhaan järjestelmään apukoneikon puolen ja testitilan väliin asennetaan väliseinä mekaaniseksi suojaksi. Tämän avulla apukoneikon puolella tapahtuvat mahdolliset letkujen

irtoamisista ja hajoamisista aiheutuvat tapaturmat pyritään välttämään. Valuma-altaat keräävät vuotavat öljyt talteen niin testipuolella kuin säiliön allakin.

Uudistusprojektissa yksi selkein tavoite tulevan käytön kannalta on ehdottoman tärkeä. Siitä tulee olla olemassa kattava dokumentaatio käyttöohjeineen. Näiden avulla mahdollistetaan järjestelmän tehokas käyttö kaikille työntekijöille nyt ja tulevaisuudessa. Tämän työn sisällöstä käyttöohjeet ja dokumentaatio on rajattu pois laajuutensa takia, mutta niitä on täydennetty jatkuvasti projektin edetessä. Niihin kuuluvat kaikki järjestelmään liittyvät piirustukset ja suunnittelukuvat, listat testattavista laitteista ja niissä käytettävistä sovitelevyistä, mahdollisista johtokytkentämuutoksista eri testiajojen mukaan ynnä muista vastaavista.

2. PROJEKTI JA SEN HALLINTA

On monta eri tapaa määritellä projekti, ja jotkut niistä voivat olla keskenään ristiriidassa (Artto *et al.* 2008, s. 24). Ajoittain on varsinainen muoti-ilmiö kutsua kaikkea mahdollista työtä projektiksi. Usein todetaan kaikki projektit epäonnistuneiksi, vaikka lähempi tarkastelu kuitenkin osoittaa, ettei kyseessä ole ollut lainkaan projekti. Tyypillisesti kyseessä on vain tehty työ, joka on poikennut totutusta tavasta toimia. (Löow 2002, s. 16.)

Projekti voi olla kerran toteutettava tehtävä, joka toteutetaan monen osapuolen kesken. Yhtä hyvin se voi olla jatkuva ongelma tai tehtävien jatkumo, joka on aikataulutettu määräaikaisen organisaation ratkaistavaksi. Osa mieltää sen niin, että sillä tarkoitetaan jotain yleisemmän tason johtamisympäristöä, jonka tarkoituksena on tuottaa tietyn rajatun suunnitelman mukaisia tuloksia ja ratkaisuja. (Artto *et al.* 2008, s. 24.)

Sana projekti tulee alun perin latinan kielestä. Sana *projectum* tarkoittaa suoraan käännettynä ”esiin heitetty”, joka ei varsinaisesti anna minkäänlaista konkreettista merkitystä sanalle. (Karlsson, Marttala 2001, s.11.) Ruuskan mukaan (2007, s. 18) sana projekti tarkoittaa latinasta käännettynä ehdotusta tai suunnitelmaa, ja suomenkielisenä synonyymina projekti-sanalle käytetään sanaa hanke.

Edellä on mainittu vain muutamia esimerkkejä projektin määritelmästä. Tämä projekti on lähellä laajasti hyväksyttyä määritelmää, jossa on summattu osatekijöitä edelläkin kuvatuista määritelmistä. ”*Projekti on ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, monimutkaisten ja toisiinsa liittyvien tehtävien muodostama ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu ainutkertainen kokonaisuus.*” (Artto *et al.* 2008, s. 26.)

Koska projekti käsitteenä on niin moninainen, mainittakoon muutama toisenlainen tapa määritellä projekti. Karlssonin ja Marttalan kirjassa todetaan, että ”*Projekti on kestoltaan rajallinen, ainutkertainen ja muusta toiminnasta erillään oleva toiminto, jonka tarkoituksena on resursseja ohjailemalla saavuttaa tietty päämäärä.*” (Karlsson, Marttala 2001, s. 11.) Lööwin kirjassa nostetaan esiin muutamia projektipäälliköiden itse käyttämiä määritelmiä projektista. ”*Projekti kuvaa muotoa eikä sisältöä. Idean ainutlaatuisuus ei tee siitä projektia.*” Tai ”*Projektimuotoinen työskentely tarkoittaa ihmisresurssien ja aineellisten ja rahallisten resurssien hyödyntämistä suunnitellusti ja organisoidusti. Projektissa käydään läpi hyvin jäsennelty prosessi, joka johtaa ideasta toteutumiseen. Tarkoituksena on lyhentää aikaa ja kustannuksia, joita tarvitaan sekä laadullisesti että määrällisesti laadukkaan muutoksen aikaansaamiseksi.*” (Löow 2002, s. 16.)

Kaikki erilaiset projektista käytettävät määritelmät eivät välttämättä ole toisiaan poisulkevia, vaan ne voivat olla hyvinkin samanlaisia ja lomittaisia. Vaikka tässä projektissa perustetaan tietynlainen väliaikainen projektiorganisaatio, on se samalla myös tehtä-

viä ja vaiheita. Projektin elinkaari perustuu näiden tehtävien ja vaiheiden välisiin riippuvuuksiin. (Arto *et al.* 2008, s. 25). Projekti on siis toiminnan ja toteuttamisen väline, joka on hyvin organisoitua ja suunniteltua toimintaa, jossa päämääränä on tiettyjen erityistavoitteiden ja toiveiden saavuttaminen käyttöön osoitettujen voimavarojen avulla (Viirkorpi 2000, s.8).

2.1 Projektin päämäärä

Määritelmän mukaan projektilla on jokin tavoiteltava päämäärä. Se on eräänlainen tila, jonka saavuttamiseen projektilla pyritään. (Arto *et al.* 2008, s. 31). Ellei päämäärää ymmärretä oikein, ei ole olemassa toivottua tilannetta, johon pyrkii (Karlsson, Marttala 2001, s. 25). Itse asiassa päämäärä on lähtökohta sille, miksi koko projekti on ylipäänsä saanut alkunsa. Päämäärään perustuen tehdään konkreettiset tavoitteet, jotka ovat mitä, milloin, millä. Mitä kuvaa sitä, mitä tehdään, eli kuinka projekti rajataan. Milloin kuvaa aikatavoitetta, johon voi liittyä esimerkiksi projektin haluttu valmistuminen tai kesto. Millä tarkoitetaan käytettävissä olevien resurssien tavoitetta, eli minkälaisilla kustannuksilla tai resursseilla projekti halutaan toteuttaa, ja kuka sen tekee. (Arto *et al.* 2008, s. 31). Kun projektille asetetut tavoitteet on saavutettu, se päättyy (Ruuska 2007, s. 19).

Se, mitä päämäärä pitää sisällään, muokkautuu aina tilanteen ja tarpeen mukaan. Tarve voi muodostua esimerkiksi asiakkaan toimesta, lain säätäminä velvoitteina tai muina erilaisina ohjeistuksina tai päätöksinä. Tämän opinnäytetyön esimerkkitapauksessa päämääränä on olemassa olevan testijärjestelmän päivitys/uudistaminen. Osittain tuotteen vaatimukset ovat olemassa suoraan konsernin sisäisten ohjeiden mukaisesti, mutta etenkin aikataulutavoitteet on asetettu suoraan konsernin vaatimusten mukaisesti. Testipenkin turvallisuuden parantamiselle oleva takaraja oli määritelty. Lisäksi resurssitavoite määräytyi suoraan käytettävissä olevan budjetin mukaan.

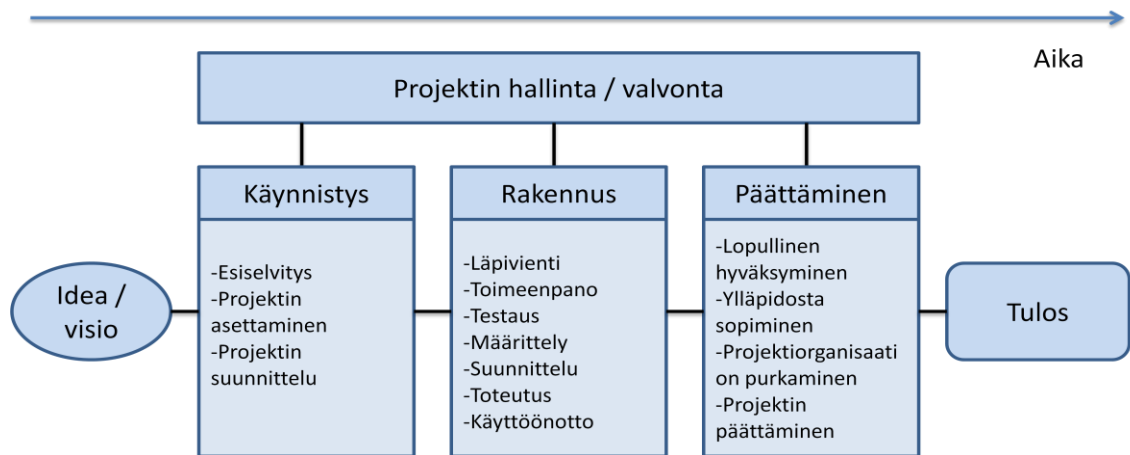
Nämä kolme päätavoitetta, aika, laajuus ja kustannus, kulkevat aina käsi kädessä eikä näitä voida erotella toisistaan. Projektin haluttu tuote ja laajuus vaikuttavat siihen, mikä verran tarvitaan aikaa sen toteuttamiseen. Laaja projekti tarvitsee usein enemmän resursseja ja esimerkiksi henkilöitä toteutuakseen. Nämä eivät kuitenkaan aina ole toisistaan pois sulkevia tai toisiinsa täysin sidoksissa, eivätkä ne myöskään ole suoraan verrattavissa toisiinsa. Näiden kolmen päätavoitteen välisen yhteyden löytäminen ja niiden kanssa pelaaminen takaavat onnistuessaan menestyksekkään projektin, päämäärän saavuttamisen.

2.2 Projektin vaiheet

Tyypillinen lähtökohta projektille on se, että meillä on jokin ongelma tai tarve, johon halutaan löytää ratkaisu. Esimerkkinä voidaan pitää kahta eri tilannetta, joiden välissä on kuilu. Jos kuilun yli ei ole pääsyä, on olemassa ongelma. Tyypillisesti projekti saa

alkunsa alustavasta ratkaisusta, jolla olemassa oleva ongelma tai tarve voidaan ratkaista. (Karlsson, Marttala 2001, s. 14.)

Näin ollen projektilla on selkeä elinkaari, koska sillä on alkamis- ja päättymisajankohta. Voidaan sanoa, että projekti on tehtäväkokonaisuus. Elinkaareen kuuluu eri vaiheita, joilla jokaisella on omat ominaisuutensa, kuten ongelmat ja toimintamallit. Niinpä ne poikkeavat toisistaan myös työskentelytavoiltaan. Projektin eri vaiheet ja niiden lukumäärät jakavat mielipiteitä, mutta yleensä niistä voidaan eri määritelmistä huolimatta tunnistaa samat peruselementit kuvan 2.1 mukaisesti. (Ruuska 2007, s. 22.)



Kuva 2.1. Projektin vaiheet (Perustuu lähteisiin Oulun kauppaoppilaitos 2003; Ruuska 2007).

Projekti lähtee käyntiin ideasta tai visiosta. Riikosen sanoin (1998, s. 9) ”Ideoinnin ja sitä seuraavan projektin suunnittelun johtotähtenä on yleensä halu kehittää organisaation toimintaa tai tehdä jotain uutta, jota ei ole ennen tehty.” Ideasta seuraa käynnistysvaihe, johon kuuluu esiselvitystyö, projektin asettaminen ja sen suunnittelu. Sen jälkeen ”rakennetaan” projekti, ja tähän toteutusvaiheeseen voi kuulua läpivienti, toimeenpano, testausta, määrittelyä, suunnittelua, toteutusta ja käyttöönotto. Lopuksi projekti päätetään, eli se hyväksytään lopullisesti. Sovitaan, kuka ylläpitää lopputulosta ja puretaan projektiorganisaatio. Lopputuloksena on projektin avulla ideasta päädytty tulokseen.

2.3 Vaihtoehtoisten ratkaisujen tuottaminen, arvioiminen ja valitseminen

Eri vaihtoehtojen tuottaminen ja esiin nostaminen on luova prosessi myös hydraulijärjestelmän suunnittelussa. Eri vaihtoehtojen tuottamiseksi apuna voi käyttää erilaisia ajattelun tekniikoita tai aivoriihiä. Luovien ratkaisujen tuottamiseksi työympäristön tulee olla mahdollisimman hyvä. Ryhmän sisäiset hyvin toimivat sosiaaliset suhteet mahdollistavat luovan työskentelyn. Mikäli yhteishenki ei toimi, voi sen vaikutus ryhmän luovuuteen olla merkittävä. Hyvän hengen lisäksi on tärkeää, että ryhmän sisällä vallitsee luottamus, ja ihmiset voivat tukeutua toisiinsa tarpeen vaatiessa. Kun erialaisia rat-

kaisuehdotuksia on syntynyt tarpeeksi, ja ne on saatu jaoteltua, tulee niistä valita parhaat toteuttaviksi. (Karlsson, Marttala 2001, s. 38-42.)

Tällaisessa opinnäytetyön tapauksessa, projektissa, eli hydraulijärjestelmän suunnittelussa, eri vaihtoehtojen arvioiminen oli merkittävä osa projektia. Käytännössä arvioiminen tarkoitti sitä, että jokaisen komponentin kohdalla tarkasteltiin sen merkitystä järjestelmälle sekä sille asetettavia vaatimuksia. Tämän opinnäytetyön toteutus-osiossa pyritäänkin löytämään järjestelmän osien eri pääkomponenttien vaihtoehtoista ne parhaat huomioiden olosuhteet ja tarpeet.

2.3.1 Edut ja haitat

Mitä tietyn komponentin valinta tuo lisäetuna järjestelmälle? Onko se välttämätön, tai onko se mahdollista toteuttaa vaihtoehtoisella menetelmällä? Voiko sen käyttäminen haitata järjestelmää tai sen toimintaa jotenkin? Mikäli vaihtoehdon valitseminen ei tuo mitään etua tai arvoa, voi sen hylätä. Hyvällä ehdotuksella voidaan toteuttaa muitakin päämääriä, mutta koska harvoin pystytään tyydyttämään kaikkia vaatimuksia, tulee tunnistaa niistä tärkeimmät. (Karlsson, Marttala 2001, s. 42.)

Jotkin haitat voivat olla sen tyyppisiä, että ne syövät myös hyvien ehdotuksien etuja tai tuhoavat ne kokonaan. Haittoja voivat olla esimerkiksi ympäristövaatimukset tai muut lisävaatimukset. Jos valitaan uusin ja hienoin ohjausjärjestelmä tai tietokone, vaaditaan sen käyttäjältä joitain perustietoja tai uudelleen koulutustumista. Mikäli vaihtoehto tuottaa suunnattomasti haittavaikutuksia tai se tuhoaa muita etuja, ei se luonnollisesti-kaan ole etu. (Karlsson, Marttala 2001, s. 42.)

2.3.2 Kilpailijoiden ja korvaavien ratkaisujen vahvuudet ja heikkoudet

Kilpailun tunnistaminen on tärkeää, jotta olemassa olevia vaihtoehtoja voidaan tarkastella tarpeeksi kattavasti. Mitä ovat kilpailijoiden vahvat alueet, ja mitä taas heidän heikkoutensa. Tämän projektin puitteissa on tullut esiin tilanteita, joissa kilpailijoina toimivat oman yrityksen tuote ja kilpailevan yrityksen tuote. Kilpailijoihin tutustumalla opimme tuntemaan myös omat vahvuutemme, heikkoutemme ja asemamme. Näin voidaan määritellä myös se taso, johon omalla toiminnalla halutaan tähdätä. (Karlsson, Marttala 2001, s. 43.)

Korvikkeiden tunnistaminen voi olla ajoittain hyvin vaikeaa. Ne ovat sellaisia tuotteita tai palveluita, joiden avulla sama asia voidaan toteuttaa. Sen takia on erityisen tärkeää pohtia sitä, mikä on todellinen tarve, ja mitä oikeasti halutaan. Kaksi samaa tuotetta ei välttämättä kilpaile keskenään, kun taas kaksi täysin eri tuotetta voi kilpailla keskenään. Hyvänä esimerkkinä on Karlssonin ja Marttalankin kirjassa (2001, s. 43.) esiin nostettu

Rolex. Sen tarkoitus ei välttämättä ole kilpailla erilaisia kelloja vastaan, vaan se kilpailee muiden luksustuotteiden kanssa.

2.3.3 Toteutettavuus

Itsessään loistava ajatus voi kaatua siihen, että se on haasteellinen, ellei peräti mahdoton toteuttaa. Niiden toteuttaminen voi vaatia määräysten tai esimerkiksi konsernin sisäisten vaatimusten vastaista toimintaa, eikä täten ole mahdollista toteuttaa. Lisäksi tarpeeksi innovatiivisen ryhmän tuotokset voivat olla niin lennokkaita, ettei niiden toteuttaminen ole sen aikaisella tekniikalla mahdollista toteuttaa. Toisaalta vaikeastikin toteutettavissa oleva vaihtoehto voi olla niin hyvä, että sen toteuttaminen on kannattavaa haasteellisuudesta huolimatta. (Karlsson, Marttala 2001, s. 43.)

Projektia ja sen tulosta pidetään osana ympäristönsä osajärjestelmää, mutta myös tämä ympäristö muodostuu lukuisista muista järjestelmistä. Yritystä on eräänlainen järjestelmä, joka on osa suurempaa taloudellista, juridista tai arvojärjestelmää. Ympäristö tulee aina asettamaan rajoituksia projektin toteutukselle. Tehtäväksemme jää tunnistaa nämä vaatimukset. (Karlsson, Marttala 2001, s. 44.)

2.3.4 Riskialttius

Onko kyseinen valinta turvallisuutta parantava, vai peräti sitä heikentävä? Riskialttius voi helposti olla yksi merkittävimmistä tekijöistä hydraulijärjestelmän suunnittelussa. Etenkin opinnäytetyön järjestelmässä kaikki riskit on täytynyt ottaa erityisen tarkasti huomioon, koska käytössä on suuret painetasot sekä suuret tilavuusvirrat. (Karlsson, Marttala 2001, s. 46.)

Vaihtoehdon riskitekijöiden kartoituksessa on tärkeää ottaa huomioon sidosryhmät sekä intressiriidat, joustavuus ja testattavuus. Sidoryhmät voivat olla yksilöitä tai ryhmiä, joihin projektin lopputulos jollain tavalla vaikuttaa, ja ne on tunnistettava. Niitä voivat olla esimerkiksi:

- johtohenkilöt
- projektiryhmä
- tilaaja
- ulkoiset projektin vaikutuspiiriin kuuluvat ryhmät tai henkilöt
- vastustajat
- alihankkijat. (Karlsson, Marttala 2001, s. 46.)

Intressiriitoja voi syntyä siitä syystä, että eri sidoryhmillä on erilaiset syyt ja tarpeet, miksi he ovat osallisena projektiin. Projektin tavoitteet arvioidaan eri tavoilla ja sen merkitys on erilainen. Mikäli eri sidoryhmillä on eri määrät vaikutusvaltaa projektiin, voi projektin suunta muuttua sen edetessä. On tärkeää tunnistaa mahdolliset ristiriidat

mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta ne eivät vaikuta projektin lopputuloksen laatuun. (Karlsson, Marttala 2001, s. 47.)

Koska tulevaisuus on aina epävarma, tulee tarkastella vaihtoehdon mahdollista mukautuvuutta olosuhteiden muuttuessa. Onko ehdotus tarvittaessa sopeuttamiskelpoinen? Voiko siihen lisätä tai voiko siitä vaihtoehtoisesti poistaa osia? Lisäksi eri ehdotusten mahdollisella testaamisella sen toimivuutta voidaan tarkastella. Testitulosten avulla ehdotus voidaan joko hylätä tai mahdollisesti muokata sitä sopivammaksi. (Karlsson, Marttala 2001, s. 48.)

2.3.5 Voimavarat

Minkälaisia voimavaroja erilaiset ratkaisuvaihtoehdot vaativat? Onko niiden toteuttamiseen tarpeeksi resursseja? Voimavaroilla tässä tapauksessa tarkoitetaan aikaa, pääomaa ja osaamista. Koska nämä kolme tekijää ovat rajallisia, tulee ne nostaa heti alussa esille. (Karlsson, Marttala 2001, s. 48.)

Usein projektilla on ennalta asetettu takaraja. Tämän takia tarvitaan karkea aikataulu. Projektin takaraja ja tavoitteellinen takaraja eivät välttämättä ole sama asia. Pääoman eli kustannusten arvioinnissa voi karkeastakin aikatauluarviosta olla apua. Valittu vaihtoehto vaatii tiettyä osaamista, jotta se on mahdollista toteuttaa. Siksi on tärkeää tarkistaa, että on olemassa kaikki tarvittava osaaminen vaihtoehdon ja projektin toteuttamiseen. (Karlsson, Marttala 2001, s. 48.)

2.3.6 Yhteensopivuus pysyvän organisaation päämäärien kanssa

Miten koko projekti integroituu organisaatioon? Noudattaako se yrityksen strategioita ja päämääriä linjan mukaisesti? Joskus erinomainenkin idea voi kaatua siihen, että se ei ole yhteensopiva organisaation peruserätyksien kanssa. Onko ehdotus sellainen, että sen toteuttaminen soveltuu hyvin jonkun muun organisaation suunnitelmiin, tai onko ajankohta täysin väärä? Onko olemassa tarpeeksi tietotaitoa, vai onko tarvetta käyttää esimerkiksi alihankkijoita? (Karlsson, Marttala 2001, s. 50.)

Tämä projekti pitää sisällään sellaisia vaihtoehtoja ja ratkaisuja, joiden toteuttamiseen on käytetty alihankkijoita. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi tietynlaiset hydraulikomponentit, kuten virtausmittarit ja lämpötila-anturit, sekä rautarakenteet. Osa alihankkijoista on välttämättömiä, sillä yrityksemme sisältä ei löydy vaihtoehtoisia ratkaisua. Lisäksi esimerkiksi suunnittelutyö toteutettiin osittain alihankkijalla resurssien kohdentamisen tarpeen takia.

2.4 Projektinhallinta

Maailmanlaajuisesti projektinhallinta on käsitteenä melko vakiintunut erilaisten tutkimusten ja standardisointien myötä. Projektin tarkastelussa onkin muodostunut selvä kehityssuunta siihen, että sitä tarkastellaan laajempuna kokonaisuutena. Nykyään sitä halutaan tarkastella osana laajempaa asiayhteyttä. (Artto *et al.* 2008, s. 13.)

Projektin toteuttamisesta tekee haastavan sen moninaisuus sekä kaikki eri osa-alueet ja aihekokonaisuudet, jotka tulee ottaa huomioon, mikäli halutaan taata sen onnistuminen ja tavoitteiden täytyminen. Keskeinen haaste on löytää keinot, jolla voidaan saavuttaa odotusten ja vaatimusten mukainen päämäärä. (Artto *et al.* 2008, s. 38.)

Erilaiset tekniset, sosiaaliset ja taloudelliset seikat vaikuttavat siihen, kuinka onnistutaan toimintaympäristön ja sisällön mukaan. Kun puhutaan itse projektista ja projektinhallinnasta, on johtamistavoilla ja menetelmillä merkittävä vaikutus projektin onnistumiselle. Eri elementit, suunnittelu, johtaminen ja edistäminen, voidaan summata yhteen lauseeseen, jolla kuvataan projektin hallintaa. ”Projektinhallinta on projektin tavoitteiden ja päämäärän saavuttamiseen tähtäävien johtamistapojen soveltamista.” (Artto *et al.* 2008, s. 35.)

Johtamistavan soveltaminen ja painotus voi projektin eri vaiheissa vaihdella huomattavasti. Käsitteenä se pitää sisällään kaiken, mitä onnistuneessa projektissa tarvitaan päämäärien ja tavoitteiden saavuttamiseen. Näitä ovat kaikki tieto, taito, menetelmät ja työkalut. (Artto *et al.* 2008, s. 35.)

Tavoitteiden ja päämäärien saavuttamiseen liittyy kaikki eri sidosryhmät ja heidän tarpeidensa ja odotustensa täyttäminen. Kaikki eri osapuolet, joilla on vaikutusta projektiin, tai joihin projekti itsessään vaikuttaa, ovat projektin sidosryhmiä. Tällaisia sidosryhmiä voivat olla esimerkiksi organisaatiot, järjestöt, tai yksittäiset henkilöt. Usein näiden kaikkien eri sidosryhmien välissä toimiminen on erittäin haastavaa, sillä heidän intressinsä voivat olla jopa ristiriidassa keskenään. Näiden eri sidosryhmien tarpeet voivat olla tunnistettavissa, mutta ne voivat olla myös tunnistamattomia odotuksia, vaikka päämäärä niitä palvelisikin. Onnistumisen edellytyksenä on, että huomioi eri sidosryhmien tarpeet ja odotukset. (Artto *et al.* 2008, s. 35.)

2.4.1 Projektinhallinnan jaottelu

Projektin jaottelu voidaan tehdä monin eri tavoin. Kolme tyypillisintä tapaa on jakaa se osiin tietoaalueittain, osaamisena ja ominaisuuksina tai työvälteinä ja dokumentaationa. Näiden osa-alueiden kokonaisvaltainen hallinta on yksi tapa taata edellytykset onnistuneeseen projektiin. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Projektinhallinnan jaottelu voidaan toteuttaa *tietoaalueittain*. *Projektin kokonaisuuden hallinnalla* pyritään toteuttamaan projekti kokonaisuutena, jossa integroidaan projekti ja

sen johtamisen alueet. Eri osaprojektit ja kokonaisuudet tulee hallita kokonaisvaltaisesti. Lisäksi kokonaisuuteen kuuluu tavoitteiden määrittely, niiden tarkentaminen projektin edetessä sekä muutosten hallinta. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Laajuuden hallinta on erityisen tärkeää. Tulee pitää huoli siitä, että toteutetaan halutut tulokset ja asetetut tavoitteet ilman ylimääräisten resurssien käyttämistä. On kaikkien etujen mukaista käyttää aika ja resurssit mahdollisimman tehokkaasti. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Aikataulun hallinta tarkoittaa sitä, että on olemassa jokin aikamääre, jonka puitteissa projekti suunnitellaan ja pyritään toteuttamaan. Aikataulun hallinnalla pyritään varmistamaan siitä, että asetetut tavoitteet saadaan täytettyä myös aikataulullisesti, jotta projekti saadaan valmiiksi sovitusajan puitteissa. Aikataulun hallintaan kuuluu oleellisesti työn osiin jakaminen, niiden riippuvuuksien ymmärtäminen ja määrittäminen sekä muutosten hallinta. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Kustannusten hallinta on käytettävissä olevista resursseista merkittävin osa-alue, raha. Siihen kuuluu niin kustannusarviointiin, budjetointiin kuin kustannusten seurantaan liittyvät toiminnot. Näiden osa-alueiden avulla voidaan varmistua siitä, että projekti toteutetaan kustannustehokkaasti sekä yrityksen ominen liiketaloudellisten periaatteiden mukaan. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Resurssien ja henkilöstön hallinta pitävät sisällään ne muut oleelliset resurssit, jotka tulee ottaa huomioon konkreettisten kustannusten lisäksi. Henkilöstöä ja resursseja tulee olla käytössä oikeaan aikaan oikea määrä siten, että projektin eteneminen on tehokasta. Resurssien hallinnalla on suuri merkitys etenkin aikataulun hallinnan kannalta, sillä kaikki aikataulutetut toimenpiteet vievät molempia, aikaa ja resursseja. Etenkin projektiorganisaatio, henkilöstön hankkiminen sekä tehtävien ja vastualueiden suunnittelu on henkilöstön hallinnan kannalta merkittäviä tehtäviä. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Kommunikaation hallinnalla tarkoitetaan kaikenkokoista viestintää eri sidosryhmien ja osapuolten välillä (Artto *et al.* 2008, s. 37). Eri viestintävälineiden ja mekanismien hallinnalla varmistutaan siitä, että tieto ja taito kulkevat oikeille ihmisille oikeaan aikaan ja oikeaan suuntaan. On tärkeää myös rajata tiedonkulkua siten, että se ei päädy väärille sidosryhmille sekä tietosuojan takia että tarpeettoman työn vähentämiseksi.

Riskienhallinta tarkoittaa projektia tarkasteltaessa itse projektiin liittyvien riskien tunnistamista ja arviointia. Se on johdettua toimintaa, jossa suunnitellaan ja toteutetaan kaikki riskeihin vaikuttavat sekä niiden karttamisen mahdollistavat toimet. (Artto *et al.* 2008, s. 37.)

Hankintojen hallinta liittyy muun muassa yrityksen ulkopuolisten resurssien käyttöön. Projektin toteutuksen aikana voi tulla tarve käyttää yrityksen ulkopuolisia palveluita, resursseja. Näitä voivat olla esimerkiksi erilaiset suunnittelutehtävät, kuten sähkösuun-

nittelu, tai jokin muu vastaava asiantuntija-/asennustyö. Näissä tilanteissa tulee niiden valintaan käyttää aikaa ja perustella niiden valinta ja käyttö. Hankintojen hallintaan liittyvät myös mahdollisten yhteistöiden hallinta, kun taas hankinnoissa tulee olla tarkkana niihin liittyvien sopimusten kanssa. (Artto *et al.* 2008, s. 38.)

Laadunhallinnalla voidaan taata projektin onnistuminen ja laadukas toteutus. On tärkeää suunnitella, varmistua ja valvoa laatua ja sen toteutumista. Näin voidaan varmistua siitä, että projekti toteuttaa ja kattaa sille asetetut vaatimukset ja odotukset. (Artto *et al.* 2008, s. 38.)

2.4.2 Projektinhallinta osaamisena ja ominaisuuksina

Projektinhallinnan jaottelu tietoaalueittain tarkoittaa erilaisia asioita, mutta osaamiseen ja ominaisuuksiin jaottelu viittaa erilaisiin kykyihin, taitoihin ja asenteisiin. On tärkeää ymmärtää etenkin se, että olemassa oleva tieto ja osaaminen eivät välttämättä sellaisenaan ole mitään, vaan niitä tulee käyttää. Vasta se, kuinka niitä käytetään eri tilanteissa ja projektin eri vaiheissa, vaikuttaa projektin etenemiseen. (Artto *et al.* 2008, s. 38.)

Puhuttaessa osaamisesta ei kyse ole pelkästään projektinhallinnallisesta osaamisesta ja tietotaidosta. Projektin etenemisen kannalta yhtä merkittäviä osaamisaloja ovat kaikki se asiantuntijuus, jota projektin eri vaiheissa tarvitaan, on sitten kyseessä suunnittelija, asentaja, käyttöönottaja tai mitä tahansa siltä väliltä. Projektinhallinnan kannalta eri osaprojektien tarpeiden ja projektiorganisaation suunnittelun kannalta eri osaamisten tunnistaminen on hyvin tärkeää, jotta resurssit voidaan kohdentaa oikein.

2.4.3 Projektinhallinta työvälineinä ja dokumentaationa

Tämäntyyppisellä jaottelulla painotetaan projektia erilaisina ohjeistuksina ja välineinä. Monilla yrityksillä on omat tapansa ja käytäntönsä siitä, minkälaisia välineitä käytetään, ja kuinka asiat tulee dokumentoida. (Artto *et al.* 2008, s. 40.) Tämän opinnäytetyön esimerkkitapauksessa konserni on laatinut kaikki säännöt ja ohjeistukset siitä, mitä testijärjestelmän uusimiseen vaaditaan ja kuinka se tulee dokumentoida.

Nykyään työvälineiden ja dokumentaation käytön ohjeistuksilla voidaan suoraan vedota erilaisiin tietoteknisiin ratkaisuihin sekä käytettäviin järjestelmiin. Voidaan käyttää erilaisia lomakkeita, ohjeita, ohjelmia tai tekniikoita, joihin kuuluu erilaisia kaavioita tai muita apuvälineitä. Tällaisia työkaluja on jo kehitetty varta vasten projektinhallinnallisia toimenpiteitä varten. (Artto *et al.* 2008, s. 40).

2.5 Projektin sidosryhmät

Sidosryhmiä ovat sellaiset ryhmät, organisaatiot tai yksilöt, joihin projektilla on vaikutusta tai jotka voivat itse olla vaikuttamassa projektiin. Vaikutukset eivät välttämättä ole suoria, vaan eri sidosryhmien väliset vaikutukset projektiin voivat olla myös välillisiä,

epäsuoria. Eri sidosryhmien tunnistaminen on projektin päämäärien saavuttamisen ja koko projektin hallinnan kannalta erinomaisen tärkeää. Eri sidosryhmillä voi olla erilaisia odotuksia ja tarpeita, ja niiden kaikkien välisen harmonian löytäminen vaatii todellista projektinhallintaa. (Artto *et al.* 2008, s. 41).

Tyypillisiä sidosryhmiä, joilla on projektiin välitön yhteys, ovat *projektipäällikkö, projektiorganisaatio, projektiryhmä, projektin toteuttavan yrityksen organisaatioyksikkö, asiakas, käyttäjä, tilaaja ja sponsori tai projektin omistaja*. (Artto *et al.* 2008, s. 40). Opinnäytetyötä koskevassa projektissa tilanne onkin sellainen, että sekä tilaajana, käyttäjänä, asiakkaana sekä toteuttajana on pääpiirteittäin sama yritys. Ja näiden sidosryhmien edustajista on koostettu projektiryhmä, joka määrittelee tavoitteet ja päämäärän sekä tekee päätökset. Muita sidosryhmiä, joilla ei ole välitöntä vaikutusta projektiin, voivat olla esimerkiksi media, rahoittajat, kilpailijat sekä monet muut erilaiset tahot. (Artto *et al.* 2008, s. 41).

2.6 Projektiorganisaatio

Projektiorganisaatio on organisaatio, joka on perustettu projektin toteuttamista varten. Organisaatio on määräaikainen, ja projektin jälkeen siihen kuuluvat henkilöt siirtyvät takaisin linjaorganisaation tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi seuraavaan projektiin. (Pelin 2011, s. 63.)

Projektiorganisaatio on tulossuuntautunut ryhmä, jossa eri tahoilla on määritellyt toteutusvastuut, roolit sekä keskinäinen työnjako. Näin voidaan organisoida projekti siten, että jokaisella on omat tehtävänsä, eikä kaikkien tarvitse tehdä kaikkea. Näin myös vastuu projektin kannalta oleellisten töiden osalta saadaan jaettua. (Artto *et al.* 2008, 287.)

2.6.1 Projektiorganisaation rakenne

Projektille on tyypillistä, että siinä voidaan tunnistaa ainakin seuraavia osia: projektipäällikkö, projektiryhmä, projektin johtoryhmä ja tilaaja. On mahdollista, että väliaikaisena projektiorganisaatio poikkeaa organisaation tyypillisestä rakenteesta, sillä siinä esimerkiksi projektiryhmään voi kuulua ihmisiä eri yksiköistä ja organisaatioista niin tilaajan kuin alihankkijan puolelta. (Artto *et al.* 2008, s. 287.) On kuitenkin harvinaista, että projektiorganisaatio on täysin erillinen (Pelin 2011, s. 66). Tässäkin tapauksessa projektiorganisaatiolla on liittyviä yrityksen linjaorganisaatioon.

Tässä projektissa projektiorganisaatio on organisoinnin takia jaettu erilaisiin osaprojekteihin. Osaprojektit kuvaavat projektin jotain tiettyä osa-aluetta. Niistä voidaan käyttää erilaisia nimiä ja määrittelyjä, ja on mahdollista, että ne voidaan liittää suoraan projekti-suunnitelman mukaisiin tehtäviin. Organisaatorakenteeseen voidaan erikseen nimetä projektin ydinryhmä, johon kuuluvat esimerkiksi osaprojektin päälliköitä, kun taas laa-

jennettuun projektiryhmään voidaan sisällyttää kaikkien osaprojektien koko henkilöstö. (Artto *et al.* 2008, s. 287.)

Tämän projektin asiakkaana toimivat oma organisaatio ja omat toimitilat, joten projektin ydinryhmään kuuluu samalla myös tilaaja/asiakas. Ydinryhmä on nimetty eri henkilöiden osaamisalueiden mukaan, ja siihen kuuluu projektipäällikön lisäksi eri osa-alueiden asiantuntijoita.

2.6.2 Yhteiset tavoitteet

Projektiryhmän jäsenet edustavat klassisen johtamisen määritelmässä yleensä sekalaista joukkoa ihmisiä, jotka kaikki ovat erilaisista osastoista. Tällaisen asettelun seurauksena jokainen ryhmän jäsen tuntee luonnollista halua ottaa osaa hallinnollisiin toimiin. Tällaisia toimia ovat muun muassa suunnittelu, mittaus, arviointi ja ennakointi. (Forsberg *et al.* 2003, s. 62.)

Ryhmätyön aloittamisen edellytyksenä on määritellä selkeät tavoitteet koko joukolle. Korkeammalla tasolla yksimieliset päätökset syntyvät yleensä helposti, mutta ristiriitojen tunnistamisen kannalta on tärkeää porautua pintaa syvemmälle. Ne tulee tunnistaa aina toiselle tai kolmannelle tasolle asti. (Forsberg *et al.* 2003, s. 62.)

2.6.3 Projektiorganisaation roolit ja vastuut

Projektiryhmäläisten roolit ja vastuut vaihtelevat eri henkilöiden välillä riippuen projektin sen hetkisestä tarpeesta ja tilanteesta. Projektipäällikön ja johtoryhmän vastuista voi olla periaatteelliset ja hyvin yleisen tason sopimukset, jolloin niitä voidaan täsmentää tilanteen mukaan. Projektiorganisaation muodostusvaiheessa kannattaa vastuunjako suorittaa mahdollisimman selkeästi ja yksiselitteisesti. Näin voidaan pyrkiä pitämään mahdolliset epäselvyydet mahdollisimman epätodennäköisinä. (Artto *et al.* 2008, s. 287).

Vastuunjako pitää sisällään esimerkiksi sen, mitä kenenkin tehtäviin kuuluu, tai mistä hänen tulee huolehtia. Kuka tekee päätöksiä missäkin asiassa, ja kenen vastuulla on huolehtia siitä, että projekti etenee? Kaikki työnjaolliset asiat kannattaa ainakin yleisellä tasolla sopia hyvissä ajoin projektin osapuolten välillä, ja se kannattaa dokumentoida esimerkiksi kaaviopiirroksen avulla. (Artto *et al.* 2008, s. 287).

Kun projektin osa-alueista on sovittu yleisellä tasolla, on sen jälkeen tarpeen sopia yksityiskohtaisempi työnjako jokaisen osaprojektin sisällä. Tämä kannattaa tehdä aina henkilötasolle asti. Voi olla, että on riittävää osittaa työ vastuunjaon näkökulmasta, mutta toisinaan asioiden vieminen yksityiskohtaisiin osituksiin aina jokaisen osapuolen henkilökohtaisten roolien jaosta lähtien on kannattavaa. (Artto *et al.* 2008, s. 287).

Projektin *asettaja* on se henkilö, joka tekee päätöksen projektin käynnistämisestä ja joka toimii projektin rahoittajana. Hänen tehtäviinsä kuuluu päätöksen teko projektin aloittamisesta, keskeyttämisestä ja päättymisestä, hän nimeää projektin johtoryhmän, vastaa viimekädessä käytössä olevista resursseista sekä ratkaisee mahdolliset kiistatilanteet. (Pelin 2011, s. 66.)

Projektin *johtoryhmä* voi olla pienissä projekteissa yksi henkilö, projektin valvoja, ja johtoryhmä edustaa projektin asettajaa. Projektin johtoryhmään kuuluvat jäsenet ovat niitä henkilöitä, joihin projektin tulos merkittävästi vaikuttaa. Projektista riippumatta sen johtoryhmä on korkein päättävä elin, ja sen toiminta perustuu asettajan määräyksiin ja kaikkiin voimassa oleviin yleisohjeisiin. Johtoryhmän tehtäviä ovat muun muassa määrittellä projektin ajalliset, tekniset ja kustannukselliset tavoitteet, nimetä projektipäällikkö, hyväksyä projektipäällikön laatima suunnitelma, antaa projektille sen tarvitsevat resurssit, tehdä oleelliset päätökset, hyväksyä tulos ja päättää projektin lopettamisesta. (Pelin 2011, s. 67.)

Projektipäällikön tehtävä johtajana on merkittävä, sillä hän on se henkilö, jonka kokonaisvastuulla on projekti, sen suunnittelu, toimeenpano ja tehtävien valvonta. On helppo mieltää ajatus, että johtamisella on vahva yhteys menestymiseen kaikissa tilanteissa. Johtamisen alaa on tutkittu paljon, ja uudemman ajan tutkimuksissa on painotettu paljon innovaatioiden tuottamista ja muutoksen aikaansaamisen yhteyttä. Innovatiivisuus on yksi tapa innostaa ihmisiä, ja ihmisten innostamisessa suunnan näyttämällä ja visiolla on merkitystä. Samasta asiasta on kyse myös arvoista johdetun organisaation toimintaperiaatteissa. Ihmisten innostaminen työssä on mahdollista, kunhan heille tarjotaan mahdollisuus ”kiinnittyä” johonkin, kuten juuri nämä organisaation arvot sekä toimintaperiaatteet. (Virtanen 2009, s. 79.)

Projektipäällikkö raportoi suoraan projektin johtoryhmälle. Hänen tehtäviinsä kuuluu ainakin laatia projektisuunnitelma tai johtaa sen laatimista, käynnistää projektiryhmän työskentely ja ohjata sitä. Lisäksi hänen tulee johtaa projektin toimeenpanoa ja tehtävien anontaa sekä valvoa edistymistä, varustaa projektiryhmä tarvittavilla tiedoilla ja koulutuksella, huolehtia dokumentoinnista ja arkistoinnista, laatia loppuraportti ja suorittaa projektin päättäminen. (Pelin 2011, s. 67.)

Laajemmissa projekteissa eri osaprojekteilla on omat vetäjät, eli osaprojektipäälliköt, joiden tehtävät vastaavat projektipäällikön tehtäviä heidän omissa osaprojekteissaan (Pelin 2011, s. 67). Opinnäytetyön käsittelemä projekti on sen verran pieni, että vaikka projekti on jaettu erilaisiin osaprojekteihin, vastaa kaikista osa-alueista koko projektin projektipäällikkö.

Projekti-Instituutin tekemässä projektipäällikön kultaisessa käsikirjassa (Projekti-instituutti 2013) on listattu ominaisuuksia, joihin projektipäällikön tulee kiinnittää huomiota. Nämä ominaisuudet ovat:

- johtajuus
- sitoutuminen
- motivaatio
- itsehillintä
- itsevarmuus
- rentous
- avoimuus
- luovuus
- tulossuuntautuneisuus
- tehokkuus
- konsultointi
- neuvottelut
- ristiriidat
- kriisit
- luotettavuus
- arvojen kunnioitus
- eettisyys.

Näiden lisäksi pyrin itse olemaan aina kiinnostunut asiasta, sekä kiinnittämään huomiota puheviestintätaitoihin sekä kanssakäymiseen ihmisten ja asioiden kanssa.

Projektiryhmän jäsenenä on hyvin oleellista, että hänellä on hänen oman vastualueensa ammattitaidon hallintaa sekä yhteistyökyvykkyyttä. Hänen tehtäviinsä kuuluu suunnitelman laatimiseen osallistuminen etenkin oman vastualueensa osalta, huolehtia projektipäällikön määrittelemien tehtävien suorittamisesta, raportoida työn edistymisestä, dokumentoida tulokset, noudattaa standardeja sekä mahdollisesti kehittää omaa ammattitaitoaan sekä käyttämiään työmenetelmiä. (Pelin 2011, s. 68.)

Projektipäälliköllä voi olla alaisenaan *projektiassistentti*, joka hoitaa sovitut osat projektipäällikön tehtävistä. Tällaisia tehtäviä voivat olla esimerkiksi tarjouskyselyjen laadinnat, eri aikataulujen koordinointi sekä kokousjärjestelyt. (Pelin 2011, s. 68.) Tässä projektissa ei ollut erillistä assistenttia, vaan projektipäällikkö on vastannut kaikista projektiin liittyvistä tehtävistä itse.

2.7 Osaprojektit

Projektin osittamisella jaetaan projekti erilaisiin itsenäisesti suunniteltaviin ja toteutettaviin osiin, tehtäväkokonaisuuksiin. Yleisesti tunnettu nimitys projektiositukselle on WBS (Work Breakdown Structure). Onnistuakseen projektin osittamiselle on olemassa seuraavanlaisia tavoitteita:

- Se vaiheistaa projektin siten, että kussakin vaiheessa ositus voi olla toisistaan eriävä
- Osituksen avulla projekti jaetaan selviin organisatorisiin vastuukokonaisuuksiin

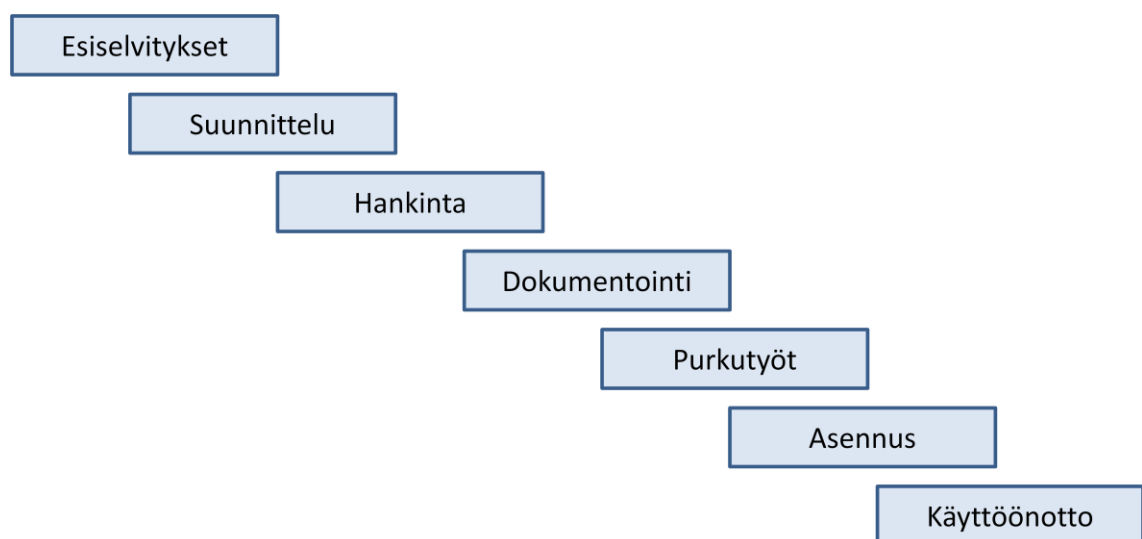
- Osituksen myötä myös aikataulut jaotellaan erillisiksi osa-aikatauluiksi, joilla on erilliset keskinäiset riippuvuussuhteet
- Se luo puitteet kustannusohjaukselle
- Se luo hierarkkisen jäsentelyn työlle
- Sen avulla ajallinen ja taloudellinen suunnittelu ja ohjaus voidaan integroida osaksi projektia. (Pelin 2011, s. 91.)

Mitään tiettyä, yhtä ainuttakaan tapaa ja ohjetta projektin osituksille ei ole, vaan se voidaan toteuttaa vaihtoehtoisilla tavoilla. Tärkeintä on tehdä ositus siten, että se vastaa kyseisen projektin tarvetta mahdollisimman hyvin. (Pelin 2011, s. 92.) Tämän projektin osaprojekteista tärkeimmät ovat hydraulikka, sähkö/automaatio, mekaniikka/rautarakenne, dokumentaatio, purkutyöt, asennus ja käyttöönotto.

2.8 Projektin vaiheistus

Tyypillisesti projekti jaetaan erilaisiin peräkkäisiin vaiheisiin. Eri vaiheet helpottavat päätösten tekoa eikä silloin tarvitse sitoutua päätöksiin liian hataralla pohjalla. Vaiheisiin jaottelemalla voidaan vaiheen valmistumisen jälkeen tarkastella tilannetta uudelleen, ja miettiä seuraavan vaiheen sisältöä ja jatkosuunnitelmaa uudestaan. Vaiheittain jaottelujen välissä voidaan esimerkiksi odottaa mahdollisten rahoituskuvioiden selviämistä. Kukin vaihe voidaan taas jakaa eri osaprojekteihin. (Pelin 2011, s. 97.)

Kukin vaihe voidaan jaotella eri osaprojekteihin, jotka taas eri osaprojekteihin ja niin edelleen. Kunkin vaiheen lopputuloksena saadaan jokin merkittävä lopputulos, joka voi olla jokin konkreettinen esine, prototyyppi, selvitys, määrittely tai jokin muu vastaava tuotos. Eri vaiheiden välissä projektiryhmän kokoonpano voi muuttua selvästi. (Pelin 2011, s. 97.) Tämän projektin päävaiheet on esitelty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2. Pumpputestipenkkiprojektin vaiheet.

Tässä kyseisessä pumpputestiprojektissa päävaiheet ovat kuvassa 2.2 esitellyt vaiheet, eli esiselvitykset, suunnittelu, hankinta, dokumentointi, purkutyöt, asennus ja käyttöönotto. Projektin eri osaprojekteissa nämä vaiheet esiintyivät kunkin osan vaatimusten mukaisesti. Osaprojektit ja vaiheet voivat kulkea limittäin ja päällekkäin osittain tai kokonaan. Toisaalta ne voivat olla toisistaan riippuvaisia tai riippumattomia eri tavoin.

2.9 Projektiositus ja aikataulut

Projektista puhuttaessa kaikkia kiinnostava seikka on aikataulu ja raha. Yleensä ensimmäiset kaksi asiaa, mitä projektin tilaaja kysyy, on:

”Milloin projekti valmistuu?”

”Miten paljon se maksaa?”

Nämä ovat sellaisia kysymyksiä, joihin vastaukseksi ei käy ”En tiedä” –vastaukset. Mitä tarkemman vastauksen näihin kysymyksiin voi antaa heti projektin alussa, sitä vakuuttavamman kuvan projektista vastaava henkilö antaa kysyjälle. (Litke, Kunow 2004, s. 49.)

Projektin aikataulusta saadaan hierarkkinen järjestelmä osittamalla projekti. Perinteisten jättiläiskaavioiden sijaan parempi tapa on luoda hyvä aikataulujärjestelmä, joka koostuu pienistä osa-aikatauluista. Se voi koostua eri tasoista, joissa ylempi taso viittaa koko projektin pääaikatauluun, josta taso kerrallaan jatketaan tarpeelliselle tarkkuustasolle asti. Mikäli käytetään tällaista eri hierarkiatasojen aikatauluja, tulee aikatauluilla olla selvät kytkentäpisteet. Näin saadaan päivitettyä ylemmän tason ja sitä kautta projektin pääaikataulu heti, mikäli alemman tason aikatauluun tulee muutoksia. (Pelin 2011, s. 99.)

Projektin ryhdikäs hierarkia on vielä kuitenkin melko harvinaista, ja käytössä on paljon erilaisia ja toisistaan poikkeavia kaavioita. Lisäksi osa projektityöstä voi olla aikataulun ulkopuolella. Tästä syystä kokonaisuus ei välttämättä toimi, ja toimittajien ja töiden riippuvuuksia ei kyetä hallitsemaan. Tästä syystä projektin aikatauluhierarkia tulisi määritellä heti projektin alussa ja kuvata sitä selkeällä kaaviolla. Lisäksi tehokkuutta parantava keino on standardisoida kaaviopohjat, erittelytarkkuus, ylläpitotavat ja niin edelleen. Kerralla kunnolla tehtynä tämä vaativa ponnistus auttaa myös tulevaisuuden projekteja. (Pelin 2011, s. 100.)

Paloittelemalla projekti ja osittelemalla aikataulu, mahdollistetaan laatimisvastuun siirtäminen tasolle, jossa työtä on mahdollista tehdä suoraan. Näin saadaan välitön hyöty aikataulusuunnittelusta. Tässäkin tapauksessa hajauttaminen edesauttaa vaaditun työn kevenemistä ja se tulee varmemmin tehtyä. Kukin eri projektiorganisaation taso käyttää vain sen tarvitsemaa tietoa, eikä sen tarvitse murehtia muiden eri projektiorganisaation tasojen tiedoista ja vaatimuksista. (Pelin 2011, s. 100.)

2.10 Projektin kustannukset

Projektin hallinnan kannalta oleellisin yksittäinen käytettävissä oleva resurssi on raha, sillä projekti on taloudellinen hanke, jolla on omat taloudelliset tavoitteensa. Projektin tulee noudattaa linjaorganisaation mukaisia strategisia tavoitteita ja tulostavoitteita. Sen mukaan määräytyy käytettävissä oleva rahamäärä, jonka mukaan taas määritellään projektin budjetti. Lisäksi esimerkiksi hyvin tehty projektiositus mahdollistaa myös eri tasoja koskevat kustannusyhteenvedot. (Pelin 2011, s. 161.) Konkreettisin tapa mitata organisaation valmiutta investoida projektiin näkyy projektin sisällyttämisenä osaksi budjettia (Projekti-Instituutti 2011, s. 8).

Kustannusarvioinnin onnistuminen ja budjetin toteutuminen ovat erittäin merkittävä osa projektin onnistumista tarkastellessa. Itse projektin aikana kertyvät kustannukset ovat käytännössä tuottamatonta pääomaa, ja tästä syystä projektin aikataulun kiristäminen korostuu nopeasti. Projekti alkaa tuottaa vasta siinä vaiheessa, kun se on saatu valmiiksi. Kuitenkin projektin aikataululla ja kustannuksilla on selvä yhteys, sillä tyypillisesti mahdollisimman lyhyt aikataulu nostaa kustannuksia, ja halvin tapa toteuttaa projekti on tehdä se kohtalaisen pitkällä aikataululla. Näiden kahden osatekijän välisen suhteen optimointi on löydettävissä jostain tältä väliltä, kun verrataan kustannusten nousun vaikutusta kestoajan lyhenemiseen. (Pelin 2011, s. 161.)

2.11 Projektin päättäminen

Projektit eivät ole ikuisia, vaan se on ajallisesti rajattu ja sillä tulee olla selvä loppu. On täysin mahdollista, että joissain tapauksissa projekti päätetään sen ollessa kesken. Tällaisissa tapauksissa yleensä on kyse projektin kannattavuuteen liittyvistä muutoksista, merkittävistä muutoksista projektisuunnitelmassa, viranomaisten asettamista tai muista vastaavanlaisista tekijöistä. Projektin päättämisessä on omat haasteensa, jotka voivat olla muun muassa seuraavanlaisia:

- henkilöiden siirtyminen uusiin projekteihin edellisen ollessa kesken
- dokumentoinnin ajantasaisuuden takaaminen
- tiedotuksen puute lopputuloksista
- projektin päättämisen epäselkeä rajaus. (Pelin 2011, s. 345; Anttila 2001, s. 171.)

Kun projekti on saavuttanut halutun tuloksen, laatii projektipäällikkö loppuraportin sekä esittää johtoryhmälle projektin päättämistä. Tässä vaiheessa johtoryhmä tarkistaa projektin toteutumisen, ja tarkistaa, että projekti on toteuttanut kaikki sille kuuluvat tehtävät, kuten dokumentoinnin ja arkistoinnin. Projektin päättäminen alkaa alatasen osaprojekteista siirtyen osaprojektitasoilta ylöspäin, päättyen koko projektin päättämiseen. (Pelin 2011, s. 346; Anttila 2001, s. 171.)

2.11.1 Dokumentointi

Projektin dokumentointi voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan, hallinnollisiin dokumentteihin ja tuloksiin liittyviin teknisiin dokumentteihin. Asiakirjojen luokittelusta, arkistointitavoista ja vastuista päätetään heti projektin alussa. Asiakirjat merkitään omilla projektitunnuksilla, joiden perusteella ne voidaan erottaa muista asiakirjoista. Lisäksi asiakirjat tulee erotella siten, että projektin aikana tarvittavat asiakirjat eroavat projektin tulosten dokumentaatiosta. On tärkeää erotella valmiit projektit meneillään olevista projekteista. Dokumenteista kootaan Projektikansio, joka voi olla esimerkiksi kuvan 2.3 mukainen. (Pelin 2011, s. 350.)

Projektikansio

- Projektiehdotus
- Projektisuunnitelma
- Pöytäkirjat
- Muistiot
- Raportit
- Laskut ja tarveilmoitukset
- Sopimukset

Kuva 2.3. Projektikansion sisältö (Pelin 2011, s. 351).

Projektikansio voi olla fyysinen kansio, tai se voidaan sijoittaa verkkopalvelimelle. Tähän voidaan soveltaa yrityksen tai organisaation käytäntöjä ja sääntöjä. Tyypillisesti esimerkiksi laskutus tallennetaan erikseen talousosaston toimesta. (Pelin 2011, s. 351.)

2.11.2 Loppuraportti

Siinä vaiheessa, kun projektin lopputulos on täysin valmis, projektipäällikkö laatii loppuraportin koko projektista ja esittää johtoryhmälle projektin päättämistä. Tässä vaiheessa projektin tavoitteiden toteutumisen lisäksi johtoryhmä tarkistaa myös muut projektiin oleellisesti liittyvät osa-alueet, kuten dokumentoinnin ja arkistoinnin. Loppuraportti on merkittävä etenkin uusien projektien takia. Raportin avulla voidaan tulevia projekteja tehostaa paneutumalla niihin asioihin ja ratkaisuihin, jotka vaikuttivat merkittävästi projektin onnistumiseen sekä niihin, jotka haittasivat projektin kulkua. (Pelin 2011, s. 354.)

On tärkeää ymmärtää, että loppuraportti ei ole päiväkirjamainen selostus projektin kuluista. Sen tarkoitus on tuoda lyhyesti esille se, kuinka projekti on onnistunut verrattuna

tavoitteisiin. Lisäksi siihen listataan mahdolliset toimenpiteet, jotka suoritetaan tai tulee suorittaa projektin päättymisen jälkeen. Myös projektiin osallistuneista henkilöistä kannattaa koostaa henkilöluettelo, josta käy ilmi eri ihmisten toimenkuvat sekä yhteystiedot. (Pelin 2011, s. 354.)

2.12 Projektikokoukset

Viimeisenä nostetaan esille projektikokousten merkityksen osana projektin hallintaa, sillä kokouksia tarvitaan projektiorganisaatiossa ja kaikissa eri osaprojekteissa ja eri projektin vaiheissa. Yleisesti projekteja voidaan pitää tylsinä, ja joissa ideat vain tyrmätään. Usein kokouksia pidetään ilman tärkeää asiaa tai syytä vain sen takia, että niin on päätetty. Kokouksia pidetään helposti tarpeettomina, koska niissä käsiteltävät asiat koetaan tarpeellisuudessaan riittämättömiksi. (Lind 2001, s. 76.)

Kokoukset kaatuvat helposti siihen, että niissä käytetään liian pitkiä puheenvuoroja, ja keskustelu on hyvin rönsyilevää. Kun osanottajat puhuvat toistensa ohi, eikä kukaan vedä minkäänlaista yhteenvetoa, päättyy kokous puheenjohtajan päätökseen ”näillä eväillä eteenpäin”. Tästä yleensä seuraa se epäsuotuinen tilanne, ettei kukaan tiedä mistä eväistä edes puhutaan. Ollaan tyytyväisiä ainoastaan siihen, että on saatu keskustelua asioista. (Lind 2001, s. 77.)

Projektissamme kokouksemme pidettiin palaverimuotoisina keskusteluina, joissa projektin vetäjänä olin valmistellut etukäteen perusrungon, josta halusin keskustella. Tämän esityslistamaisen lähestymistavan avulla keskustelussa pysyi koko palaverin ajan punainen lanka. Tämän jälkeen jäi aikaa miettiä niitä muita seikkoja, joista ei ollut vielä keskusteltu. Projektiryhmän valinta oli toteutettu siten, että jokaisen asiantuntemuksen ansiosta jokaisella oli aina sanottavaa, eivätkä kokoukset sortuneet sellaiseen Lindinkin kirjassaan mainitsemaan (2001, s. 77.) ”vain harvat puhuvat” mentaliteettiin.

Kokouksen ulkoiset järjestelyt tulee ottaa huomioon, sillä kokouspaikalla ja järjestelyillä on usein suuri merkitys kokouksen onnistumiselle. Vapaa seinätila tai fläppitaulu on merkityksellinen, jolloin jokainen osallistuja voi käyttää niitä hyväkseen tuodakseen omat ajatuksensa paremmin esille. (Lind 2001, s. 78.) Meidän tapauksessa kokoustilat löytyvät helposti omasta toimistorakennuksesta, ja niistä löytyvät fläppitaulu ja seinätaulu. Sen lisäksi käytössä on projektori ja tietokone, jonka avulla pöytäkirjamaisten muistiinpanojen tekeminen on helppoa, koska osallistujat voivat seurata ja kommentoida niitä reaaliaikaisesti tarpeen niin vaatiessa.

3. BOSCH REXROTHIN A10VSO- AKSIAALIMÄNTÄPUMPPU JA SEN SÄÄTÖTAVAT

Koska testijärjestelmän pääkäyttötarkoitus on aksiaalimäntäpumppujen ja aksiaalimäntämoottoreiden testaaminen, käydään tässä työssä läpi myös niihin liittyvää teoriaa. Kaikista myydyistä aksiaalimäntäpumppuista ja sitä kautta testipenkin testaukseen päätyvistä pumppuista selvästi suurin osa on A10VSO-mallisia avoimen piirin aksiaalimäntäpumppuja. Tästä syystä tässä teoriaosuudessa käsitellään sen sekä sen kanssa käytettävien säädinten teoriaa. Nykyään myytävät A10VSO-pumput ovat mallia S31 (series 31). Edellinen versio oli S30 (series 30), ja uutena on tulossa S32 (series 32). Keskitytään tässä työssä vain A10VSO S31 -pumpun teoriaan. Kuvassa 3.1 on A10VSO S31 - aksiaalimäntäpumppu.



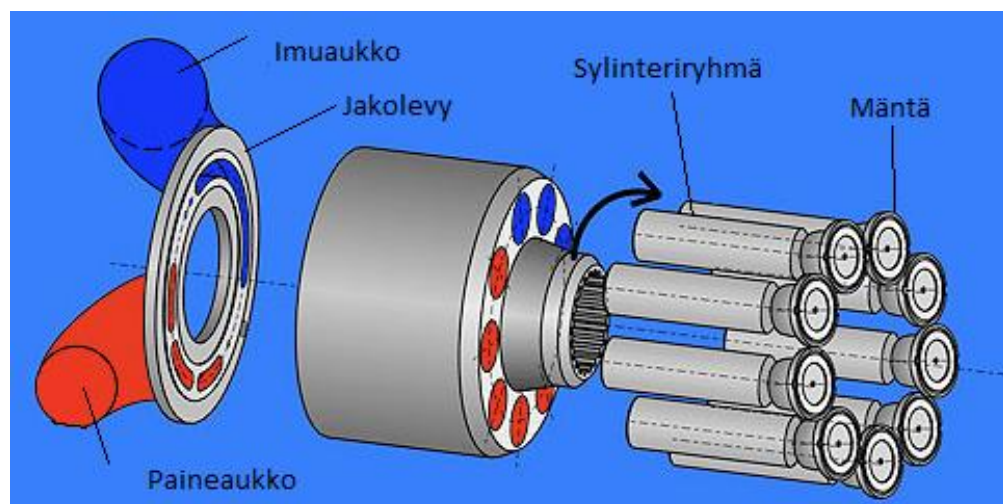
Kuva 3.1. Bosch Rexrothin A10VSO S31-aksiaalimäntäpumppu (Bosch Rexroth 2014a).

Historia A10-pumpulla ulottuu aina 80-luvulle asti. Vaikka sarja on muuttunut, voidaan silti puhua samasta pumpusta. Tätä säätötilavuuksista A10VSO-pumppua on saatavana kokoluokissa 18 cm^3 , 28 cm^3 , 45 cm^3 , 71 cm^3 , 100 cm^3 ja 140 cm^3 (Bosch Rexroth 2012). Pumpun kokoluokka määräytyy sen mukaan, kuinka paljon siltä vaaditaan tilavuusvirtausta Q (l/min, litraa minuutissa). Pumpun tuottama tilavuusvirta taas on suoraan verrannollinen sen kierrotilavuuteen V_k (cm^3/r , kuutiosenttimetriä kierroksessa) ja pyörimisnopeuteen n (r/s, kierrosta sekunnissa). Kierrotilavuus kuvaa pumpun yhden käyttöakselin kierrosta kohti saatua tiettyä nestemäärää, kun pumppua käytetään paineettomana, eli ilman imu- ja paineliitännöjen välillä olevaa paine-eroa. (Kauranne *et al.* 2008, s. 142.)

Aksiaalimäntäpumppu A10VSO:n suurin sallittu nimellinen paine on 280 bar (bar = 10^5 Pa) ja maksimipaine 350 bar. Sen suurin sallittu pyörimisnopeus riippuu koosta. Pienimmän pumpun suurin sallittu pyörimisnopeus on 3900 kierrosta minuutissa kun taas suurimman pumpun suurin sallittu pyörimisnopeus on 2100 kierrosta minuutissa. Se on muuttuvatilavuusvirtainen pumppu, ja sen etuja ovat muun muassa pitkäikäisyys, pieni melutaso sekä nopea ohjattavuus. Pumpun kanssa käytettäviä säätimiä on paljon erilaisia, ja niistä yleisimpiä ovat suoraanohjattu kaksipistesäädin, painesäädin, kauko-ohjattu painesäädin, paine-, tilavuusvirta-, ja tehosäädin sekä sähköhydraulinen painesäädin. (Bosch Rexroth 2012.)

3.1 Mäntäpumppu

Exner *et al.* (1997, s. 57) kiteyttävät hydraulipumpun toiminnan ytimekkäästi yhteen lauseeseen: ”Hydraulipumpun pitää muuttaa mekaaninen energia (väntömomentti, pyörimisnopeus) hydrauliseksi energiaksi (tilavuusvirta, paine).” Myös Merrit (1967, s. 54) ilmaisee pumpun käyttötarkoituksen hyvin samalla tavalla. Hänen mukaansa pumpun tarkoitus on muuntaa mekaaninen teho hydrauliseksi. Kuvassa 3.2 on aksiaalimäntäpumpun periaatteellinen räjäytyskuva.



Kuva 3.2. Aksiaalimäntäpumpun räjäytyskuva (Perustuu lähteeseen Jones 2009).

Tavallisesti pumpun tehonlähteenä käytetään sähkö- tai polttomoottoria, jolloin mekaaninen teho on pyörivän liikkeen muodossa. Suoraviivaiseen liikkeeseen perustuvia pumppuja käytetään yleensä vain alhaisilla tehoilla ja yksinkertaisissa konstruktioissa. Normaalisti pumppuja käytetään esimerkiksi tuottamaan tilavuusvirtaa tankissa olevasta öljystä kuljettamalla öljy imupuolelta työpuolelle. (Kauranne *et al.* 2008, s. 137; Bosch Rexroth 2001, s. 15.)

Hydraulipumput toimivat syrjäytysperiaatteella, eli pumpun kammioiden koot vaihtelevat jaksoittain. Esimerkiksi mäntäpumppussa syrjäytyskammion koko muuttuu männän tekemän liikkeen avulla. Männän liikkeessä sekä paine että sylinteriputken kammiotila-

vuus muuttuvat liikesuunnasta riippuen. Kammio-tilavuuden pienentyessä neste puristuu kasaan ja paine nousee. Kammio-tilavuuden kasvusta taas seuraa paineen lasku. (Kauranne *et al.* 2008, s. 138.)

Vaikka kaikkia hydraulipumppuja yhdistää toiminta syrjäytysperiaatteella, on niillä eri ominaisuudet ja toimintaperiaatteet niiden rakenteesta riippuen. Eri rakennetyypeillä voidaan vaikuttaa esimerkiksi sellaisiin ominaisuuksiin, kuin hyötysuhteeseen, käyttöpaineeseen, pyörimisnopeuteen ja säädettävyyteen. (Kauranne *et al.* 2008, s. 137.)

Yleisimpiä pumpputyyppejä ovat hammaspyöräpumput, ruuvipumput, siipipumput sekä mäntäpumput. Mäntäpumput voidaan jakaa rivimäntäpumppuihin, radiaalimäntäpumppuihin ja aksiaalimäntäpumppuihin. Näillä pumpputyypeillä on vielä erilaisia rakenteita. Sen lisäksi pumppuja on sekä kiinteä- että säätävätilavuuksisina, ja ne voidaan jakaa myös yksisuuntaisiin tai kaksisuuntaisiin pumppuihin. Yksisuuntainen pumppu pyörii vain yhteen suuntaan, jolloin myös virtaus kulkee vain yhteen suuntaan. Tällöin venttiilien avulla ohjataan öljyvirtaus toimilaitteille siten, että ne liikkuvat haluttuun suuntaan halutulla tavalla. (Merrit 1967; Kauranne *et al.* 2008.)

Kun halutaan pumppu, joka pääsee korkeisiin paineisiin (yli 20 MPa) hyvällä hyötysuhteella (90 – 95 %), päädytään usein käyttämään mäntäpumppuja. Mäntäpumppujen huono puoli hyvien toiminta-arvojen vastapainoksi on se, että niiden rakenteet ovat yleensä hyvin monimutkaisia, mikä tekee niistä myös kalliita. Monimutkaisuudestaan huolimatta niiden toimintaperiaate on kuitenkin hyvin selväpiirteinen. Käytännössä männän liikettä voidaan kuvata sinimuotoisena, jolloin matemaattinen tarkastelu on mahdollista tehdä hyvinkin yksinkertaisesti. (J. Fonselius *et al.* 1997, s. 55.)

Kun sylinterin iskunpituutta merkittään muuttujalla s , ja akselin kiertymiskulma $\beta = \omega t$, on silloin hetkellinen männän ja sylinterissä liikkuvan nesteen

$$\text{asema} \quad x = \frac{s}{2} \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\text{nopeus} \quad v = \frac{dx}{dt} = \frac{s}{2} \omega \cos(\omega t) \quad (2)$$

$$\text{kiihtyvyys} \quad a = \frac{dv}{dt} = -\frac{s}{2} \omega^2 \sin(\omega t). \quad (3)$$

Hydrauliikassa esiintyvät mäntäpumput ovat yksitoimisia, joten merkitsemällä sylinterien lukumäärää muuttujalla z , sylinterin halkaisijaa muuttujalla d ja kierrosnopeutta n , saadaan teoreettiseksi tilavuusvirraksi

$$Q = z \frac{\pi d^2}{4} sn. \quad (\text{J. Fonselius } et al. 1997, s. 55.)$$

Jotta mäntäpumppun tuottama tilavuusvirta olisi tasaista, käytetään yleensä vähintään kolmea sylinteriä. Mitä enemmän sylintereitä on, sitä tasaisempi tilavuusvirta saadaan.

Yhdellä sylinterillä tilavuusvirta mukaillee selvästi siniaaltoa. Kun sylinterien määrää kasvatetaan, siniaaltomaiset liikkeet menevät limittäin siten, että pumpun ja sen sylinterien tuottama tilavuusvirtavaihtelu pienenee ja tilavuusvirta on tasaisempaa. A10VSO-pumpussa käytetään yhdeksää sylinteriä.

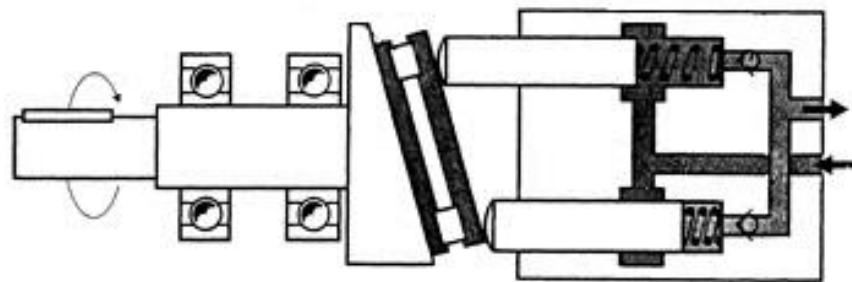
3.2 Aksiaalimäntäpumppu

Mäntäpumput voidaan jakaa niiden rakenteen ja toimintaperiaatteen mukaan kolmeen eri kategoriaan, rivimäntäpumppuihin, radiaalimäntäpumppuihin sekä aksiaalimäntäpumppuihin. Jatkossa tämän työn puitteissa paneudutaan vain aksiaalimäntäpumppujen teoriaan, koska A10VSO-akksiaalimäntäpumppu on yleisin Bosch Rexrothin valmistamista pumpuista.

Aksiaalimäntäpumppujen rakenne perustuu siihen, että niissä sylinterit liikkuvat käyttöakselinsa suuntaisesti. Mekanismin, jolla mäntien aikaan saava liike on toteutettu, mukaan voidaan aksiaalimäntäpumppu luokitella kolmeen eri ryhmään: staattoriakksiaalipumppuihin, suoraroottoripumppuihin ja kulmaroottoripumppuihin. (Kauranne *et al.* 2008, s. 168.)

3.2.1 Staattoriakksiaalipumppu

Staattoriakksiaalipumpussa mäntiä on yleensä 5 – 9, ja ne ovat kiinteässä sylinteriryhmässä. Niiden edestakaisen liikkeen saa aikaan kuvassa 3.3 mukainen vinolevy, johon männät ovat kiinnitetty siten, että ne samalla sallivat levyn pyörimisen akselinsa mukaisesti. Vakiotilavuuksinen staattoriakksiaalipumppu on rakenteeltaan yksinkertainen, ja sillä on pienet vuotohäviöt, mutta haittapuolina sillä on vinolevyn painottomat massa-voimat ja mäntien kitkat. (Kauranne *et al.* 2008, s. 168 – 170.)



Kuva 3.3. Staattoriakksiaalipumppu (Perustuu lähteeseen Hyspecs 2014).

Kuvasta voidaan havaita, kuinka vinolevyn kulma ei ole säädettävissä, jolloin pumpun tuottama tilavuusvirta pysyy myös vakiona. Tällaisia vakiotilavuuksisia pumppuja käytetään yleensä esimerkiksi maansiirtokoneissa, nostureissa ja muissa liikkuvan kaluston työkonneissa, eli mobilekoneissa.

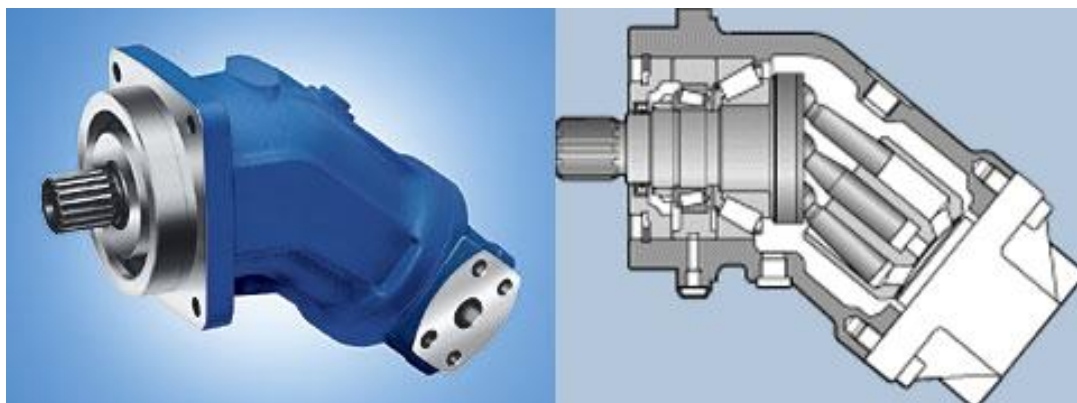
3.2.2 Suoraroottori- eli vinolevypumppu

Toinen mäntäpumpputyyppejä on suoraroottori- eli vinolevypumppu, johon myös A10VSO kuuluu. Erona staattoriaksiaalipumppuun sylinteriryhmä pyörii akselin mukana siten, että sylinteriryhmän sisäisiin mäntien asemiin vaikuttava vinolevy on kiinteä. Männät pysyvät jatkuvassa kosketuksessa vinolevyn kanssa, sillä ne ovat kiinnitetyt tasoon, joka liukuu vinolevyä pitkin. Näin vinolevy saa aikaan mäntien edestakaisen liikkeen sylinteriryhmän pyöriessä. Hydrostaattisen laakeroinnin käyttäminen vinolevyn ja liukutason välissä auttaa vähentämään kitkaa ja keventämään mäntävoimia. (Kauranne *et al.* 2008, s. 170; Exner *et al.* 1997 s. 103.)

Vinolevyn ja käyttöakselin välisen kulman säätäminen säätää kierroslavuutta. Yleisesti puhutaan pumpun kulmasta ja sen säädöstä, joten sitä ilmaisua käytetään jatkossa myös tässä työssä. Sekä staattoriaksiaalipumppussa että vinolevypumppussa männissä esiintyy sivuttaisvoimia, jotka rajoittavat pumpun toimintaa. Tästä johtuen vinolevypumpun säätökulma rajoitetaan tavallisesti negatiivisesta 18 asteesta positiiviseen 18 asteeseen. Vinolevypumppuja on olemassa myös vakioilavuuksina. Lisäksi niitä voidaan käyttää sekä avoimissa että suljetuissa järjestelmissä, mutta melko huonon imukyvyn takia voidaan mahdollisesti tarvita syöttöpumppua riittävän painetason takaamiseksi imupuolelta. Niitä käytetään esimerkiksi laivanostureissa, vinsseissä ja puristimissa. (Kauranne *et al.* 2008, s. 170.)

3.2.3 Kulmaroottori- eli vinoakselipumppu

Kulmaroottori- eli vinoakselipumppussa männät sijaitsevat vinolevypumpun tavoin pyörivässä sylinteriryhmässä, joka on kallistettu johonkin kulmaan käyttöakseliin nähden. Männänvarsien kiinnittämisessä sekä käyttöakselin päässä olevaan laippaan että mäntään tulee käyttää palloniveä, koska laipan puolella männänvarret kiertävät ympyräraitaa, sylinteriryhmän puolella elliptistä. Männän pallomaisella muotoilulla voidaan yksinkertaistaa mäntärakennetta tekemällä männästä ja männänvarresta yksi kappale. (Kauranne *et al.* 2008, s. 171; Exner *et al.* 1997 s. 97.) Bosch Rexrothin A2FO-aksiaalimäntäpumppun vinoakselirakenne näkyy kuvassa 3.4.



Kuva 3.4. Bosch Rexrothin A2FO-aksaalimäntäpumppu sekä sen halkileikkauskuva (Perustuu lähteeseen Bosch Rexroth 2014b).

A2FO on esimerkki vakiotilavuusisesta koneesta, jossa siis käänkökulma on vakio. Vinkselipumppuissa ei esiinny muista aksiaalimäntäpumpuista tuttuja mäntien sivuttaisvoimia, koska siinä mäntien kiinnittäminen on toteutettu pallonivelrakenteen avulla. Näin käyttöakselilaippa ottaa vastaan kaikki mäntään kohdistuneet painevoimat. Tämän rakenteen johdosta aksiaalilaakerit joutuvat kantamaan suuria kuormia, ja ne ovat erittäin suurikokoisia. (Kauranne *et al.* 2008, s. 172.)

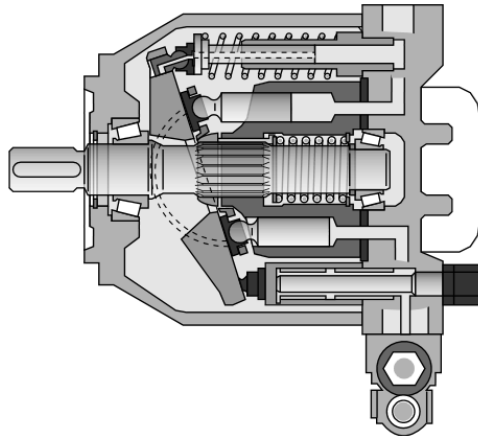
Vinkselipumppuja on sekä säätö- että vakiotilavuusisina, ja niitä käytetään sekä avoimissa että suljetuissa järjestelmissä. Sivuttaisten toimien vähäisyyden vuoksi käyttöakselin ja sylinteriryhmän välinen kulma voi olla peräti 45 astetta. Sitä käytetään tyypillisesti vain vakiotilavuuspumppuissa, ja säätötilavuuspumppuissa tyypillinen säätöalue on negatiivisesta 25 asteesta positiiviseen 25 asteeseen. Yleisimmin käytetään vain positiivista säätöaluetta, eli nolla-asetuksen toista puolta nolasta plus tai miinus 25 asteeseen. Vinkselipumppuja käytetään muun muassa nostureissa, maansiirtokoneissa, laivojen peräinlaitteistoissa ja kairoissa. (Kauranne *et al.* 2008, s. 172.)

Vinkselipumpun tyypillisiä ominaisuuksia ovat automaattinen keskitys, kardaanton sylinteriryhmän käyttö sekä momentiton sylinteriryhmän laakerointi. Lisäksi siinä on itsekeskittävä käyttökoneisto, pallonmuotoinen jakolevy, kartiorullalaakerointi sekä automaattinen laakerien voitelu. Mäntien voimat jakautuvat suoraan käyttöakselin laipalle ja yksiosainen mäntä on varustettu kahdella männänrenkaalla. (Exner *et al.* 1997 s. 100.)

3.3 Aksiaalimäntäpumppu A10VSO

Painerajat A10VSO-pumpulla ovat 250/315 bar (nimellinen/maksimi), ja sitä käytetään mobile- ja teollisuussovelluksissa. Koska pumppu on säädettävä, on sen etuna mahdolliset energiasäästöt verrattuna vakio-pumppuun (Drexler *et al.* 1988, s. 29.). Esimerkiksi paine-tilavuusvirta -säätimen avulla voidaan tehdä automaattinen sovitin voiman ja nopeuden (paine ja tilavuusvirta) mukaan. A10VSO:n kuvassa 3.5 esitellyn vinkselipumppurakenteen ansiosta se on myös teho-paino -suhteeltaan kevyt, sen melutaso on alhainen

ja sillä on pitkä kestoikä. Lisäksi siinä on läpimenevä akseli, joka mahdollistaa lisäpumppujen liittämisen itseensä. (Exner *et al.* 1997 s. 113.)



Kuva 3.5. Aksiaalimäntäpumpun A10VSO Series 31 poikkileikkauskuva (Mannesmann Rexroth 1993).

Kuvasta näkyy A10VSO:n vinolevyrakente. Sylinteriryhmä pyörii akselin mukana tukeutuen liukukenkien avulla vinolevyyn. Pyöriminen aiheuttaa mäntien edestakaisen iskun. Sylinteriryhmä koostuu yhdeksästä sylinteristä, joiden koko riippuu pumpun tilavuudesta. Kukin mäntä tekee yhden kierroksen aikana yhden edestakaisen liikkeen, eli se palaa ala- ja yläkuolokohtien kautta takaisin lähtökohtaansa. Kuolokohta tarkoittaa sitä pistettä, jossa männän liikesuunta muuttuu. Imuiskun aikana neste imetään suurevaan kammioon, kun taas puristusiskun aikana neste työnnetään pienenevästä kammiossa järjestelmään. (Exner *et al.* 1997, s. 104 s.)

Käytetty hydraulineeste vaikuttaa pumpun toimintaominaisuuksiin huomattavasti, joten sen valitsemiseen tulee kiinnittää huomiota. Toiminnan optimoimiseksi eli parhaan hyötysuhteen takaamiseksi viskositeettialue (käyttölämpötilassa) tulisi olla 16 – 36 mm²/s (neliömillimetriä sekunnissa). Koska pumppu soveltuu niin moneen käyttötarkoitukseen, voi sen käyttöolosuhteet vaihdella merkittävästi. Tästä syystä on sille määritelty erikseen viskositeetin kriittiset arvot. Pienin sallittu viskositeetti on 10 mm²/s, mikäli käyttö on lyhytaikaista, alle minuutin kestävä. Vuotoöljyn lämpötila saa olla maksimissaan 90 celsiusastetta. Suurin sallittu viskositeetti on 1000 mm²/s, mikäli se on lyhytkestoista ja lämpötila pysyy lämpimämpänä kuin -25 celsiusastetta. Mikäli pumppua tarvitaan kylmemmissä olosuhteissa, pitää tilannetta tarkastella erikseen. (Bosch Rexroth 2012.)

Hydraulinesteen valintaan vaikuttaa merkittävimmin se lämpötila, jossa sitä tullaan käyttämään. Sen takia öljy tulisi valita siten, että sen viskositeetti pysyy optimaalisen viskositeettiarvon alueella 16 – 36 mm²/s sen käyttölämpötilassa. Viskositeetin lisäksi hydraulinesteen puhtaudesta voidaan vaikuttaa aksiaalimäntäpumpun käyttöikänsä. Mitä puhtaampaa neste on, sitä pitempi käyttöikä pumpulla on. (Bosch Rexroth 2012.)

3.4 Säätimet

Minkä tahansa hydraulipumpun tilavuusvirran säätäminen on mahdollista muuttamalla sen pyörimisnopeutta. Esimerkiksi taajuusmuuntajakäyttöisellä sähkömoottorilla pyörivän hydraulipumpun tilavuusvirtaa voidaan säätää muuttamalla moottorin pyörimisnopeutta. Toinen mahdollisuus on johtaa ylimääräinen tilavuusvirta takaisin paineenrajoitusventtiilin kautta. Pyörimisnopeuden säätäminen käyttömahdollisuudet ovat rajalliset, kun ylimääräisen virtauksen vuotaminen taas tuottaa suuret häviöt. (J. Fonselius *et al.* 1997, s. 59.)

Säätyvätilavuuksisen vinolevypumpun säätö voidaan tehdä esimerkiksi mekaanisella ruuvilla tai hydraulisesti asetusmännillä. Vinolevy pysyy kevyesti asemassaan laakeroinnin avulla. Laakeroinnin lisäksi vinolevy on myös jousikeskitetty. Kun pumpun kulmaa eli vinolevyn kulmaa suurennetaan, kasvattaa se pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa sekä sen vaatimaa vääntömomenttia. Vastavuoroisesti kulman pienentäminen laskee näitä arvoja. Nollakulmalla tarkoitetaan vinolevyn asemaa, jossa pumpun tuottama ulkoinen kierrostitilavuus on nolla. Mekaanisesti tai hydraulisesti toimivia asetuslaitteita ohjataan joko mekaanisesti, sähköisesti tai hydraulisesti. (Exner *et al.* 1997, s. 104 s.) A10VSO-pumpussa käytetään muun muassa taulukossa 3.1 olevia säätimiä. Niitä löytyy sekä suoraan ohjattuina että kaukosäätöisinä. Lisäksi niitä voidaan ohjata eri tavoin, kuten hydraulisesti tai sähköisesti.

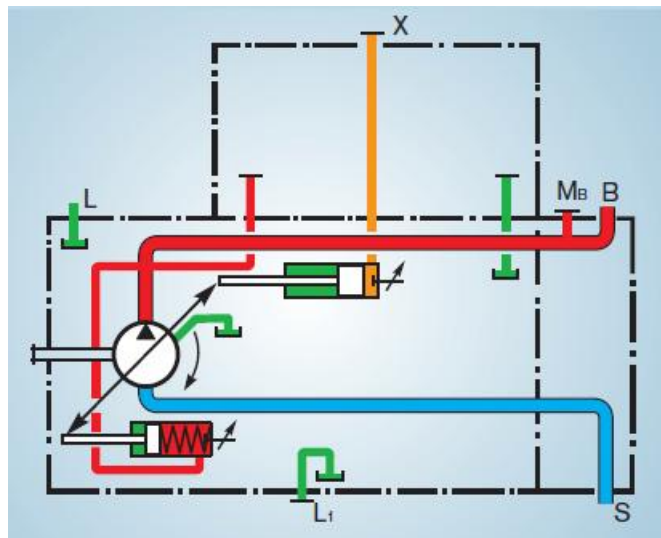
Taulukko 3.1. Aksiaalimäntäpumpussa A10VSO yleisimmin käytettyjä säätimiä (Perustuu lähteeseen Bosch Rexroth 2012).

DG	Zweipunktverstellung, direktgesteuert	Kaksipistesäätö, suoraan ohjattu
DR	Druckregler	Painesäätö
DRG	Druckregler, ferngesteuert	Kauko-ohjattu painesäätö
DFR/DFR1	Druck- Förderstromregler	Paine- ja tilavuusvirtasäätö
DFLR	Druck- Förderstrom- Leistungsregler	Paine-, tilavuusvirta- ja tehosäätö
ED	Elektrohydraulische Druckregelung	Sähköhydraulinen painesäätö
ER	Elektrohydraulische Druckregelung	Sähköhydraulinen Painesäätö

Jokaisella säätimellä on oma toimintaperiaatteensa. Säätimiä on olemassa enemmänkin, mutta näiden taulukossa 3.1 esiintyvien säätimien voidaan sanoa olevan yleisimmät A10VSO-pumpun kanssa käytössä olevat.

3.4.1 Suoraanohjattu kaksipistesäätö – DG

Suoraanohjatulla hydraulis-mekaanisella DG-kaksipistesäätimellä säätyvätilavuuksinen pumppu voidaan asettaa sen minimikulmaansa yhdistämällä ulkoinen ohjauspaine X-liitännätään kuvassa 3.6 esitellyllä tavalla. (Bosch Rexroth 2012; Exner *et al.* 1997, s. 118.)

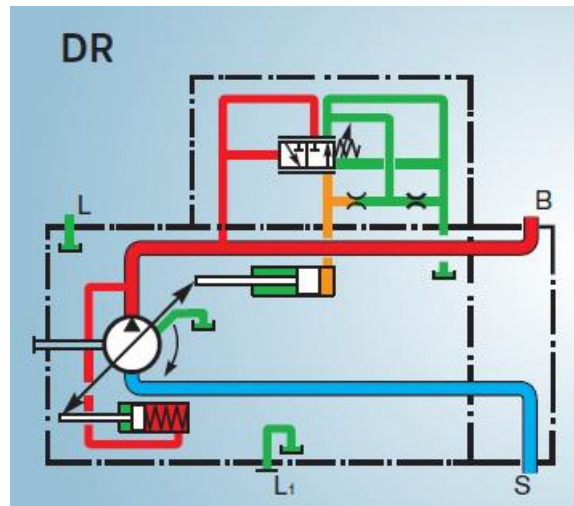


Kuva 3.6. Pumpun DG-säädin (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

Kuvassa punainen väri kuvaa korkeapainelinjaa, sininen imupuolen painetta, vihreä kotelovuotopainetta ja oranssi ohjauspainetta. Näin tuotetaan säätyvirtaus suoraan sylinteriin, ja ohjauspaineen tulee olla vähintään 50 bar. Pumpun tuotto on säädettävissä sen minituoton ja maksimituoton välillä ja DG ohjauksella pumpun kierrostilavuus on suoraan verrannollinen ohjauspaineeseen. Ohjauspaineen ollessa X-liitännässä 0 bar on pumpun tuotto maksimissaan, ja ohjauspaineen ollessa enemmän kuin 50 bar, on tuotto minimissään. (Bosch Rexroth 2012.)

3.4.2 Painesäädin – DR

Hydraulinen DR-painesäädin rajoittaa pumpun tuottamaa painetta sen painealueen mukaisesti. Säätyvätilavuuksinen pumppu tuottaa tilavuusvirtaa vain toimilaitteen ja järjestelmän tarpeen mukaisesti. Mikäli pumpun käyttöpaine saavuttaa asetetun painerajan, säätyy pumpun tuottama tilavuusvirta pienemmäksi. Samalla säätöpoikkeama pienenee. Paine voidaan säätää asteittain säätöventtiilin avulla. (Bosch Rexroth 2012.) DR-säätimen kaaviokuva näkyy kuvassa 3.7.



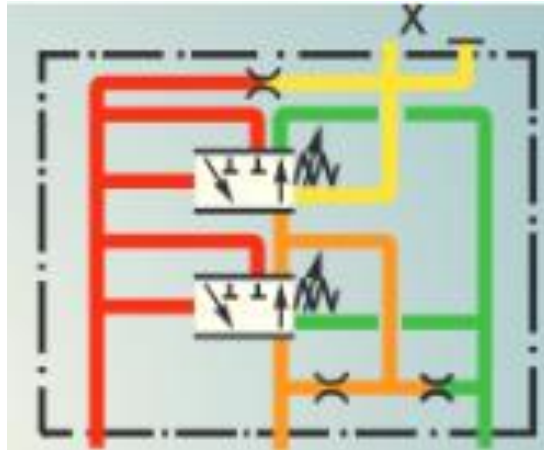
Kuva 3.7. Pumpun DR-säädin (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

Samoin kuin kuvassa 3.6, punainen väri kuvaa korkeapainelinjaa, sininen imupuolen painetta, vihreä kotelovuotopainetta ja oranssi ohjauspainetta. Säätimen tehtävänä on siis säätää pumpun tuottoa kohti nollakierrostilavuutta kun pumpulla lähestytään sen maksimikäyttöpainetta. (Bosch Rexroth 2012.)

Pumpun tuottaman tilavuusvirta ohjautuu 3/2-venttiilille sekä pumpun kulmaa avaavalle ohjaussylinterille. Kun tilavuusvirran paine nousee, painaa se 3/2-venttiiliä kuvasta katsottuna vasemmalta puolelta jousen painetta vasten. Kun paine ylittää jousen oman paineen, venttiili vaihtaa asentoaan, jolloin tilavuusvirta ohjautuu ohjaussylinteriin. Tämän ohjaussylinterin ja pumpun kulmaa suurentavan jousitoimisen ohjaussylinterin pinta-ala-suhteet ovat sellaiset, että pumpun kulma pienenee.

3.4.3 Kauko-ohjattu painesäätö – DRG

Samoin kuin DR-säädin, toimii DRG-säädin painesäätimenä, mutta se on kaukosäätöinen. DRG-säätimellä rajoitetaan pumpun tuottamaa painetta. Toiminta perustuu paineenrajoitusventtiiliin, joka voidaan putkittaa X-liitännään kaukosäätöä varten siten, että sillä pidetään DR-säätimen karan paine alle sille asetetun paineen. Tämä paineenrajoitusventtiili ei sisälly DRG-säätimeen, vaan se pitää tarvittaessa lisätä itse. (Bosch Rexroth 2012.) Kuvassa 3.8 on DRG-säätimen hydraulikaavio.



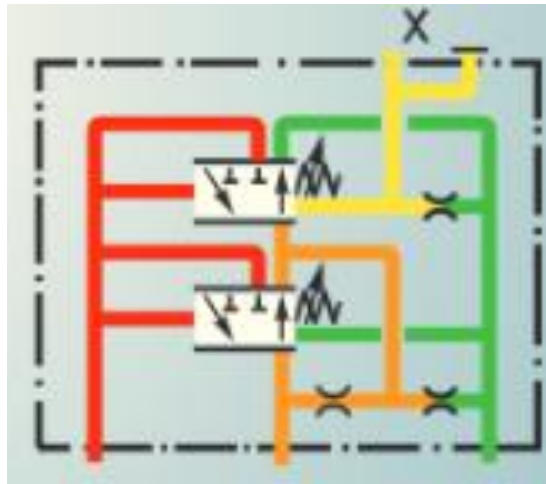
Kuva 3.8. Pumpun DRG-säädin (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

Paine-ero DRG-säätimen yli on asetettu standardiksi, 20 bar, jonka seurauksena ohjausöljyn virtaus paineenrajoitusventtiilille on suunnilleen 1,5 l/min liitännässä X. Myös muita asetuksia (vaihteluväli 10 – 22 bar) on mahdollista toteuttaa erillisen ohjeistuksen mukaan. Paineenrajoitusventtiiliksi on suositeltu Bosch Rexrothin DBDH6 venttiiliä esimerkiksi 0,8 mm kuristimen kera. (Bosch Rexroth 2012.)

Pumpun tuottama tilavuusvirta tukee ylempänä olevan 3/2-venttiilin jouta siten, että venttiili pysyy asennossaan. Painesäätimen asetuksista riippuen, paineen purkautuessa sen läpi muuttaa venttiili asentoaan siten, että öljy virtaa alemman venttiilin läpi pumpun kulmaa pienentävään sylinteriin. Näin pumpun kulmaa pienenee ja sitä kautta pumpun tuottama tilavuusvirta pienenee, jolloin myös pumpun paine saavuttaa halutun arvon.

3.4.4 Paine- ja tilavuusvirtasäädin – DFR/DFR1

Paineella toteutetun ohjauksen lisäksi voidaan pumpun tilavuusvirran säätö toteuttaa myös paine-eroa säädettävän kuristimen yli. Tämä voi olla esimerkiksi suuntaventtiili, joka on asennettu pumpun tuottolinjaan. Pumpun tuotto on yhtä suuri toimilaitteilta vaaditun virtauksen kanssa lukuun ottamatta paine-erovaihteluita. Paineohjaus ohittaa tilavuusvirtaohjauksen. (Bosch Rexroth 2012.) DFR-säätimen (paine- ja tilavuusvirtasäädin) ero DR- ja DRG-säätimeen näkyy kuvasta 3.9.



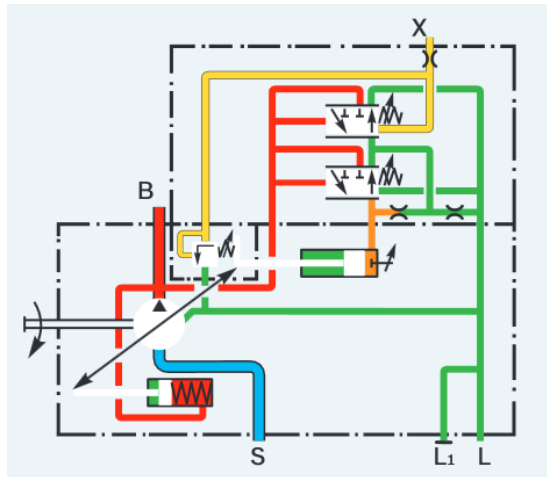
Kuva 3.9. Pumpun DFR-säädin (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

Huomionarvoista on se, että DFR1 versiossa ei ole mitään yhteyttä X-liitäntään ja säiliön välillä. LS-linjan (kuorman tunnistus) paineen purkamisen tulee olla mahdollista, ja sen voi toteuttaa esimerkiksi erillisen palloventtiilin avulla. Huuhtelun takia myös X-linjan tyhjäämisen tulee olla mahdollista. (Bosch Rexroth 2012.)

Paine ja tilavuusvirta pidetään vakiona toimilaitteesta riippuen. Pumpun tuottama paine ohjataan säädettävän kuristimen kautta liitäntään X. Tämä paine tukee ylemmän 3/2-venttiilin, eli tilavuusvirtasäätimen josta pitäen venttiilin paikallaan. Kun pumpun tuotto kasvaa, muuttua se tilavuusvirtasäätimen asentoa. Tämän seurauksena öljy virtaa alemman 3/2-venttiilin eli painesäätimen läpi sylinterin kulmaa pienentävälle sylinterille.

3.4.5 Paine-, tilavuusvirta- ja tehosäädin – DFLR

Tässä DFLR-säätimessä tehosäädin on tehty yhdistetyn paine-tilavuusvirta -säätimen päälle. Säätimessä säädetään sekä painetta, tilavuusvirtaa että tehoa. Jotta voidaan säävuttaa vakiomomentti muuttuvalla painetasolla, pumpun kulmaa ja avulla tilavuusvirtaa aksiaalimäntäpumpulta muunnellaan kuvan 3.10 mukaisella kytkennällä siten, että tuotettu teho pysyy vakiona. (Bosch Rexroth 2012; Exner *et al.* 1997, s. 120.)

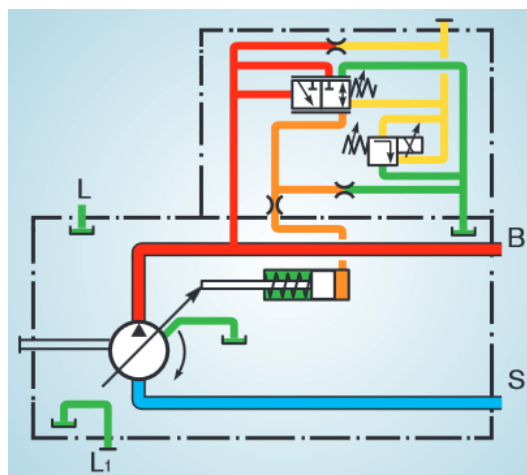


Kuva 3.10. DFRL-säädin (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

Kuvassa punainen linja kuvaa korkeaa painetta, sininen imupainetta, vihreä kotelo-
vuotopainetta, keltainen ohjauspainetta ja oranssi säätöpainetta. Saavuttaakseen vakio-
momentin mukaillemalla painetta, pumpun kulmaa ja sen tuottamaa virtausta säädetään
siten, että tuotettu virtaus ja paine säilyvät vakiona.

3.4.6 Sähköhydraulinen painesäädin – ED71/ED72

Tässä säätimessä ED-venttiili on asetettu tiettyyn painetasoon sähkötoimisen solenoidin
avulla. Mikäli toimilaitteen painetaso muuttuu, muuttuu silloin myös ohjaussylinterin
asema. Tämä taas johtaa siihen, että pumpun kulma joko pienenee tai kasvaa pitääkseen
paineen sähköisesti asetetun painetason mukaisena. ED-säätimen hydraulikaavio on
esitelty kuvassa 3.11.



Kuva 3.11. Pumpun ED-säädin (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

Tällä tavoin pumpu tuottaa tilavuusvirtaa niin paljon kuin toimilaitte sitä voi vastaanot-
taa. Solenoidin avulla haluttu painetaso voidaan asettaa portaattomasti. Silloin kuin so-
lennoidin ohjauksjännite tipahtaa nolnaan, rajoitetaan maksimipaine hydraulisella venttii-

lillä. Tämä on toimenpide turvallisuuden takaamiseksi esimerkiksi mahdollisten sähkökatkojen varalta.

3.4.7 Sähköhydraulinen painesäädin – ER71/ER72

Pumpun ER-säätimen toiminnassa on paljon samaa kuin ED-säätimessä. ED-säätimen tapaan ER-venttiili on asetettu tiettyyn spesifioituun paineeseen erillisellä spesifioidulla ja mukautuvalla solenoidilla. Mikäli kuormanpaineessa tapahtuu muutoksia, muuttuu ohjaussylinterin asema. Tämä kasvattaa ja pienentää pumpun kulmaa eli pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa säilyttääkseen sähköisesti asetetun painetason.

Ero ED-säätimen ja ER-säätimen välillä on se, että ED:ssä ohjausvirran kasvattaminen pienentää painetta, kun taas ER-säätimellä käyttöpaine kasvaa ohjausvirtaa kasvattamalla. Näiden toiminnat ovat siis toisiinsa nähden päinvastaisia. Tämän johdosta ER-säätimessä on yksi suutin vähemmän kuin ED:ssä. Kuvassa 3.11 säätösylinteriltä lähtevässä linjassa oleva ensimmäinen suutin on sellainen, jota ER-säätimessä ei ole lainkaan. Jos solenoidin virtasignaali putoaa nolnaan, rajoitetaan paine sen minimiarvoon. (Bosch Rexroth 2012.)

4. AKSIAALIMÄNTÄPUMPPUTESTIPENKIN TA- VOITTEET JA VAATIMUKSET

Alkuperäisen testijärjestelmän juuret ylettyivät aina 70-luvulla asti. Osa järjestelmästä oli tullut käytettynä Saksasta, osa taas on rakennettu Suomessa myöhemmin vanhassa toimipisteessä, ja osa uudessa. Uudistamisen lähtökohtana oli nykyisen järjestelmän oleellisten turvallisuus- ja terveysvaatimusten parantaminen sekä nostaa toimintavarmuus ja tehokkuus nykyaikaiselle tasolle. Suuri heikkous oli se, että järjestelmä ja sen kokemat muutokset ovat jääneet osittain dokumentoimatta. Lisäksi järjestelmää rakentamassa olleen ja sen myötä sen parhaiten tunteneen työntekijän eläköityminen johti siihen, että järjestelmän koko toiminta ja kaikki siihen kuuluneet osat ja asiat eivät olleet enää kenenkään varmassa tiedossa.

Järjestelmän nykyaikaistamisen lisäksi haluttiin sen testauskapasiteettia kasvattaa. Näiden ajatusten pohjalta projektin alussa hahmoteltiin projektin päämäärä, joihin tähdätä. Sen seurauksena tehtiin suunnitelma, joka muokkautui käytännön rajoitteiden ja todellisten tarpeiden mukaan projektin edetessä. Tässäkin projektissa päämäärän tavoitteluun eniten vaikuttivat resurssit, etenkin aika ja raha.

Projektiryhmä oli alusta loppuun asti samanlainen. Siihen kuuluivat huollon päällikkö, huollon esimies, teknistä tukea niin hydraulikka- kuin sähköpuolelta, turvallisuuspäällikkö sekä tämän diplomityön tekijä projektipäällikön ominaisuudessa.

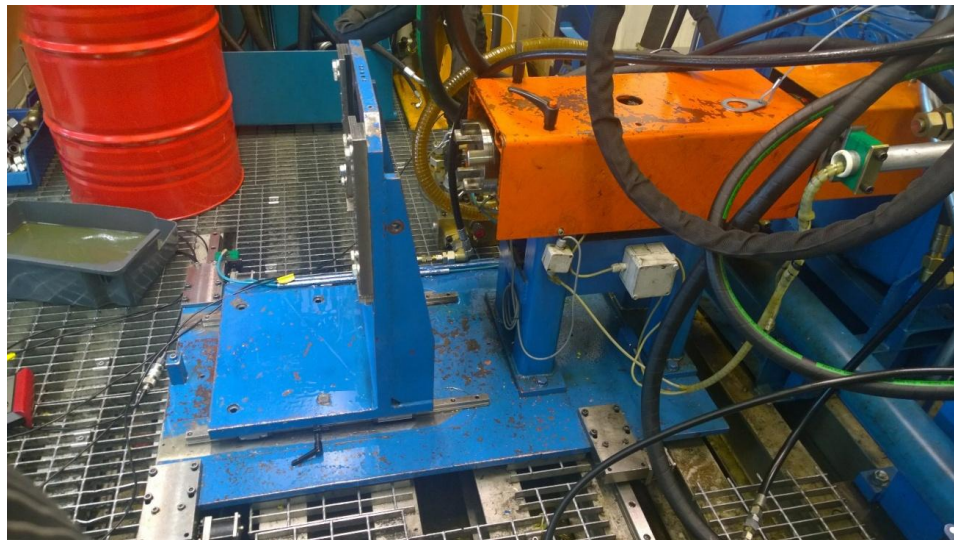
4.1 Alkuperäinen järjestelmä

Olemassa oleva järjestelmä oli 200 kW sähkömoottorilla toimiva testijärjestelmä, jolla oli mahdollista testata aksiaalimäntäpumppuja ja –moottoreita. Järjestelmään kuului myös vaihteisto, mutta sitä ei ole käytetty koskaan. Tämä oli vain yksi esimerkki kaikista niistä järjestelmän osista, joille ei ollut tarvetta. Toinen käytöstä poistunut ominaisuus oli sivuttain liikuteltava kytkinkokonaisuus, jota kukaan nykyään töissä ollut ei ollut käyttänyt lainkaan. Kuvassa 4.1 on kuva vanhasta järjestelmästä testipuolelta, eli etupuolelta. Testipuoli on se osa testihuoneesta, jossa huoltohenkilökunta työskentelee ja jolla kaikki kytkennät tehdään testattavasta laitteesta lähtien.



Kuva 4.1. Kuva vanhasta järjestelmästä testipuolelta (Bosch Rexrothin kuva-arkisto).

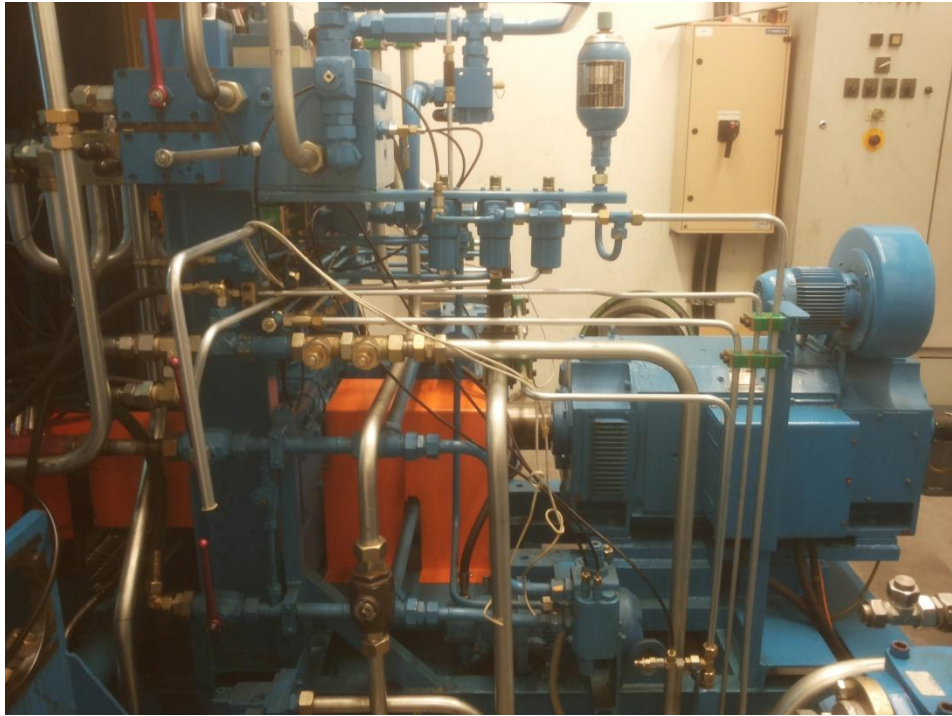
Kuvassa on vasemmalta alkaen vanhan suodattimen jälkeen mittaritaulu, jonka mittareita ei ole käytetty pitkään aikaan. Alhaalla näkyy vaihteistoon kuuluvia osia. Oikealla ylhäällä on kuormituslohko, johon painelinjat kytketään. Alhaalla oranssin teleskooppi-suojuksen alla on momenttianturi ja kytkin. Kuvassa 4.2 on sivukuva vanhasta kyt-kinkkokonaisuudesta.



Kuva 4.2. Kyt-kinkkokonaisuus sivusta.

Kaikki kyt-kinkkokonaisuuden osat on asennettu ritilän päällä näkyvään siniseen pohjalaattaan. Tämä siitä syystä, että pohjalaattaa on voitu liikuttaa sylinterien avulla sivusuunnassa. Tämä ominaisuus poistettiin käytöstä, jolloin sylinteristä ja niiden letkuista voitiin luopua. Pystyssä oleva teline on oman laatan päällä, ja laatta liikkuu akselin pituussuunnassa kiskoja pitkin. Testattava laite kiinnitetään tähän telineeseen sovittelevyn avulla, jolloin se on helppo kytkeä kytkimeen liikkuvan telineen ansiosta. Suojakotelon alla on vanha momenttianturi kytkimineen. Momenttianturin toimintaepävarmuuden takia päätetään siitäkin luopua, ja uuden sähkömoottorin ja välistä poistuvan vaihteiston

takia tämä kytkinkokonaisuus muokkataan päivitettyyn versioon. Itse testilaitteiston tila jakautuu kahteen osaan, ja väliseinässä olevan aukon takana on niin sanottu kuvan 4.3 mukainen koneikkopuoli.



Kuva 4.3. Alkuperäisen testijärjestelmän koneikkopuoli.

Kuvasta katsottuna vasemmalle puolelle jää testipuoli, eli akseli jatkuu oranssin kytkinkokonaisuuden suojan mukana vasemmalle. Vasemmalla ylhäällä on sama kuormituslohko, joka nähtiin jo kuvassa 4.1. Lisäksi kuvassa on paljon suodattimia ja putkilinjoja, mutta keskellä oranssin kotelon alla on vaihteeseen liittyviä osia ja itse vaihde on piilossa laatikon takana. Oikealla on järjestelmän tehonlähteenä toimiva 200 kW sähkömoottori. Etuoikealla näkyy osa hydraulioöljysäiliön päällä olevasta paluulinjan suodattimesta ja takanurkassa sähkökaappi. Apukoneikkoon kuuluu pari pienempää A10-pumppua sekä korkeapainepumppu, jotka on esitelty kuvassa 4.4.



Kuva 4.4. Hydraulioöljysäiliö ja osa apukoneikkoa.

Säiliön päällä on sininen A10-aksiaalimäntäpumppu sekä harmaa korkeapaineradiaalimäntäpumppu PR4. Sinisen A10:n kierrostilavuus on 71 cm^3 . Harmaan korkeapainepumpun kierrostilavuus on vain $6,30 \text{ cm}^3$. Näitä pumppuja käytetään sekä tämän testipenkin toimintoihin että seinän takana olevan toisen järjestelmän apukoneikkona. Lisäksi kuvasta puuttuu etuvasemmalla olevat kaksi apukoneikon pumppua.

Osa järjestelmän osista on peräisin 70-luvulta, joten siihen oli tehty paljon erilaisia muutostöitä vuosien saatossa. Luonnollisesti niin alkutilanteen kuin sen jälkeen tehtyjen muutostenkin dokumentointi oli jäänyt osittain hyvin puutteelliseksi. Alusta pitäen oli selvää, että uuden järjestelmän dokumentaation tulee olla kunnossa. Hyvä dokumentointi takaa järjestelmän turvallisemman käytön niin nykyisille kuin tulevillekin työntekijöille.

Dokumenteista löytyi joitakin piirustuksia sekä vanhoja kirjeenvaihtoon viittaavia kopioita. Niistä kävi ilmi pääkomponentit, mutta missään vaiheessa mistään ei löytynyt kaiken kattavaa kaaviokuvaa, tai mitään muutakaan dokumentaatiota siitä, kuinka järjestelmän kaikki eri osat toimivat. Muun muassa erilaiset kuvissakin nähdyt apupumput on ollut käytössä työntekijöiden omien kokemusten ja tarpeiden mukaan. He ovat käyttäneet niitä vuosien tuomalla kokemuksella kukin parhaaksi katsomallaan tavalla.

4.2 Tavoitteet

Projekti alkoi palaverilla, jossa hahmoteltiin projektin tavoitteet. Tässä vaiheessa pohjana koko suunnittelun aloittamiselle oli valmis suunnitelma testijärjestelmästä, joka oli tarpeisiin nähden liian monipuolinen ja kallis. Tällä suunnitelman mukaisella testijärjestelmällä olisi ollut mahdollista testata kaksoispumppuja. Kyseisessä valmiissa järjestelmämallissa oli käytännössä kahdennettu koko testimoduuli, eli se piti sisällään muun muassa kaksi kuormituslohkoa jäähdyttimiseen. Tämän lisäksi apukoneikkopuolella oli syöttöpainemoduuli ja ohjauspainemoduulit tuplana samasta syystä, eli mahdollisuudesta testata tuplapumppuja.

Tällainen järjestelmä ei ollut meidän käyttöömmä tarpeellinen, joten päädyttiin siihen, että käytetään suunnittelun pohjana tätä valmista mallia, mutta muokataan se omia tarpeitamme vastaavaksi. Käytännössä tällöin voitiin poistaa kaikki kahdennetut järjestelmäosat. Sen lisäksi järjestelmän uudistamisen perusajatus oli se, että hyödynnetään olemassa olevaa koneikkoa ja tilan ominaisuuksia mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi vanha säiliö haluttiin säilyttää, koska sen päällä olevat apukoneikot ovat myös muiden hydraulijärjestelmien käytössä.

4.2.1 Lähtötilanne

Ensimmäisen palaverin seurauksena oli päädytty siihen, että testijärjestelmällä halutaan koeajaa pumppuja kooltaan $10 - 355 \text{ cm}^3$. Koeajon lisäksi järjestelmän avulla voidaan

toteuttaa tarvittavat säädöt sekä luokitella pumput. Pumppujen lisäksi haluttiin mahdollisuus käyttää järjestelmää myös moottoreiden koeajoon, luokitukseen ja testaukseen.

Ohjausjärjestelmäksi haluttiin Cadasys-ohjelmisto, jonka avulla testien raportointi ja kuvaajat saadaan toteutettua. Lisäksi järjestelmän uudistuksen myötä sen pitää olla turvallinen, mihin pyritään vaikuttamaan mahdollisella kaukokäytöllä, suojaseinillä sekä venttiilien pakko-ohjauksilla. Käyttöturvallisuutta lisää myös järjestelmän mahdollisimman yksinkertainen toteuttaminen, jolloin se on myös yksinkertainen ja selkeä käyttää. Automaattinen ohjausjärjestelmä Cadasys sekä esimerkiksi pikaliittimet mahdollistavat turvallisen ja yksinkertaisen, mutta samalla nopean ja tehokkaan koeajokäytön.

Järjestelmän voimalähteeksi päätettiin 200 kW sähkömoottori, ja sen suurimmaksi tarpeelliseksi pyörimisnopeudeksi määriteltiin 3000 kierrosta minuutissa. Tältä moottorilta tulee mitata sen pyörimisnopeuden lisäksi myös sen tuottama momentti. Testattavaa pumppua tai moottoria kuormitetaan kuormituslohkolla, jonka maksimipaine on 590 bar.

Järjestelmän koneikko tulee olemaan suljetussa tilassa, jonka takia koeajokäytössä kuumenevan öljyn jäähdyttämiseksi halutaan lisätä myös öljy-vesijäähdytin, jottei huoneen lämpötila nouse sietämättömäksi. Lisäksi vanhassa järjestelmässä on ilmennyt lieviä ongelmia imupuolen painetason kanssa, jonka takia on nostettu esiin mahdollinen säiliön paineistaminen.

Huoltohenkilön työskentelyergonomian parantamiseksi pumpun asennuspukin korkeutta on päätetty korottaa edellisestä testijärjestelmän tasosta. Tämä tarkoittaa koko akselikorkeuden korotusta, jolla pyritään ennaltaehkäisemään kumarassa asennossa työskentelystä mahdollisesti aiheutuvia selkävaivoja.

4.2.2 Seurantapalaverit

Projektin alkuvaiheessa pidettiin seurantalavereita joka viikko, jotta kaikki tavoitteet saatiin lyötyä lukkoon, ja jotta koko projekti saatiin kunnolla liikkeelle. Seurantapalaverissa käytiin läpi erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, ja nousi esiin uusia ongelmia ja seikkoja, jotka vaikuttivat päätöksiin.

Seurantapalaverissa käytiin eteen tulleita asioita ja selvinneitä yksityiskohtia, joiden mukaan suunnitelmat elivät. Näiden seurantalavereiden jatkuessa pitkin kevättä alkoivat tavoitteet konkretisoitua. Lähtökohtiin nähden tavoitteiden perusrunko pysyi samana.

4.2.3 Lopulliset tavoitteet

Seurantapalaverien ja selvitystyön jälkeen päädyttiin hyvinkin alkuperäisten tavoitteiden mukaiseen järjestelmään. Järjestelmällä voidaan testata sekä pumppuja että mootto-

reita, mutta optiona on myös 500 cm³ pumppujen ja moottoreiden mahdollinen testaaminen.

Moottori voidaan testata siten, että se toimii pumppuna. Tällöin tulee pitää huoli siitä, että moottorin imupuolen paine on riittävä. Toimivuuden testaamisen lisäksi järjestelmällä on myös mahdollista tehdä säätötoimenpiteitä ja luokituksia.

Paine

Suurin mahdollinen kuormituspaine nostettiin 600 bar, jolloin järjestelmän painerajana käytetään 630 bar paineenrajoitusventtiileitä. Lopulliseen painerajaan vaikutti suuresti se, että 6000 Psi (1 Psi = 6894.8 Pa) putkisto ei olisi kuitenkaan riittävä, ja 10000 Psi putkisto kestää joka tapauksessa tämän korkean paineen. Kyseinen paineraja on käytännössä puhdasta varautumista tulevaisuuteen, sillä tällä hetkellä testattavien ja olemassa olevien pumppujen suurin maksimipaine on 500 bar ja nimellispaine 450 bar.

Painerajan asettaminen näin korkeaksi osoittautui myöhemmin hyvin haasteelliseksi. Monet komponentit ovat standardiominaisuuksiltaan 420 bar, tai osa 500 bar, mutta 600 bar vaatii monessa eri tilanteessa ja järjestelmän osassa tarkkaa pohdintaa siitä, miten komponentit valitaan ja ratkaisut toteutetaan.

Tilavuusvirta

Järjestelmässä niin kuormitukseen kuin pääpaineen rajoitukseen käytetään logiikka-venttiileitä, minkä seurauksena suurin sallittu tilavuusvirta ei rajoitu näihin venttiileihin. Niiden suurin sallittu tilavuusvirta on luokkaa 25000 l/min. Järjestelmän suurimmaksi sallituksi tilavuusvirraksi päätettiin tässä vaiheessa 500 l/min.

Harkitsimme tilavuusvirran nostamista 900 l/min, sillä esimerkiksi A4VSO High-speed -versiolla koko 500 cc suurin tilavuusvirta on 750 l/min. A2FM- ja A3VM-moottoreilla tilavuusvirta on peräti 1000 l/min. Näiden pumppujen ja moottoreiden testaamiseen ei tarvita suurinta mahdollista tilavuusvirtaa. Ne voidaan testata kohottamalla niiden painetta pienellä tilavuusvirralla. Näin ollen koko järjestelmää on turha mitoittaa näin suurten tilavuusvirtojen mukaan.

Kun pumppua tai moottoria testataan säätämällä kulmaa, vaikuttaa se voimakkaasti hyötysuhteeseen. Jos esimerkiksi pumpun hyötysuhteeksi on määritetty 95 % sen maksimituotolla, on se huomattavasti pienempi pienemmällä tuotolla. Tämä johtuu siitä, että vuotoihin ja voiteluun menee suhteessa paljon enemmän öljyä. Tämä ei vaikuta oleellisesti testien suorittamiseen.

Mikäli järjestelmän toimintarajoja halutaan muuttaa jälkikäteen, ei painerajan nostaminen tule olemaan ensimmäinen kynnyskysymys. Tilavuusvirran kasvattaminen on täysin mahdollista, mutta silloin esimerkiksi virtausmittareita ja suodattimia joudutaan vaihtamaan.

Jäädytys

Tässä vaiheessa päätettiin jättää huomiotta testitilan ilmanvaihto, sillä tarkoituksena oli hankkia uudet vesikäyttöiset lämmönvaihtimet, joilla öljyä jäähdytetään. Oikein mitoitettulla ja sijoitetulla jäähdyttimellä testitilan lämpötila ei nouse niin korkeaksi, että ilmanvaihdosta tarvitsee kantaa huolta. Jäähdyttimiä järjestelmässä käytetään kahdessa eri pisteessä. Toisella jäähdytetään kuormituksessa lämmennyt öljyä ja toisella kotelosta vuotanutta öljyä.

Kun verrataan tällaisen öljyvesijäähdyttimen jäähdytystehoa suhteessa veden ja öljyn määrään, tilanne tuli tarkastella täysin uudestaan. Kun jäähdytettävän öljyn suurin sallittu tilavuusvirta on 500 l/min, tarvitaan niin kohtuuton määrä vettä, että siihen ei ollut olemassa olevaa kapasiteettia, vaan olisi vaadittu mittavat putkityöt. Näin ollen muutettiin uudeksi tavoitteeksi alkuperäisen järjestelmän jäähdyttimien hyödyntäminen. Alkuperäisessä järjestelmässä on ollut käytössä kolme öljy-ilmajäädytintä.

Mekaaninen turvallisuus

Koneikon ja testattavan pumpun väliin tulee turvallisuutta huomattavasti parantava väliseinä. Alun perin ajatuksena oli se, että tämä väliseinä olisi olemassa olevan aukon täysin peittävä. Seinään voisi mahdollisesti asentaa kulkuoven, jolloin testipuolelta olisi mahdollista kulkea koneikon puolelle suoraan testauspisteen vierestä.

Olemassa olevan aukon peittäminen täysin ei ole välttämätöntä. Vaikka se peittää vain osan aukosta, voidaan sillä parantaa oleellisia turvallisuus- ja terveysolosuhteita oleellisesti. Väliseinän avulla voidaan pienentää tapaturman riskiä, joka johtuu koneikon puolella tapahtuvasta sinkoutumisesta tai öljysuihkusta.

Toinen merkittävä tekijä väliseinää suunnitellessa on se, että kun sillä ei peitetä koko aukkoa, ei koneikon puoli ole enää suljettu tila. Näin ollen ilmanvaihto ei ole enää kriittinen tekijä. Koneikonkin puolella on jo olemassa ilmanvaihto, joka riittää takaamaan puhtaan työskentelyilman niihin tiloihin, joissa työntekijä työskentelee. Suunnittelun lähtökohta on muutoinkin ollut se, ettei koneikon puolella tarvitse työskennellä silloin, kun testijärjestelmä on käytössä.

Tämän koneikon ja testattavan pumpun väliseinän lisäksi koko testijärjestelmä on toisen väliseinän takana, joka erottaa testijärjestelmän huollon muista tiloista. Tätä ovea pyritään pitämään aina testiä ajettaessa kiinni. Näin ollen myöskään melutaso huollon tiloissa ei nouse merkittävästi. Mikäli pumpulla joudutaan tekemään säätöjä testiä ajettaessa, voidaan tämä ovi joutua avaamaan. Tällöin voidaan käyttää kuulon suojausta tarpeen mukaan. Mikäli tällaisia säätöjä joudutaan tekemään, tulee huoltohenkilön käyttää liikuttavaa väliseinää itsensä ja testattavan koneen välissä, jolloin hän voi välttyä vaurioilta, mikäli jokin menee vikaan.

Paineistettujen letkujen paiskautuminen pyritään estämään varmistamalla niiden kiinnitys erillisillä kiinnityksen varmistimilla. Mahdollisesta vuodosta aiheutunut korkeapai-

neinen öljysuihku pyritään estämällä letkusukkien käytöllä. Lisäturvaksi testihuoneeseen vievään oveen päätettiin laittaa rajakytkin, joka estää testijärjestelmän käynnistämisen tämän oven ollessa auki. Lisäksi järjestelmän päävirtakytkimen aktivoimiseen tulee käyttää avainta, jolloin vain huoltohenkilökunta voi käynnistää järjestelmän.

Vuotoaltaat

Koneikon alle tulee tehdä vuotoallas. Alun perin tarkoitus oli käyttää jo olemassa olevaa tukipalkistoa hyväksi, ja rakentaa vuotoallas sen päälle. Tila väliseinästä huoltamoon päin on se tila, jossa työntekijä suorittaa asennuksia. Tarkoitus oli asentaa 30 mm korkea vuotoallas koko tämän alueen kattavaksi. Sen päälle laitettava ritilä on 30 mm korkea. Koneikon puolelle väliseinän taakse vuotoallas olisi asennettu vain koneikon alle, sillä huoneessa on paljon muutakin tilaa. Lisäksi säiliö nostetaan ylös siten, että sen alle saadaan sen tilavuuden kokoinen vuotoallas.

Tässä päädyttiin sellaiseen ratkaisuun, että testipuolelle upotetaan olemassa olevaan kuoppaan ”pullapeltityyppinen” vuotoallas. Koneikon puolella huone toimii itsessään vuotoaltaana. Se käsitellään uudestaan kaksikomponenttimaalilla, joka suojaa betonilattian. Sen lisäksi säiliö nostetaan erillisen vuotoaltaan sisälle, jonka tilavuus riittää säiliön tilavuudelle.

Testijärjestelmän hydrauliset ominaisuudet

Hydrauliset raja-arvot on määritetty ennalta mainitulla tavalla, eli suurin sallittu käyttöpaine on 600 bar, ja suurin sallittu tilavuusvirta 500 l/min. Näin ollen öljyn virtausta ohjaavan tasasuuntaajan ja kuormituslogiikan tulee kestää nämä raja-arvot. Kuormitusventtiilin jälkeen tilavuusvirta voi olla edelleen 500 l/min, mutta öljyn painetaso laskee kuormitusventtiilin avautumisen seurauksena siten, että paluulinjan painetaso on alle 40 bar.

Korkean painetason vuoksi öljyn sekä virtausta ohjaava tasasuuntaaja että kuormitus toteutetaan logiikkaventtiileillä eli patruunoilla. Standardi-patruunoiden maksimi käyttöpaine on 420 bar, mutta Bosch Rexrothilla on olemassa korkeapaine-patruunoita, jotka kestävät 1000 bar. Tilavuusvirtaa niistä menee läpi peräti 25000 l/min.

Kuormitus tapahtuu painetoimisella patruunalogiikalla, jonka kuristusta säädetään sähköisesti ohjatulla proportionaaliventtiilillä. Tasasuuntaaja taas mahdollistaa virtauksen molempiin suuntiin, jolloin sekä avoimen että suljetun piirin pumppujen testaus onnistuu molempiin suuntiin suoraan. Logiikkaventtiilit toimivat käytännössä kuin vastaventtiilit.

Koneikko

Koneikon lähtökohtana oli se, että käytetään jo olemassa olevia pumppuja, sähkömootoreita sekä säiliötä. Kahta jo olemassa olevaa ja säiliöön kytkettyä pumppua käytetään seinän takana olevan venttiili-testipenkin testaukseen, joten koko koneikon uusiminen vaatisi muutostöitä myös venttiilien testausjärjestelmään. Lisäksi koneikko-huoneesta

löytyy kaksi muuta pumppua. Näin meillä on valmiina A10-pumpuista 140 cm^3 , 71 cm^3 ja sekä yksi PR4-korkeapainepumppu $6,5 \text{ cm}^3$.

Näiden avulla voidaan toteuttaa uuden testijärjestelmän boostilohko, korkeapainelohko sekä ohjauspainelohko. Itse asiassa pienintä A10-pumppua, 16 cc, ei tarvita ollenkaan. Koska testattavan pumpun eli koko järjestelmän akselikorkeutta on päätetty nostaa, päätettiin myös säiliön korkeutta nostaa, jotta imupuolella on riittävä paine kaikissa testiolosuhteissa. Tämä ei kuitenkaan riitä moottoreiden testaamiseksi pumppuna, jolloin voidaan käyttää syöttöpainemoduulia lisäpaineistuksena. Lisäpainemoduulia käytetään myös suljetun piirin pumppujen testauksessa silloin, kun pumpussa on sisäänrakennettu lisäpainepumppu.

Tarkemman tarkastelun jälkeen päätettiin käyttää korkeapainepumppua PR4, A10VSO71 pumppua sekä A10VSO140 pumppua. Kierrostilavuudeltaan 140 cm^3 pumpun sähkömoottori tuli vaihtaa hieman tehokkaampaan. Muutoin olemassa oleva koneikko oli riittävä sellaisenaan.

Sähkönsyöttö ja automaatio

Ohjausjärjestelmänä päätettiin käyttää Cadasystä. Sen perusajatus on se, että se kytketään Ethernet-kaapelilla verkkoon, jolloin pumpun tiedot syöttämällä kaikki vaadittavat tiedot saadaan suoraan konsernin sisäisen tietoverkon kautta. Oletusarvoisesti sen avulla voidaan testit tehdä niin sanotusti ”nappia painamalla” eli automatisoidusti. Lisäksi oletus oli se, että nämä testit tuottavat myös valmiit kuvaajat ja testitulokset, jolloin niiden tulkitseminen on huomattavasti helpompaa, kuin edellinen toimintapa on ollut se, että ammattitaitoinen huoltohenkilökunta tulkitsee testit omaan ammattitaitoonsa nojaten ”fiilispohjalta”.

Cadasyksen rinnalle päätetään suunnitella myös oma ohjelmoitavaa logiikkaa, jolla voidaan toteuttaa testit myös omatoimisesti. Kaikki signaalit vedetään sähkökaapin kautta, josta sitten vedetään piuhat Cadasykselle. Sähkökaapin sisälle tarvitaan myös taajuusmuuntaja. Taajuusmuuntajan avulla säädetään sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Kaikki muutokset toteutettiin sillä ajatuksella, että ne vastaavat sitä, jota alkuperäisen järjestelmän apukoneikolla haluttiin tehdä.

Aikataulu

Heti projektin alussa jaetaan koko projekti niin sanottuihin osaprojekteihin. Jokaisen osaprojektin käsitteleminen omina kokonaisuuksinaan helpottaa aikataulutavoitteiden kartoitusta ja suunnittelua. Näitä pääkokonaisuuksia tässä projektissa olivat hydraulikka, mekaniikka/rautarakenne sekä sähkö/automaatio. Nämä jaettiin karkeasti suunniteluun ja hankintaan. Näiden pääosa-alueiden lisäksi pienempiä osaprojekteja olivat dokumentaatio, purkutyöt, asennus sekä käyttöönotto.

Kun projekti jaetaan heti alussa osiin, voidaan aikataulusuunnitelman tueksi nimetä vastuuhenkilöt, joiden vastuualueita kutkin osaprojektit ovat. Projektin vetäjän tehtävänä

oli pitää huolta, että jokainen osaprojekti etenee tilanteen vaatimalla tavalla ja mahdollisuuksien mukaan.

Suunnitelma ja sen seuranta

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus oli saada projekti valmiiksi vuoden 2014 elokuun loppuun mennessä. Tämän lisäksi oli myös ehdoton takaraja, joka oli asetettu vuoden loppuun eli joulukuulle. Ensimmäinen aikataulusuunnitelma tehtiin sillä ajatuksella, että käyttöönotto tapahtuisi elo-/syyskuun taiteessa.

Hinta-arvio

Meillä oli heti projektin alusta pitäen selvä budjetti, jonka mukaan koko projekti pyrittiin toteuttamaan. Budjetti noudatteli konsernin sisäistä linjaa, sillä se oli budjetoitu ennen projektin alkua. Suunnitelmat muuttuivat jatkuvasti, mutta niissä pidettiin aina kiinni siitä, että pysytään tämän asetetun hintarajan puitteissa mahdollisuuksien mukaan. Jokin ratkaisu oli päivänselvä alusta pitäen, kun taas joissain ratkaisuissa edettiin numerot edellä pitääksemme budjetti hallinnassa.

Hinta edellä päätöksiä tehdessä piti kuitenkin joka tilanteessa muistaa se, että se ei saa millään tavalla vaikuttaa järjestelmän oleellisiin turvallisuus- ja terveystekijöihin. Vaikka hinta osa-alueena on erittäin merkittävä, niin jokainen ratkaisu pohdittiin monelta eri kantilta siten, että järjestelmä noudattaa edelleen niitä tavoitteita, joihin sen haluttiin olevan kykenevä.

4.3 Testijärjestelmän vaatimukset

Lähtötilanteessa tiedettiin suurin piirtein, mitä halutaan. Sen jälkeen palaverissa tehtiin konkreettisemmat tavoitteet, joilla järjestelmäämme lähdetäisiin toteuttamaan. Järjestelmän tietyt osa-alueet kokivat projektin aikana paljon muutoksia, mutta lopputuloksena syntyi kuitenkin järjestelmä, jolla pystytään toteuttamaan kaikki sen vaatimat toiminnot turvallisesti ja tehokkaasti.

Vaikka ratkaisuja tehtiin tilanteen ja tarpeen mukaan, resurssit huomioiden, oli koko ajan selvää että järjestelmällä tulee voida toteuttaa kaikki konsernin vastaavanlaisen testipenkin vaatimukset. Suunnittelutyö perustui alkuperäisen suunnitelman mukaisiin vaatimuksiin, jotka tällaisen aksiaalimäntäpumppujen testijärjestelmän tulee toteuttaa.

4.3.1 Sähköteholtaan 200 kW:n testipenkki

Kuten työn edetessä on tullut esille, niin järjestelmällä halutaan pystyä testaamaan, säätämään ja luokittelemaan Bosch Rexrothin valmistamia aksiaalimäntäpumppuja ja -moottoreita. Lisäoptiona järjestelmää voidaan käyttää myös venttiililohkojen testaukseen.

Testauskapasiteetti riittää ainakin kokoluokaltaan 18 – 500 cm³ laitteisiin Päävoimanlähteenä on 200 kW sähkömoottori. Järjestelmässä on paljon mittapisteitä, joista mitataan muun muassa lämpötilaa, painetta sekä tilavuusvirtausta. Lisäksi eri painemittapisteissä on painelähettimien lisäksi analogiset painemittarit, jotka asennettiin testihenkilön nähtäville.

4.3.2 Turvallisuus

Turvallisuus tulee ottaa huomioon kaikissa olosuhteissa. Turvallisuuden vaatimukset perustuvat HSE:hen (Terveys, turvallisuus ja ympäristö) sekä konsernin sisäisiin omiin vaatimuksiin. Turvallisuusratkaisussa tulee maksimipaine harkita tarkkaan. Sen lisäksi hydrauliletkujen kiinnitykset ja suojukset, käyttäjän suojaus sekä ergonomia ja joustavuus ovat ne seikat, jotka tulee ottaa huomioon heti suunnittelun alkuvaiheessa.

Kaikki komponentit, jotka altistuvat järjestelmän maksimipaineelle, tulee mitoittaa siten, että ne soveltuvat käytettäväksi sillä painealueella. Järjestelmämme suurin sallittu testipaine on 600 bar. Hydrauliletkuja käytettäessä tulee ottaa huomioon letkujen vaatima pienin sallittu säde niitä taivutettaessa. Säteen suuruus riippuu eri liitäntäpisteiden asemista toisiinsa nähden. Järjestelmän ergonomisuus ei saa mennä huonompaan suuntaan verrattuna vanhaan järjestelmään. Päinvastoin ratkaisut tulee pyrkiä toteuttamaan siten, että ergonomisuustaso paranee. Joustavuus perustuu siihen, että tiettyjä kytkentöjä ei voi toteuttaa putkilinjoin. Letkujen käytöllä voidaan järjestelmää muokata tilanteen ja tarpeen mukaan.

4.3.3 Koneet ja laitteet

Yleisesti ja ainakin vähintään testipenkissä on sovellettava teknisiä asetuksia koskien konsernin aksiaalimäntäkoneiden testipenkkejä. Penkin tulee ainakin soveltua koko vaadittuun tuotevalikoimaan, erityisesti huollon tarpeiden mukaisesti. Testikapasiteetin ollessa 200 kW tulee ylikuormituksen olla mahdollista ainakin 50 % asti. Testien käyttöpaineen tulee olla vähintään 500 bar.

Koko järjestelmän suunnittelussa tulee kaikissa sen osa-alueissa ottaa huomioon ympäristö. Jokainen osatoiminto järjestelmän asennus ja purkuvaiheissa sekä käytön aikana tulee tehdä mahdollisimman energiatehokkaasti ja hyvällä hyötysuhteella. Energiatehokkaaseen toteutukseen ja suunnitteluun kuuluu muun muassa:

- Energiatehokas järjestelmäsuunnittelu
- energiatehokkaiden komponenttien käyttö
- tarveperusteinen energian käyttö
- energian talteenotto.

Kun nämä asiat huolehditaan alusta pitäen, kuormitetaan ympäristöä mahdollisimman vähän. Energiatehokkaalla toiminnalla voidaan saavuttaa myös mahdollisimman kustannustehokas projekti.

4.3.4 Tehtävät

Testipenkkiä käytetään aksiaalimäntäpumppujen ja -moottoreiden testaukseen, säätöön ja dokumentointiin. Vaikka testijärjestelmä ei olekaan täysin konsernin standarditestijärjestelmä, täyttää se standardijärjestelmän vaatimukset, sillä on mahdollista toteuttaa kaikki ohjeistuksen mukaiset toimenpiteet.

Seuraavat funktiot ja ominaisuudet pitää olla säädettävissä, testattavissa sekä dokumentoitavissa konsernin ohjeistuksen mukaan:

- nopeuden ja momentin käyttäytyminen
- virtausnopeuden mittaus
- paineen mittaus
- vuotoöljyn mittaus
- vuototiheys (visuaalisesti)
- paine-ero
- öljyn puhtaus
 - o hiukkaspitoisuus
 - o vesipitoisuus

Edellä mainittujen asioiden lisäksi järjestelmästä tulee olla määritettävissä:

- virtaus
- mekaniinen/hydraulinen hyötysuhde
- volumetrinen hyötysuhde
- paineenrajoitusventtiilit
- momentti
- vuototiheys (visuaalisesti)

Lisäksi taulukossa 6.1 on esitelty ne sellaiset ohjaukset, joilla varustettuja aksiaalimäntäpumppuja tulee ainakin olla mahdollista testata.

Taulukko 4.1. Aksiaalimäntäpumpun ohjaukset, joita tulee olla mahdollista testata.

HD, HP	Hydraulis-hydraulinen, hydraulinen paineesta riippuva ohjaus
HW	Hydraulis-mekaaninen, asemasta riippuva ohjaus

EP	Hydraulis-sähköinen, sähköinen ohjaus proportionaalimagneetilla
EZ	Hydraulis-sähköinen ohjaus, kytkevällä magneetilla
HA	Hydraulinen, automaattinen korkeapaineesta riippua säätö
HZ	Hydraulinen kaksipisteohjaus

Yleisesti ottaen tulee olla mahdollista testata kaikki konsernin aksiaalimäntäpumput. Testi voidaan jakaa neljään erilliseen osa-alueeseen, kasaukseen, manuaalisiin säätöihin, testiajoon sekä purkuvaiheeseen. Kasaus tarkoittaa testattavan laitteen kiinnittämistä kiinnitystelineeseen. Tämän lisäksi tarvittavat mittalaitteet tulee olla kytkettynä. Manuaaliset säädöt tarkoittavat manuaalisia testiajoja, joilla voidaan varmentaa laitteen kunto ja tehdä mahdolliset oikaisut.

Testiajossa laitteen käyttäjä tekee vaaditut määrytykset ja tehtävät, jolloin hän noudattaa ohjeita ja testirunkoa. Testiajon tulokset dokumentoidaan Cadayksellä. Purkuvaiheessa kaikki liitännät puretaan, jonka jälkeen testattava laite voidaan irrottaa sen kiinnitystelineestä.

4.3.5 Mitattavat suureet

Jotta järjestelmän kaikki vaatimukset ja tehtävät voidaan toteuttaa, tarvitaan konkreettisia mittaustuloksia. Järjestelmän eri mittasignaalit on listattu taulukkoon 4.2, joka toimii apuna järjestelmän suunnittelussa. Taulukon avulla voidaan seurata vaadittujen tehtävien toteutumista esimerkiksi merkkamalla jo suoritettujen tehtävien ratkaistut ongelmat.

Taulukko 4.2. *Mitattavat suureet.*

Kuvaus	Muuttuja	Tyyppi	Alue	Signaali Cadasyk- selle	
Korkea paine A	pA1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 600 bar	4 – 20 mA	
Korkea paine B	pB1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 600 bar	4 – 20 mA	
Syöttöpaine	pG1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 100 bar	4 – 20 mA	
Ohjauspaine X1	pX1_1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 60 bar	4 – 20 mA	

Ohjauspaine X2	pX2_1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 60 bar	4 – 20 mA	
Kotelonvuotopaine	pL1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 10 bar	4 – 20 mA	
Ohjauspaine HD	pYHP1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 600 bar	4 – 20 mA	
Ohjauspaine LP	pY1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 60 bar	4 – 20 mA	
Paine-ero	pD1	Paine, ± 10 V	± 200 bar	4 – 20 mA	
Vapaa sensori	pLP_Aux1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 60 bar	4 – 20 mA	
Vapaa sensori	pLP_Aux2	Paine, 4 – 20 mA	0 – 60 bar	4 – 20 mA	
Vapaa sensori	pHP_Aux1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 600 bar	4 – 20 mA	
Vapaa sensori	pHP_Aux2	Paine, 4 – 20 mA	0 – 600 bar	4 – 20 mA	
Apupaine	pYAux1	Paine, 4 – 20 mA	0 – 60 bar	4 – 20 mA	
Päätilavuusvirta	Q1	Tilavuusvirta, pulssi		0 – 10 V	3,5 – 525 l/min
Syöttöpainetilavuusvirta	QBoost1	Tilavuusvirta, pulssi		0 – 10 V	0,3 – 45 l/min
Kotelovuototilavuusvirta	QL1	Tilavuusvirta, pulssi		0 – 10 V	0,3 – 45 l/min
Huuhtelutilavuusvirta	QF1	Tilavuusvirta, pulssi		0 – 10 V	0,3 – 45 l/min
Moottorin pyörimisnopeus, suunta	n1			± 10 V	
Vääntömomenti	torque1		0 – 10 kNm	± 10 V	
Säiliön lämpötila, paluuvirtaus	TTankR	Lämpötila, 4 – 20 mA		0 – 10 V	

Säiliön lämpötila, imupuoli	TTankS	Lämpötila, 4 – 20 mA		0 – 10 V	
Lämpötila, paluulinja	T1	Lämpötila, 4 – 20 mA		0 – 10 V	
Lämpötila, huuhtelu	Tfl	Lämpötila, 4 – 20 mA		0 – 10 V	
Öljynlaatu	CSTank.04	Öljynlaatu, 4 µm		0 – 10 V	
Öljynlaatu	CSTank.06	Öljynlaatu, 6 µm		0 – 10 V	
Öljynlaatu	CSTank.14	Öljynlaatu, 14 µm		0 – 10V	
Öljynlaatu	CSTank.21	Öljynlaatu, 21 µm		0 – 10 V	
Vesipitoisuus	WTank			0 – 10 V	

Kaikki taulukossa 4.2 listatut mitattavat suureet ja Cadasyksen tarvitsemat signaalit ovat toimineet järjestelmän suunnittelun lähtökohtana. Verrattuna alkuperäiseen järjestelmään, on uuden järjestelmän mitattavia suureita huomattavasti enemmän. Tämän taulukon avulla pidetään kuitenkin huoli siitä, että testijärjestelmä toteuttaa sille asetetut vaatimukset. Suureiden mittaamisen käytännön toteutuksesta kerrotaan luvussa 5. Toteutunut järjestelmä. Jotkin mittaussuureet on mukailtu omien tarpeiden mukaisesti huomioiden niille asetetut vaatimukset.

4.3.6 Järjestelmän kuvaus

Testipenkki tulee suunnitella modulaarisesti siten, että kaikki moduulit ovat integroituihin seinämien molempiin puoliin sekä etupaneeliin. Koneikko tulee olla sijoitettu testipenkin ja väliseinän taakse, johon kuuluu testimoduulit sekä tehonlähde. Väliseinän etupuolella tulee olla testattavan laitteen kiinnitysmekanismit sekä kaikki liitännän mukaan lukien momentin mittausta sekä vaaditut mekaaniset suojukset. Väliseinän etupaneelissa tulee olla integroituna sekä analogiset mittarit että liitännät testattavaan laitteeseen.

Testattavat laitteet tulee kiinnittää kiinnitystelineeseen liikutettavan ja vaihdettavissa olevan levyn avulla. Hydraulijärjestelmä tulee olla suunniteltu siten, että kiinnitys voidaan toteuttaa vaihtoehtoisella tavalla. Erikokoisten pumppujen takia kiinnitysmekanismin tulee olla sellainen, että sitä voidaan tarvittaessa liikuttaa ja muuttaa.

Testattavan laitteen poistamista varten kiinnityslevyn tulee olla irrotettava, ja kiinnitystelineen olla sellaisella tasolla, että se on mahdollisimman ergonominen työntekijöille.

Testattavan laitteen kiinnitysmekanismissa tulee ottaa huomioon värinän vaikutukset. Lisäksi tulee ottaa huomioon mahdollinen testattavan laitteen putoaminen.

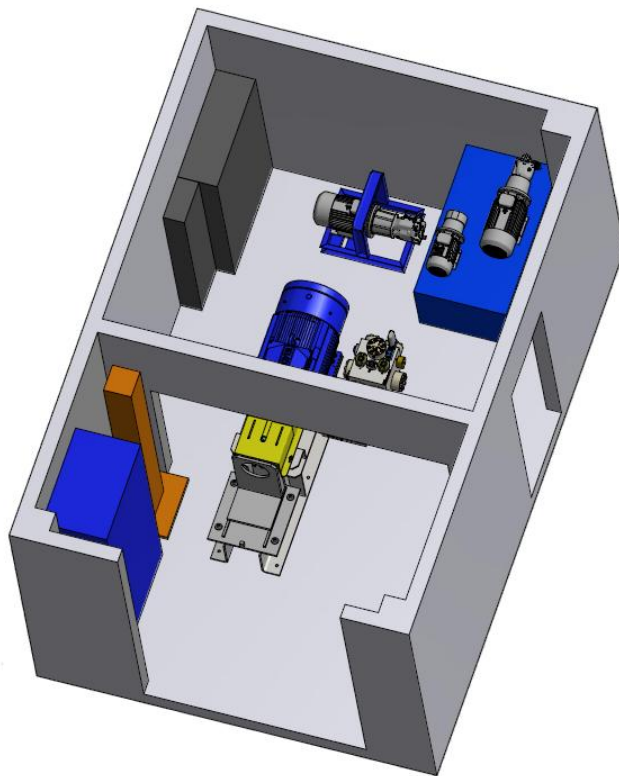
Testilaitteen ja letkuliitäntöjen alla tulee olla liikutettava öljysäiliö. Säiliön tulee olla sellainen, että se voidaan tarpeen vaatiessa siirtää eri paikkoihin. Vuotoöljy tulee palauttaa säiliöön suodattimen kautta erillisen apupumpun avulla. Tankissa tulee olla visuaalinen öljyntilavuusmittari, josta voidaan silmämääräisesti tarkistaa tankissa olevan öljyn määrä.

Ohjausjännitteen tulee olla 12 V tai 24 V. Sen lisäksi järjestelmässä pitää olla yksi pulssin leveyttä säätävä PWM-vahvistinkortti (Pulse-width modulation, pulssinleveysmodulaatio). Ohjaimet pitää olla sijoitettuna ohjauspaneelille/ohjausyksikköön. Cadasyksen lisäksi tulee olla mahdollista ajaa manuaalisia testejä.

5. TOTEUTUNUT JÄRJESTELMÄ

Toteutunut järjestelmä on ominaisuuksiltaan hyvin samanlainen, kuin mitä alkuperäinen suunnittelussa apuna käytetty mallijärjestelmä oli. Toteutuksessa on otettu huomioon kaikki omat tarpeet sekä mahdolliset tekniset rajoitukset sekä käytännön asiat. Tämän lisäksi toteutukseen vaikutti olemassa olevan apukoneikon hyötykäyttö mahdollisuuksiensa mukaan.

Huone, jossa testipenkki sijaitsee, on mitoiltaan noin 6000 mm pitkä sekä 4010 mm leveä. Koneikkopuolen eli takahuoneen ja testipuolen eli etuhuoneen välissä on väliseinä. Takapuolella on sähkökaappi, apukoneikko säiliöineen sekä pää tehonlähde kuvan 5.1 mukaisesti.



Kuva 5.1. Testitilan alustava layout (Etteplan, Hakkarainen 2014).

Testipuolella sijaitsee letkuteline, kulmassa oleva nosturi sekä teline, johon testilaitte kiinnitetään. Kuva on suunnitteluvaiheen hahmotelma, ja siitä puuttuu väliseinä sekä kaikki putkitukset sekä letkulinjat kytkentöineen. Ohjausyksikkö, johon Cadasys sekä oma ohjausboksi sijoitetaan, sijaitsee kuvan ulkopuolella oikealla alhaalla seinän takana.

5.1 Sähkönsyöttö ja automaatio

Testijärjestelmän ohjaus tapahtuu Cadasys-nimisellä ohjauslaitteella. Se pitää sisällään tietokoneen, joka hakee ethernet-kaapelin avulla testattavan laitteen tiedot konsernin sisäisestä tietokanasta. Cadasys on testihuoneen ulkopuolella ikkunan takana, jotta ohjaus voidaan toteuttaa turvallisesti väliseinän takaa. Cadasys saa kaikki tiedot kenttäkaapeleita pitkin sähkökaapilta, jonne kaikki tieto kerätään kentältä.

Virtalähteeltään 24 VDC sähkökaappi sisältää suodattimen, tuulettimen, apukoneikon sähkömoottoreiden moottorilähdöt sekä tarvittavat releet ja liittimet. Sen lisäksi kaapissa on taajuusmuuntaja sekä kopio Cadasyksen kytkentätaulusta.

Kun kaikki tieto vedetään ensin kentältä sähkökaapille, voidaan sähkökaappiin kytketyn oman ohjausboksin kautta järjestelmää ajaa myös ohittamalla Cadasys. Lisäksi järjestelmä sisältä myös omaa logiikkaa, kuten suuntaventtiileiden ja paineensäätöventtiileiden ohjauksia, joita ohjataan Cadasys-ohjauksesta erillään. Osa oman logiikan ohjauksesta tulee toteuttaa ennen testien ajamista. Esimerkiksi valintalohkon 4WE6-venttiilillä ohjataan ohjauspaine valintalohkon patruunoille riippuen siitä, testataanko avoimen vai suljetun piirin pumppua. Sähkökaappi sijaitsee takatilassa eli koneikkopuolella. Oma ohjausboksi on Cadasyksen kyljessä kiinni testipuolen ulkopuolella ohjauspöydän luona.

Kun kaikki sähkö on kytketty päävirtakytkimen taakse, voidaan päävirtakytkin tehdä siten, että sen päälle kytkeminen vaatii avaimen. Näin testilaitetta ei pääse käyttämään kuin työntekijät. Lisäksi koneikkopuolelle eli takahuoneeseen vievässä ovesa on rajakytkin, joka estää testijärjestelmän käynnistämisen oven ollessa auki. Huoneessa ei ole mitään erillistä valoverhoa tai liiketunnistinta.

5.2 Tehonlähde

Järjestelmä pyörii runkokooltaan 355 olevalla 200 kW Hoyerin sähkömoottorilla. Tällaista kuvassa 5.2 näkyvää moottoria voidaan tarvittaessa ylikuormittaa 50 % yhden minuutin ajan teollisuusmoottorikäytössä. Tämä kuusipuolainen moottori on taajuusmuuntajakäytössä, ja sen ohjaus toteutetaan Bosch Rexrothin Indra Drivellä.



Kuva 5.2. Hoyerin 200 kW sähkömoottori (Hoyer Motors 2014).

Sähkömoottori käyttää korkeaa jännitettä 400/690 V, ja sen pyörimisnopeus on 990 kierrosta minuutissa 50 Hz:llä sekä nimellinen vääntömomentti 2000 Nm. Enimmillään moottori voi tuottaa 3677 Nm momentin. 200 kW moottoria on saatavana myös eri kokoisella rungolla (esimerkiksi 315), mutta koska koko layout on mahdollista toteuttaa valittujen komponenttien mukaan, päädyttiin tähän moottoriin hinnan ja saatavuuden takia. Käytettävältä sähkömoottorilta halutaan suoraan mitata sen pyörimisnopeus sekä sen tuottama momentti, joilla pumppua testataan.

5.2.1 Mitattavat suureet, pyörimisnopeus

Käytettävältä sähkömoottorilta halutaan mitata suoraan kuvan 5.3 mukaisella pulssianturilla sen todellinen pyörimisnopeus. Moottorin pyörimisnopeus saadaan asentamalla anturi suoraan tuuletintakin pyörittävälle akselille. Tuuletin sijaitsee moottorin päinvas-
taisessa päässä verrattuna päähän, johon momenttianturi ja testattava laite kytketään. Pulssianturia varten moottorin tuuletinpäähän tulee tehdä reikä suoraan ritilään, jonka kautta anturi voidaan kiinnittää tuuletintakin pyörittävässä akselissa olevaan kierre-
reikään. Tässä päässä on M10 kierre-
reikä, johon saa lisättyä lisäakselin, johon pulssianturin saa kytkettyä.



Kuva 5.3. SICK-pyörimisnopeusanturi (SICK 2014).

SICKin valmistamalla SEK37-anturilla saadaan mitattua moottorin pyörimisnopeus pulssina aaltolina kierroksessa. Se pystyy mittaamaan 16 aaltoa kierrosta kohden. Anturin pienen koon ansiosta se vie vähän virtaa ja mahdollistaa asennuksen ahtaaseenkin paikkaan, ja sillä pystytään mittaamaan pyörimisnopeus luotettavasti 6000 kierrokseen minuutissa asti.

5.2.2 Mitattavat suureet, momentti

Kuvan 5.4 mukainen Kistlerin momenttianturi kiinnitetään suoraan akselilinjaan kytkimien avulla sähkömoottorin ja testattavan laitteen väliin. Näin sähkömoottori pyörittää momenttianturia, ja momenttianturin akselilta momentti johdetaan kytkimen kautta testattavalle pumpulle tai moottorille. Momenttianturilla pystytään mittaamaan momenttia aina 5000 Nm asti, joka riittää sähkömoottorin suurimpaan mahdolliseen momentin tuottoon 3677 Nm.



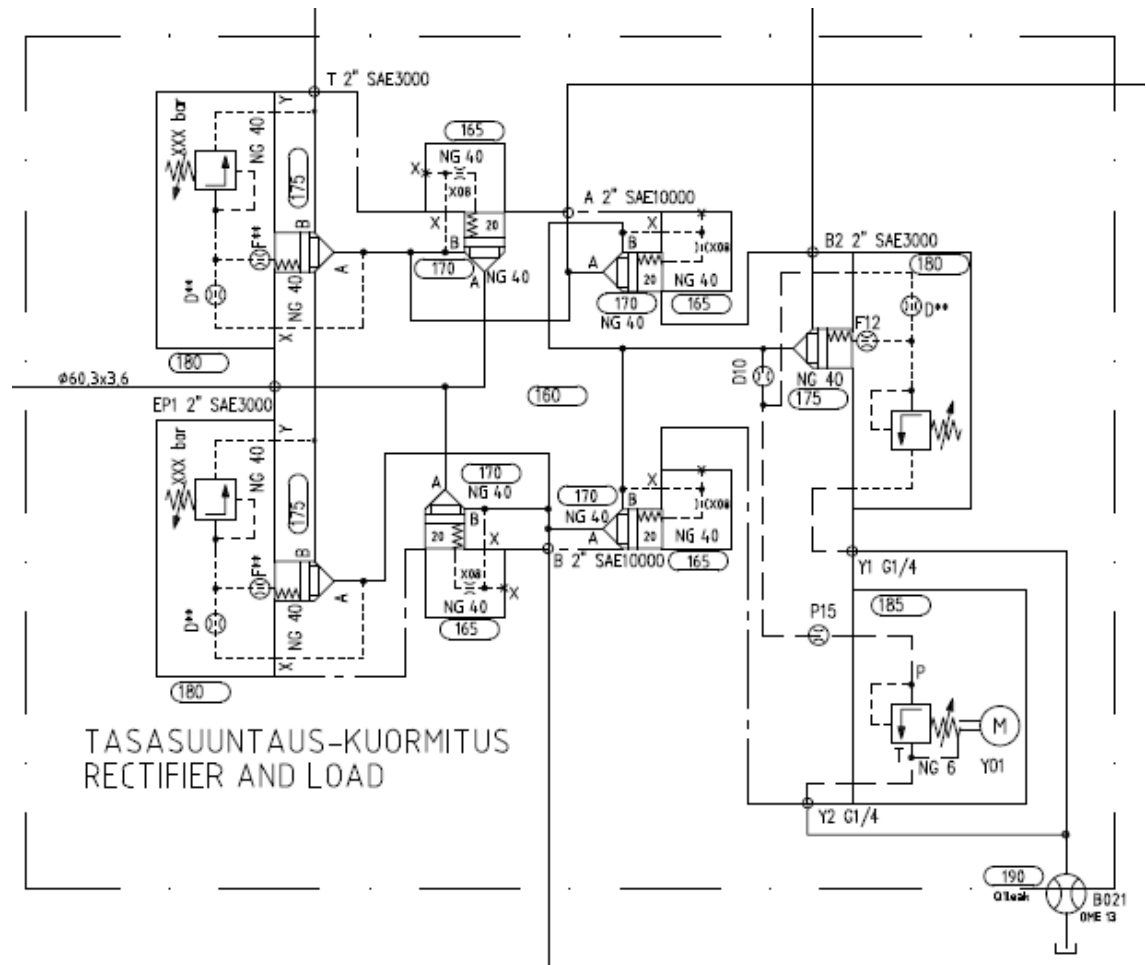
Kuva 5.4. Kistlerin momenttianturi ilman momenttijalkoja (Kistler 2014).

Kuvasta puuttuvat saman valmistajan toimittamat momenttijalat, joilla anturi voidaan kiinnittää rautarakenteisiin. Momenttianturia valitessa otimme huomioon mahdolliset eri toimittajavaihtoehdot, mutta päädyimme Kistlerin tarjoamaan momenttianturiin, sillä kaikki muut samantyyppiset momenttianturit olivat huomattavasti kalliimpia. Hinnasta huolimatta ne olivat täysin ominaisuuksiltaan vastaavia eivätkä tarjonneet minkäänlaista lisäetua ja valintaperustetta verrattuna Kistlerin.

5.3 Hydraulinen tasasuuntaaja ja kuormalohko

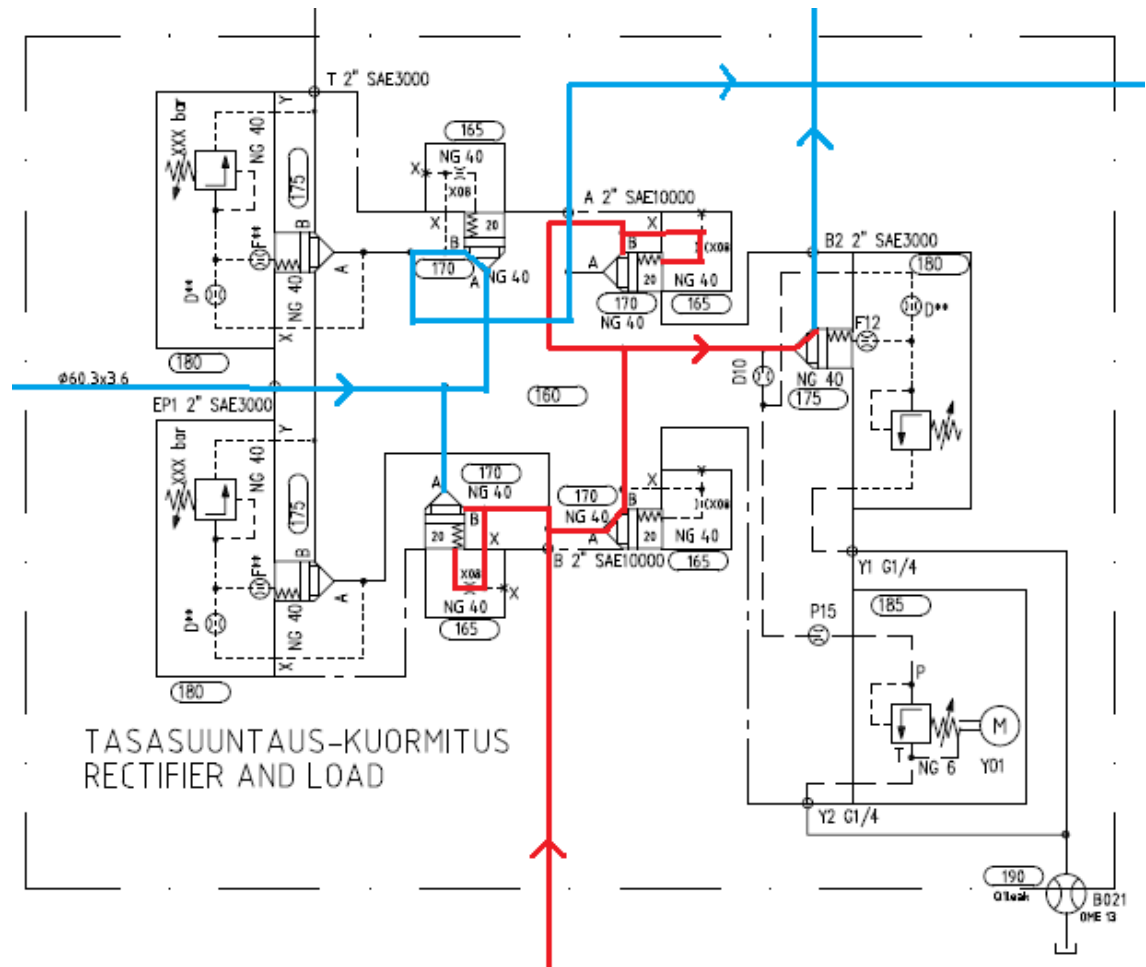
Kuormamoduulin päätarkoitus on kuormittaa testattavaa pumppua tai moottoria. Rajoitus tapahtuu kuristamalla virtausta paineenrajoitusventtiilillä. Järjestelmän toimintaperiaate on energiatehokkuuden kannalta hyvin epäsuotuisa, sillä järjestelmällä ajetaan toimilaitetta kuristinta vasten, josta virtaus puretaan vapaana joko tankkiin tai suljetun piirin käytössä takaisin toimilaitteelle. Eli järjestelmän toiminta perustuu hukatehon eli lämmön tuottamiseen.

Kuormamoduuli toimii niin avoimena kuin suljettunakin piirinä. Sillä voidaan testata sellaisenaan kaikki halutut pumput ja moottorit, ja niitä voidaan ajaa kumpaan suuntaan tahansa. Molempien suuntien toiminta on mahdollista käytetyn hydraulisen tasasuuntaajan avulla, jonka toiminta perustuu vastaventtiileinä toimiviin logiikkaventtiileihin. Tasasuuntaajan kanssa samassa lohkoissa on myös kuormituksen toteuttavat venttiilit sekä järjestelmän pääpaineenrajoitusventtiilit. Hydraulisen tasasuuntaajan ja kuormalohkon hydraulikaavio on kuvassa 5.5.



Kuva 5.5. Hydraulisen tasasuuntaajan ja kuormalohkon hydraulikaavio (Etteplan, Hakkarainen 2014).

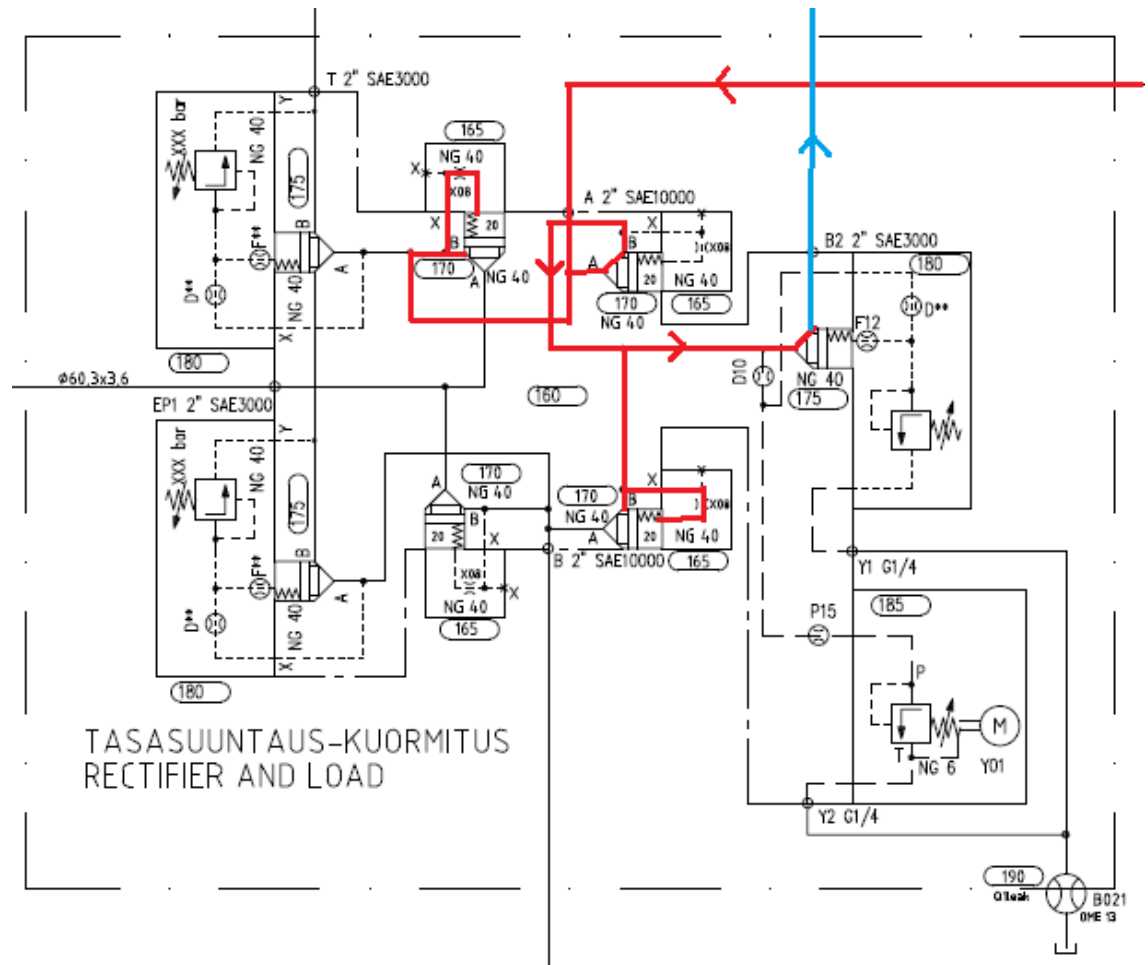
Tasasuuntaimen toiminta perustuu siihen, että riippumatta siitä, kuinka päin testattava laite kytketään, ohjautuu öljy aina kuormittavalle logiikkaventtiilille. Mikäli testataan suljetun piirin pumppua tai moottoria, öljy palaa tasasuuntaajalle suodatettuna ja jäähdytettynä valintalohkon kautta. Kuvassa 5.6 on havainnollistava kuva tasasuuntaajan toiminnasta, kun testataan suljetun piirin laitetta.



Kuva 5.6. Tasasuuntaajan toiminta suljetussa piirissä (Perustuu lähteeseen Etteplan, Hakkarainen 2014).

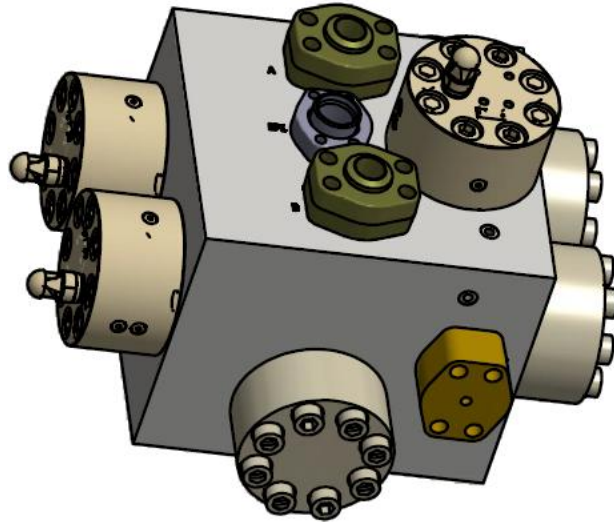
Punainen linja kuvaa painelinjaa ja sen virtaussuuntaa. Öljy yrittää mennä vasemmanpuoleisen logiikkaventtiilin läpi, mutta öljynvirtaus painaa logiikkaventtiiliä kiinni sen omaa joustia tukien. Öljy virtaa oikeanpuoleisen logiikkaventtiilin kautta. Öljy ei pääse ylemmän logiikkaventtiilin kautta, koska virtaus pitää logiikkaventtiilin kiinni. Näin ollen öljy virtaa oikealla olevaan logiikkaventtiiliin, missä testattavan laitteen kuormitus syntyy. Painelinjaa ei ole väritetty punaisella kuvassa vasemmalla oleville paineenrajoituslogiikkaventtiileille asti.

Kuormituksen aiheuttavan logiikkaventtiilin avautumista ohjataan DBGT-proportionaaliventtiilillä. Tältä logiikkaventtiililtä öljy pääsee purkautumaan jäähdyttimen kautta takaisin tasasuuntaajaan ja siitä edelleen testattavan laitteen paluupuolelle. Kuvassa 5.7 on esitelty tasasuuntaajan toiminta avoimen piirin testattavalla laitteella siten, että painelinja on kuvaan 5.6 nähden päinvastainen.



Kuva 5.7. Tasasuuntaajan toiminta avoimessa piirissä (Perustuu lähteeseen Etteplan, Hakkarainen 2014).

Kuten kuvista voidaan havaita, öljy virtaa aina kuormituksen aiheuttavalle logiikkaventtiilille kytkennästä riippumatta. Kuvan 5.7 kytkennässä ylempi vasen eikä alempi oikea logiikkaventtiili aukea, sillä öljyvirtaus tukee niiden omia jousivoimiaan ja painaa ne kiinni. Vasemmalla näkyvät kaksi logiikkaventtiiliä ovat järjestelmän pääpainerajoitusventtiilit. Niitä tarvitaan tasasuuntaajan toiminnan takia kaksi, molemmille virtaussuunnille. Totetunut tasasuuntaajan ja kuormalohkon kuva on hyvin kuvan 5.8 kokoonpanokuvan kaltainen.



Kuva 5.8. Yhdistetty hydraulinen tasasuuntaaja ja kuormalohko (Etteplan, Hakkarainen 2014).

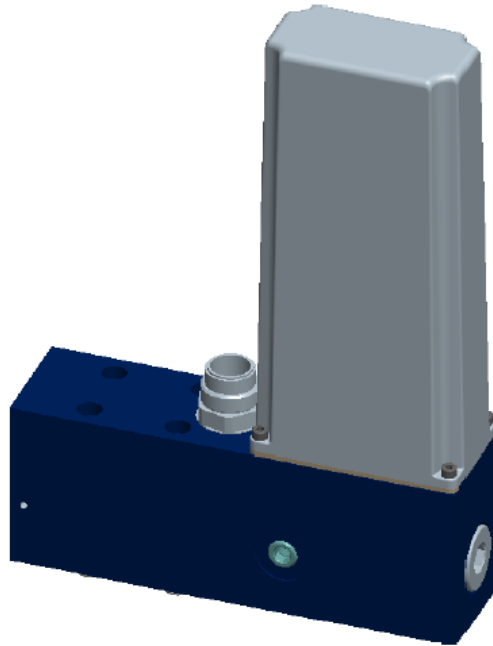
Pyöreät massiiviset kannet ovat Bosch Rexrothin omien LCT-logiikkaventtiileiden NG40-kokoisia LFT-kansia. Tällaisten LCT-korkeapainepatruunoiden suurimmat sallitut toiminta-arvot ovat 1000 bar ja 25000 l/min. Rexrothin standardien logiikkaventtiileiden suurin sallittu paineraja on vain 420 bar suurimman sallitun tilavuusvirran pysyessä samana 25000 l/min. Koska järjestelmällä on tarkoitus tehdä testejä aina 600 bar asti, käytetään näitä korkeapainepatruunoita.

NG40-kokoisella venttiilillä painehäviö venttiilin yli on alle 1 bar. Tämä on riittävä pieni painehäviö, kun otetaan huomioon järjestelmän toimintaperiaate, eli toimilaitteen kuormittaminen virtausta kuristamalla. Kuristamisen tarkoitus taas on nostaa painetta haluttuun rajaan asti. NG32-kokoisella logiikkaventtiilillä painehäviö venttiilin yli on noin 1,5 bar. NG50-kokoiset eivät tuo merkittävää lisätua siihen nähden, että ne ovat kalliimpia ja vievät enemmän myös fyysistä tilaa. Näin ollen valitut patruunat ovat kokoa 40.

Kuten edellä mainittiin, niin tasasuuntaajan yhteydessä on järjestelmän pääpaineraja-venttiilit, joiden painerajaksi on asetettu 630 bar. Niitä on kaksi siitä syystä, että tasasuuntaaja mahdollistaa toiminnan molempiin suuntiin ja molemmin päin. Näin pumpu tai moottori voidaan kytkeä käytännössä kuinka päin vain tarve vaatii, eikä eri suuntiin ajettaessa tarvitse muuttaa kytkentöjä mitenkään esimerkiksi palloventtiilin avulla, vaan paineenrajoitukset toimivat aina kaikissa tilanteissa kahdennuksen ansiosta.

Paineenrajoitusventtiilit ovat samanlaisia NG40-kokoisia LCT-logiikkaventtiileitä mitä käytetään tasasuuntaajassa myös öljyn virtaussuunnan ohjaukseen. Patruunaan kiinnitetävän kannen toiminta on erilainen, sillä nyt siinä tulee olla kiinnitettynä paineenrajoitusventtiili. Tämä paineenrajoitusventtiili toimii kuin mikä tahansa paineenrajoitin. Sen avautumisraja säädetään haluttuun arvoon, ja painerajan ylittyessä se vapauttaa logiikkaventtiilin karan auki, jolloin öljy pääsee vapaasti virtaamaan tankkiin.

Tasasuuntaajalta lähtee yksi virtauslinja kuormituksen tuottavalle logiikkaventtiilille. Tässä on samanlainen NG40-kokoinen korkeapainepatruuna, kun pääpaineenrajoituksessa, mutta kannen toiminta on suunniteltu eri tavalla. Kannessa on myös samanlainen paineenrajoitusventtiili kuin pääpainerajassa, mutta sen lisäksi rinnalle on asennettu toinen paineenrajoitusventtiili, sähköisesti ohjattava proportionaaliventtiili. Tämä Bosch Rexrothin kuvassa 5.9 oleva DBGT-mallinen proportionaaliventtiili on se kuristava komponentti, johon koko kuormamoduulin ja järjestelmän toiminta perustuu.



Kuva 5.9. Suoraanohjattu DBGT-proportionaaliventtiili (Bosch Rexrothin kuvaarkisto).

Koska paineraja on niin korkea, ei tähän tarkoitukseen löydy kovin montaa vaihtoehtoa proportionaaliventtiiliksi. Tämän DBTG:n maksimi käyttöpaine on 700 bar, ja tämä toimii ensisijaisena rajoittimena. Korkean paineen takia se käyttää kuristamiseen pientä tasavirtasähkömoottoria. Ja mikäli öljyn virtausta kuristetaan liikaa, kannen toinen paineenrajoitusventtiili vapauttaa öljyn virtauksen tankkiin. Tämän toisen paineenrajoitusventtiilin paineraja on asetettu 600 bar suurimman sallitun testauspaineen mukaan.

Kuormitusventtiililtä öljy pääsee purkautumaan patruunalta kovalla virtauksella, mutta virtauksen painetaso on matala. Öljyn laatua haluttiin tarkkailla ennemmin heti kuormituksen jälkeen kuin tankista, sillä testattava laite on voinut kerätä likaa huollon yhteydessä huollon työskentelytiloista. Kun mittauspiste kytketään suoraan tähän linjaan, antaa se paremman kuvan öljyn puhtaudesta verrattuna säiliöön kytketystä mittauslaitteesta.

Bosch Rexrothin omalla kuvassa 5.10 näkyvällä hiukkasmittarilla OPM:llä (linjaan kytkettävä hiukkaslaskuri) saadaan tieto 4,6,14, ja 21 mikrometrin partikkeleista. Vaikka

kyseessä on linjaan kytkettävästä hiukkasmittarista, tulee se kytkeä sivuvirtaukseen säädettävän kuristuksen avulla, sillä sen läpäisy on vain 50 – 400 ml/min. Tähän sivuvirtaukseen tarvitaan virtauksen säädin mittalaitteen jälkeen, jolla virtauksen suuruus voidaan pitää vakiona.



Kuva 5.10. Linjaan kytkettävä OPM-hiukkaslaskuri (Bosch Rexroth 2014c).

Mittari ottaa tarvitsemansa virtauksen, joka johdetaan tankkiin. Muu öljy johdetaan suodattimen kautta jäähdyttimelle. Tässä linjassa paineraja on 40 bar, jolloin voidaan käyttää KRALin virtausmittareista OME-sarjaa, jonka suurin sallittu painealue on 40 bar. KRALilta löytyy esimerkiksi OMG-sarja, jota voi käyttää huomattavasti suuremmissakin paineissa. Sille ei ole tarvetta, sillä painealueen ei ole tarvetta olla yli 40 bar missään olosuhteissa. Ennen jäähdytintä öljyn virtausnopeus mitataan OME 52 mittarilla, jonka mitta-alue on 3,5 - 525 l/min. Tilavuusvirtamittareita käsitellään tarkemmin luvussa 5.10.

Jäähdytys tapahtuu jo olemassa olevilla vanhassakin järjestelmässä toimineilla tuulettimilla. Öljyn jäähdytystarvetta seurataan mittaamalla öljyn lämpötila linjassa heti jäähdyttimen jälkeen. Jäähdyttimen valintaperusteluja käsitellään tarkemmin luvussa 5.8.

Jäähdytyksen jälkeen moduulissa on valintalohko, joka määrittelee öljy virtaussuunnan sen mukaan, onko testattava laite suljetun vai avoimen piirin toimilaite. Lohkossa on kaksi logiikkaventtiiliä, joiden avulla öljyvirta ohjataan haluttuun suuntaan. Suuren virtauksen takia tähän ei ole järkeä käyttää normaalia suuntaventtiiliä. Vaihtoehtoisesti käsivipukäyttöinen palloventtiili sopii hyvin, mutta ajatuksesta luovuttiin, koska käyttämällä logiikkaventtiileitä on valinta mahdollista tehdä sähköisesti.

4WE6-suuntaventtiilin avulla ohjataan ohjauspaine tilanteen mukaan toiselle patruunoista siten, että se estää öljyn virtauksen sen läpi. Näin valinta voidaan toteuttaa nappia painamalla. Patruunoiden kansissa on rajakytinkyypiset tunnistimet, jolloin suunta-

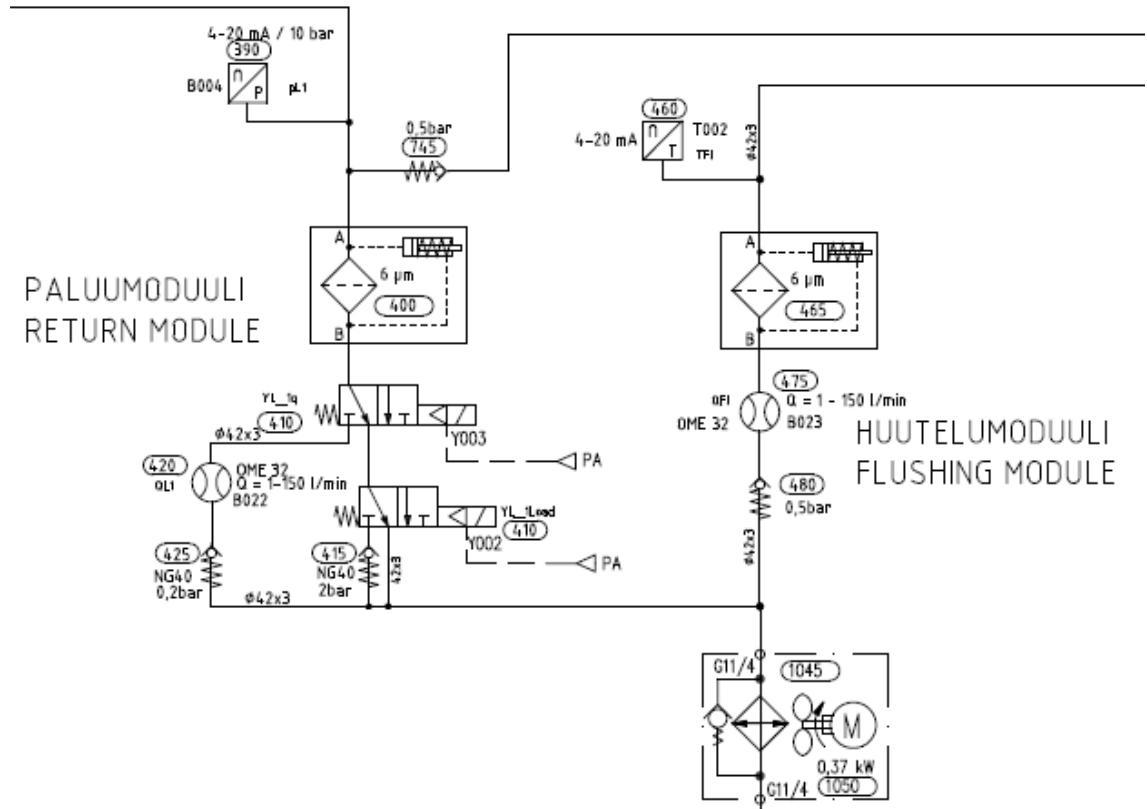
venttiili tietää patruunoiden asennon. Näin varmistutaan siitä, ettei järjestelmää pyöritetä ennen tietoa siitä, onko valittu kytkentä avoin vai suljettu piiri.

Valintalohkolta öljy virtaa joko tankkiin, tai vaihtoehtoisesti hydraulisen tasasuuntaan kautta testattavan laitteen imulinjaan. Tässä kohtaa ennen tasasuuntaajaa on myös kytkentä syöttöpainemoduulilta, jonka avulla voidaan tuottaa lisäpainetta suljettuun piiriin tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi joissain A4-pumpuissa, kuten A4CSG ja A4VG, voi olla integroituna syöttöpainepumppu, jolloin syöttöpainemoduulin apupaine ja tilavuusvirta ovat tarpeen. Tai mikäli moottoria testataan pumppuna, tarvitaan imupuolelle huomattavasti normaalia avoimen piirin pumpun imupuolen painetta suurempi paine.

5.4 Paluu- ja huuhtelumoduuli

Paluumoduulin kautta kulkevat kotelovuodot, eli se öljy, joka vuotaa testattavan pumpun tai moottorin kotelosta sitä ajettaessa. Tämän öljyn painetaso mitataan ensimmäisenä, jonka jälkeen öljy suodatetaan ja tilavuusvirran suuruus mitataan. Koska öljy on toimilaitteen sisältä tulevaa öljyä, johdetaan se jäähdyttimen kautta tankkiin.

Paluumoduulissa on lisäksi ominaisuus, jonka avulla testattavan laitteen kotelo voidaan täyttää öljyllä ennen testien aloittamista. Kotelon täyttöön käytetään ohjauspainemoduulin A10-pumppua. Ohjauspainemoduulissa on on/off-tyyppinen M-2SED-venttiili, joka avataan ennen testejä kotelon täyttöä varten. Paluumoduulissa on 2 bar vastaventtiili, joka takaa sen, että paine ei nouse liian korkeaksi, sillä kotelo kestää vain 2 bar painetasoa. Kun kotelo on täynnä, vastaventtiili päästää öljyn virtaaman lävitseen säiliöön. Kuvassa 5.11 näkyy paluu- ja huuhtelumoduulin hydraulikaavio.



Kuva 5.11. Paluu- ja huuhtelumoduulin hydraulikaavio (Etteplan, Hakkarainen 2014).

Kuten kuvan 5.11 kaaviosta näkyy, on paluumoduulissa kaksi 3/2-suuntaventtiiliä, joilla öljy ohjataan sitten joko tilavuusvirtamittarille ja 2 bar vastaventtiilille tai pienemmän vastaventtiilin 0,2 bar kautta suoraan jäähdyttimelle ja sitä kautta säiliöön. Koska kotelo ei kestä korkeaa painetta, ei tavallista suuntaventtiiliä voida käyttää tämän tilavuusvirran ohjaamiseen liian suuren painehäviön takia. Tästä syystä venttiileiksi valittiin sähköisesti ohjattavat, mutta paine-ilmalla liikutettavat kuvan 5.12 mukaiset Bürkertin suuntaventtiilit.



Kuva 5.12. Bürkertin paineilmalla ohjattava suuntaventtiili (Perustuu lähteeseen Bürkert 2013).

Tällaista paineilmahajattua suuntaventtiiliä voidaan käyttää siitä syystä, että sen painehäviö laskettuna öljyn maksimivirtauksella 150 l/min on alle 0,1 bar. Venttiili tarvitsee sähköisen ohjaussignaalin lisäksi paineilmailman, jonka avulla se joko avataan tai suljetaan ohjaussignaalin mukaisesti.

Paluumoduulin kanssa samaan jäähdyttimeen on kytkettynä huuhtelumuoduli. Myös huuhtelulinja tulee pumpulta ja sen öljyn lämpötila mitataan ensimmäisenä. Sen jälkeen öljy suodatetaan ja tilavuusvirtamittarin kautta öljy virtaa paluumoduulin kanssa saman jäähdyttimien kautta tankkiin.

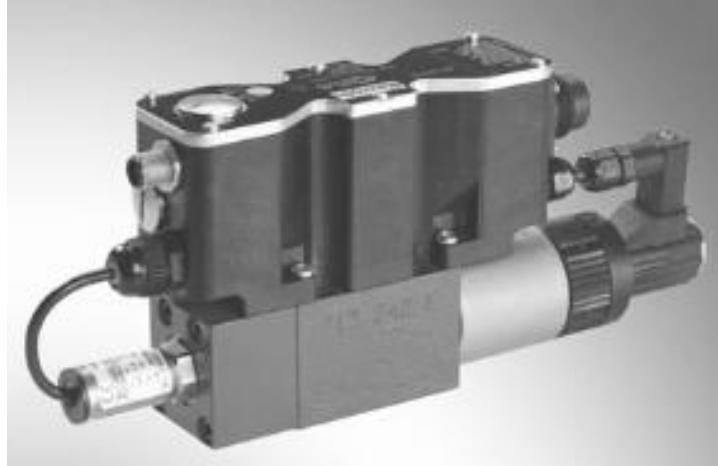
5.5 Syöttöpainemoduuli

Syöttöpainemoduulin tarkoitus on tuottaa apupainetta järjestelmään tiettyjä testejä ajettaessa. Tällaisia testejä voivat olla esimerkiksi suljetun piirin pumppujen testit, joissa pumppuun on integroitu syöttöpainepumppu. Esimerkiksi A4CSG on suljetun piirin pumppu, ja koska meillä on optio 500 cm³ pumpun testaukseen, on silloin mahdollinen tarve 98 cm³ syöttöpainepumpulle.

Vanhan testijärjestelmän apukoneikossa on olemassa A10VSO140-pumppu. Tämä 140 cm³ pumppu on riittävän kokoinen syöttöpainemoduulin kokotarpeeseen nähden, mutta siinä oli kiinni liian pieni sähkömoottori. Pumpun teholliseksi valittiin Hoyerin 18,5 kW sähkömoottori, jonka avulla vanha pumppu kykenee tuottamaan tarpeeksi tilavuusvirtaa ja painetta syöttöpainemoduulille. Luonnollisesti moottorin vaihtamisen seurauksena tarvittiin uusi kytkin ja kytkintunneli.

Pienempi sähkömoottori olisi riittänyt alkuperäisen suunnitelman mukaiseen käyttöön, mutta valitun venttiilin yli olevan suuren paine-eron takia tarvittiin enemmän tehoa. Syöttöpainemoduulin tilavuusvirran ja paineen ohjaus tapahtuu kuvan 5.13 mukaisella

STW-proportionaaliventtiilillä, jonka yli paine-ero on noin 40 bar käytössä olevalla tilavuusvirralla.



Kuva 5.13. Suoraanohjattu STW0196-proportionaaliventtiili (Perustuu lähteeseen Bosch Rexroth 2013).

Vaikka paine-ero on suuri, ei venttiili tarvitse erikseen paineenalenninta oikean painetasen huolehtimiseksi, sillä se toimii itsessään painesäätimenä. Tämän venttiilin tarkoitus on säätää tilavuusvirtaa, joka syötetään suljetun piirin paluulinjaan testattavan laitteen imulinjaan ennen tasasuuntaajaa.

5.6 Ohjauspainemoduuli

Ohjauspainemoduuli koostuu eri osista toimintojensa mukaan. Moduulissa on varsinaisen ohjauspainemoduulin lisäksi korkeapainemoduuli. Näiden lisäksi moduulista saadaan tarpeen mukaan ylimääräinen apupaine sekä mahdollisen tarpeen mukainen laakerin huuhtelu. Ohjauspainemoduulin molemmat pumput ovat vanhassa järjestelmässäkin käytössä olleita pumppuja. Kuten jo kuvasta 4.4. voitiin havaita, olivat nämä pumput valmiina säiliön kanteen asennettuina.

Korkeapainemoduulin pumppuna käytetään vanhassa järjestelmässä ollutta PR4-korkeapainepumppua, joka sopi uuteen järjestelmään sellaisenaan. Vaikka pumppu löytyi valmiina säiliön kanteen kiinnitettynä, tuli tätä moduulia muokata uuden ohjauksen toteuttamiseksi.

Normaalin paineenrajoitusventtiilin lisäksi korkeapainemoduulissa on painetta säätämistä varten erillinen proportionaalinen painesäätöventtiili. Tämä HAWEn valmistama PMVS-venttiili kestää painetta 450 bar asti. Sen lisäksi HAWEn valmistajan 20 bar MVS-paineenrajoitusventtiilillä pidetään huoli, että korkeapainemoduulissa on aina vähintään 20 bar ennen suodatinta. Tämä 20 bar MVS-paineenrajoitusventtiili on työlinjassa ensimmäisenä, ja sen takia sen tulee kestää painepuolella painetta 700 bar asti. Se on siis rajoitettu 20 bar asti, ja se päästää läpi korkeapaineisen öljyvirtauksen läpi. Tämä korkea ohjauspainevirta suodatetaan, jonka jälkeen korkeapaineohjausventtiilinä toimii

edellä mainittu HAWE:n PMVS-venttili. Tätä korkeapainemoduulin pumppua käytetään enemmän venttiililohkojen testauksessa apuna, kun itse aksiaalimäntäpumppujen ja –moottoreiden testauksessa.

Varsinaisen ohjauspaineen tuottamiseen käytetään korkeapainemoduulin lisäksi olemassa olevan apu koneikon A10VSO71-pumppua. Tällä pumpulla tuotetaan paine ohjaukselle, apupaineelle sekä laakerin huuhtelulle. Lisäksi ohjauspainelinjasta otetaan öljyvirtaus aikaisemmin mainitulle kotelontäyttö-ominaisuudelle, sekä kuormamoduulissa olevalle valintalohkon suuntaventtiilille.

Laakerin huuhtelua käytetään pumpuissa vain sellaisissa tilanteissa, joissa pumppu, esimerkiksi A4CSG, on asennettu ylösalaisin. Muissa tapauksissa pumpun huuhtelulla voidaan käytännössä pidentää laakerin käyttöikää, joten sen käyttö ei ole ehdoton vaatimus. Testiolosuhteissa laakerin huuhtelua ei ole käytetty vielä koskaan, mutta karkeasti voidaan sanoa, että tämän toiminnan lisääminen järjestelmään vaatii yhden paineenalennuksen poimimisen hyllystä. Paineenalenninta käytetään siitä syystä, että laakerinhuuhteluliitännässä on pumpun sisällä kuristin, jonka yli paine-ero on 3 bar. Kotelo kestää enimmillään edellä mainitun 2 bar paineen, joten paine alennetaan sopivaksi ennen kytkemistä pumppuun.

Tämä ominaisuus on hyvä pitää testijärjestelmässä myös siitä syystä, että vastaan voi tulla tilanteita, joissa asiakas on käyttänyt pumppua sellaisissa olosuhteissa, joissa he käyttävät laakerin huuhtelua. Näin ollen järjestelmällämme on myös mahdollisuus testata sen toimivuus ja käyttää sitä apuna testien tekemiseen todentaaksemme sen toimivuus asiakkaan olosuhteisiin soveltuvaksi.

5.7 Säädintestaus – DRG ja FR/LS

Kuten teoriaosuudessa luvussa 3.4 on kerrottu, käytetään A10-pumpuissa sekä muissa pumpuissa paljon säätimiä esimerkiksi halutun tilavuusvirran säätämiseksi. Tästä syystä järjestelmällä on mahdollisuus testata DRG-säätimiä sekä FR/LS-säätimiä (painesäätö sekä tilavuusvirtasäätö/kuormantunnistus).

Nämä kaksi lisäoptiota valikoitui järjestelmään siitä syystä, että molemmissa tapauksissa voidaan testauksen yhteydessä toteuttaa säätäminen ”kaukosäätöisesti”. DRG-säätimellä rajoitetaan paineenrajoitusventtiilillä painetta ja kuristettava virtaus on pumpulta pois päin. FR/LS puolestaan tarkoittaa sitä, että siinä painetta rajoitetaan säätimelle päin. Kun pumpun tuottamaa virtausta kuristetaan joko säädettävällä kuristimella tai vakio 0,8 mm kuristimella, ei kaukosäätö kyllästy. DRG-säädin sisältää tällaisen suuttimen itsessään.

Nämä toiminnot on lisätty suoraan kuormamoduulin yhteydessä olevaan liitällohkoon. Tässä lohossa on kytkennät painelinjoihin A1 ja B1, sekä DRG ja FR/LS.

Pumppu voidaan halutun testin mukaisesti kytkeä johonkin näistä liitännöistä tilanteen vaatimalla tavalla.

5.8 Jäähdytin

Alkuperäinen ajatus oli käyttää öljyvesijäähdytintä, ja varautua jäähdyttämään koko sähkömoottorin tuottama 200 kW. Vedellä jäähdyttämisen varjopuoli on se, että sen hyötysuhde verrattaessa veden tilavuusvirran tarvetta öljyn tilavuusvirtaan on huono.

Testijärjestelmän tarve on jäähdyttää öljyä kahdessa eri moduulissa. Toinen niistä on kuormamoduuli, jossa öljy lämpenee merkittävästi kuormapatruunassa tapahtuvan kuormituksen takia. Käytännössä sähkömoottoria ajetaan suoraan lämmöksi kuristinta vasten niin kauan, kunnes paineraja ylittyy ja öljy pääsee virtamaan paluulinjaan. Sen jälkeen se jäähdytetään tarvittaessa. Etenkin suljetussa piirissä tulee varmistua siitä, ettei öljyn lämpötila nouse liian korkeaksi sen virratessa takaisin testattavan laitteen imupuolelle.

Toista jäähdytintä käytetään paluumoduulin ja huuhtelumoduulin jäähdyttämiseen. Kotelosta vuotavan öljyn lämpötilan ei pitäisi nousta toimivassa ja huolletussa pumpussa tai moottorissa kovinkaan korkeaksi, ja vaikka se virtaa tankkiin, tulee se jäähdyttää ennen tankkia.

Kuten jo aikaisemmin nousi esille, niin öljyn jäähdyttäminen vedellä vaatii todella paljon vettä. Käytännössä se tarkoittaa sellaista vesimäärää, jota esimerkiksi kiinteistö, jossa testipenkki on, ei ole mahdollista järjestää tarpeeksi isoa putkea sellaisen vesimäärän tuottamiseen. Käyttämämme järjestelmän toiminta-arvojen mukaan komponentit ovat mitoitettu siten, että öljyn maksimi tilavuusvirta voi olla 500 l/min. Tällaista öljyvesijäähdytintä mitoittaessa käytetään seuraavanlaisia taulukossa 5.1 esitettyjä toiminta-arvoja.

Taulukko 5.1. Jäähdyttimen mitoitus kuormamoduulissa

Öljyn lämpötila sisään	60 C
Öljyn lämpötila ulos	40 C
Painehäviö	2 bar
Öljy	VG 46
Öljyn virtaama	500 l/min
Veden virtaama	250 l/min
Veden lämpötila	20 C

Käytetty vesi on vesijohtovettä, mutta se on todellisuudessa varmaan viileämpääkin kuin 20 celsiusastetta. Se ei kuitenkaan vaikuta tuohon veden tarvittavaan tilavuusvirtaan, vaan se vaan vaikuttaa pois tulevan veden lämpötilaan. Eräässä jäähdynmallissa oli hieman parempi hyötyteho, mutta ero oli kuitenkin niin pieni, että sitä harkittiin todellisena vaihtoehtona hintansa takia. Toisen tarvittavan öljyvesijäähdyttimen koko oli huomattavasti pienempi. Jäähdyttimen arvot määriteltiin taulukon 5.2 mukaan.

Taulukko 5.2. Jäähdyttimen mitoitus paluu- ja huuhtelumuodulissa

Öljyn lämpötila sisään	60 C
Öljyn lämpötila ulos	40 C
Painehäviö	2 bar
Öljy	VG 46
Öljyn virtaama	150 l/min
Veden virtaama	75 l/min
Veden lämpötila	20 C

Kun otetaan huomioon molemmat jäähdyttimet, ja lasketaan niiden vaatima tilavuusvirta niin sanotussa pahimmassa mahdollisessa tilanteessa, on jäähdyttimien tarvitsema veden tilavuusvirta $250 + 75 \text{ l/min} = 325 \text{ l/min}$. Normaalin vesijohtoverkon ja hanan virtausnopeuksilla sen toteuttaminen vaatii todella suurikokoisen halkaisijan putkistolta, ja sellaisen putkiston rakentaminen tulee kohtuuttoman kalliiksi. Kiinteistöön tulee paksu putki täysin vastakkaiselle puolelle rakennusta, eikä sekään välttämättä riittäisi takaamaan riittävää tilavuusvirtaa jäähdyttimille. Lisäksi tuollaisen vesimäärin käyttäminen itsessään on erittäin kallista. Vaikka testisyklit ovat tyypillisesti hyvin lyhyitä, ja etenkin maksimitehon käyttö on erittäin harvinaista, osoittautui jäähdytyksen uudelleenarkitseminen ajankohtaiseksi.

Tässä vaiheessa pohdinnassa otettiin huomioon myös mahdollinen vesikierto, eli jäähdytysveden kierrättäminen suljetussa järjestelmässä. Onko sellaisen toteuttaminen käytännössä mahdollista? Jos on, niin miten? Ajatuksena se, ettei jäähdytyksessä käytettävää vettä lasketa viemäriin, vaan se kerättäisiin talteen. Kuinka tämän veden jäähdyttäminen voidaan toteuttaa? Mitä muuta tulee ottaa huomioon? Tarvitaan vesisäiliö, mutta minkä kokoinen? Voiko jäähdytyksessä käytettyä vettä käyttää kiinteistön lämmitykseen? Suljetun vesikierron toteuttaminen käyttöolosuhteisiin ja resursseihin nähden jätettiin ajatuksen tasolle ja päädyttiin miettimään jäähdytyksen toteuttamista uudestaan.

Alkuperäinen ajatus vedellä toimivasta öljyn jäähdytyksestä on sinänsä toimiva, sillä tällaisten jäähdyttimien hankintahinta oli alhainen. Jäähdyttimen teho riittäisi vaivattomasti jäähdyttämään koko sähkömoottorin tuottaman tehon. Käytännön toteutus ja etenkin veden jatkuvan käytön tarve pitkällä aikavälillä rajaavat tämän vaihtoehdon pois käytöstä.

Todellisen jäähdytyksen tarpeen määrittelyssä otettiin huomioon testipenkin käyttöaste. Miten paljon sitä käytetään, ja minkä pumppujen testaamiseen? Paljon on keskimääräinen teho, jota käytetään?

Testipenkin käyttöasteen määrittäminen tapahtui kokeneita työntekijöitä haastattelemassa. Testipenkillä testataan vuodessa noin 50 huollettua pumppua ja moottoria. Sen lisäksi muutostöiden ja luokittelujen johdosta pumpputestejä tehdään noin sadalle pumpulle ja moottorille. Näin ollen vuodessa ajetaan noin 150 testiä, ja keskimääräinen tehon kulutus on 10 kW. Tämä tarkoittaa keskimäärin noin kolmea pumppua viikossa, eli testejä ei ajeta keskimäärin edes joka päivä. Keskimääräisen käyttöasteen mukaan jäähdytys on turha. Tilannetta pitää kuitenkin tarkastella laajemmin, ja ottaa jälleen kerran huomioon niin sanottu pahin mahdollinen skenaario. Mikä olisi sellainen tilanne, jossa järjestelmän öljyn lämpötila voisi nousta niin korkeaksi, että sitä tulee jäähdyttää?

Kokenein huoltamossa työskentelevä huoltomies on kerran joutunut tekemään viisi testiä päivässä, joka on tähänastisen toiminnan suurin kappalemäärä yhden päivän aikana. Näidenkään testien aikana ei sähkömoottoria ajettu yhtään kertaa täysillä. Suurimman mahdollisen jäähdytystarpeen kartoittamisen kannalta tarkastellaan tilannetta sillä ajatuksella, että testissä olisi niin sanottu maksimitehönkäytön vaihe mukana. Esimerkiksi minuutin verran ajettaessa täysillä, tarkoittaisi se yhteensä viisi minuuttia päivässä. Normaali työpäivä on keskimäärin kahdeksantuntinen, joten jaettuna tämä viisi minuuttia tasaisesti ja huomioimalla asennusajat, tarkoittaa se minuutin kuormitusta hieman useammin kuin kerran puolessatoista tunnissa.

Lisäksi järjestelmän öljysäiliö on tilavuudeltaan tarpeeseen nähden kookas, ja se toimii itsessään hyvänä jäähdyttimenä. Vaikka testattavaa komponenttia ajettaisiin suurimmalla järjestelmän sallimalla tilavuusvirralla 500 l/min, säiliön suuren öljytilavuuden ansiosta minuutin kuormitus ei ole kuin puolet säiliön koko tilavuudesta. Harvoin testeissä käytetään suurinta mahdollista tilavuusvirtaa, sillä pumpun kulmaa voidaan säätää siten, että tilavuusvirta pienenee. Näin ollen periaatteessa lämmintä öljyä ei tarvitse käyttää lainkaan. Toki testiin kuuluu myös pumpun testaamista eri nopeuksilla ja avautumiskulmilla, ja testisykli on muutakin kuin tämä maksimissaan noin minuutin kestävä maksiminopeus-vaihe. Joka tapauksessa suljetun piirin komponenttia testattaessa on jäähdytyksen tarve ilmeisempi.

Suljetussa kierrossa öljy tulee siis kuorma-venttiilin jälkeen suodattimen kautta jäähdyttimelle. Tästä öljy virtaa valentalohkon kautta takaisin tasasuuntaajalle ja testattavan

toimilaitteen imupuolelle. Riippuen kuormaventtiiliin asetetusta painerajasta voi tässä vaiheessa öljyn lämpötila olla niin korkea, että sitä tulee jäähdyttää. Tästä syystä öljyn lämpötila mitataan heti jäähdyttimen jälkeen, ja mikäli se on liian korkea, jäähdyttimet kytkeytyvät päälle.

Alkuperäisessä järjestelmässä oli jäähdyttiminä olemassa kolme kuvan 5.14 mukaista öljy-ilma -jäähdytintä. Päädyimme siihen, että todellisen jäähdytystarpeen mukaisesti ne riittävät hyvin jäähdyttämään järjestelmän öljyn lämpötilan. Näiden kolmea jäähdytintä käytetään sekä kuormamoduulissa että paluu-/huuhtelumoduulissa öljyn jäähdyttämiseen. Jäähdyttimet olivat vanhempia, ja valmistaja vaihtunut, mutta niiden ominaisuudet olivat lähes vastaavat LAC-mallin kanssa.



Kuva 5.14. Öljy-ilma -jäähdyttimet.

Olemassa olevista jäähdyttimistä kaksi oli LAC-056-4 -mallisia, ja yksi pienempi oli LAC-033-6 -mallinen. Isompia jäähdyttimiä pyörittää VEM:n 2,2 kW sähkömoottori, kun taas pienempi tuuletinta saa käyttövoimansa 0,37 kW VEM:n moottorista. Kaksi isompaa jäähdytintä jäähdyttävät kuormamoduulin öljynvirtausta, ja ne ovat kytketty rinnakkain, sillä yhden jäähdytyskapasiteetti riittää 300 l/min asti. Myös pieni jäähdytin riittää 300 l/min asti.

5.9 Painemittarit

Järjestelmässä on sekä analogisia viisarimittareita että paineantureita. Analogiset mittarit asennetaan väliseinään siten, että järjestelmän käyttäjä voi havaita välittömästi järjestelmän painetasojen vaihtelut järjestelmän eri kohdissa. Analogiset mittarit ovat kuvan 5.15 kaltaisia pyöreitä mittareita.



Kuva 5.15. Bosch Rexrothin analoginen painemittari (Perustuu lähteeseen Bosch Rexroth 2007).

Analogiset mittarit on kalibroitava säännöllisin väliajoin. Niitä ei testijärjestelmässä käytetä tulosten analysointiin, vaan ne toimivat lähinnä visuaalisena todisteena paineiden muutoksesta järjestelmässä. Tämän takia niiden kalibrointi ei ole tämän hetkisen tarpeen mukaan välttämätöntä. Tulosten analysointiin käytetään HM-20-painesensoreita.

5.10 Tilavuusvirtamittarit

Kuten jo luvussa 5.3 mainittiin, on tilavuusvirtamittareiden valmistaja KRAL. Ne ovat kaikki OME-sarjan mittareita, joiden suurin sallittu käyttöpaine on 40 bar. Seuraava korkeammalle paineelle soveltuva sarja, jota KRAL valmistaa, on OMG-sarja. Kyseisessä testijärjestelmässä ei korkean paineen alaista öljyn virtausta mitata missään vaiheessa, joten jokaisessa mittauspisteessä OME-sarja riittää käyttöpaineensa puolesta mittausten toteuttamiseen.

Nämä mittarit ovat ruuvityyppisiä tilavuusvirtamittareita, jonka periaatekuva on esitelty kuvassa 5.16. Näillä KRAL:n tilavuusvirtamittareilla on erinomainen mittausskaala. Suurempi 52-kokoinen mittari pystyy mittamaan tilavuusvirtaa 3,5 l/min – 525 l/min. Mittarin muita etuja ovat muun muassa hyvät liitäntävaihtoehdot, korkea laatu ja pitkäikäiset kuulalaakerit. (KRAL 2014.)



Kuva 5.16. Ruuvitoiminen virtausmittari (Perustuu lähteeseen KRAL 2014).

Mittari on erittäin tarkka, ja sen mittaustarkkuus on parhaimmillaan peräti 0,1 %. Ylä- eikä alapuolen virtauksissa tarvita erillistä virtauksen käsittelyä, eikä mutkat tai t-palat vaikuta mittaustarkkuuteen. Sen painehäviöt ovat hyvin pienet. Tämä on mahdollista laadukkaiden kuulalaakereiden ansiosta. Mittareita voidaan käyttää molempiin virtaus-suuntiin, mutta testijärjestelmässä yhteen suuntaan mittaus on riittävä. Mittarin ulostulo-signaali on kanttiaaltoa, joka muutetaan erillisellä signaalinkäsittelykomponentilla jännitteeksi 0 – 10 V. (KRAL 2014.) Signaalin käsittelyyn käytetään Phoenix contactin taajuusmuuntajaa, jolla signaali saadaan muunnettua joko virraksi 4 – 20 mA, tai jännitteeksi 0 – 10 V. Testijärjestelmän ohjausyksikkö Cadasys käyttää jännitettä.

5.11 Lämpötila-anturit

Lämpötila-antureita tarvitaan öljyn lämpötilan tarkkailemiseen järjestelmän eri moduuleissa. Oikealla öljyn lämpötilalla voidaan pitää huoli siitä, että öljyn viskositeetti pysyy raja-arvojen sisällä ja täten järjestelmälle sopivana. Lisäksi testijärjestelmän komponentit tai testattava toimilaite ei kuumene liikaa testejä ajettaessa. Testijärjestelmässä käytetään Nokevalin valmistamia kuvan 5.17 mukaisia lämpötila-antureita.



Kuva 5.17. Nokeval Pt100-vastusanturi (Nokeval 2014).

Kaikki lämpötila-anturit perustuvat suojaputkelliseen Pt100-vastusanturiin, jonka signaali muutetaan omalla logiikalla signaaliksi 4 – 20 mA. Niitä käytetään kuormamoduulissa heti jäädyttimen jälkeen. Tämän mittatuloksen perusteella jäädytyn kytkeytyy päälle, mikäli öljyn lämpötila on liian kuuma. Toinen lämpötila-anturi on huuhtelumuodulissa. Lisäksi kaksi lämpötila-anturia on kytketty säiliöön. Näiden antureiden avulla mitataan säiliössä olevan öljyn lämpötilaa niin imu- kuin paluupuolelta.

5.12 Rautarakenteet

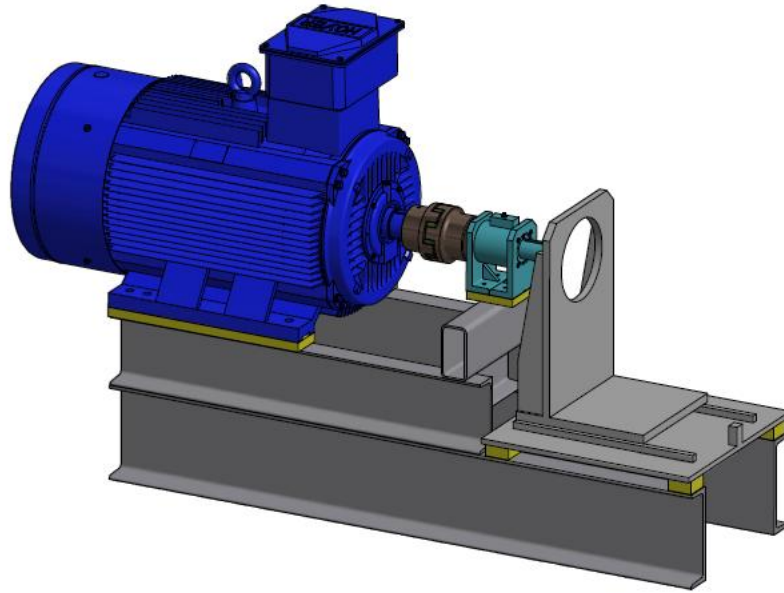
Rautarakenne pääosat voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat korokepukit testilaitteistolle, väliseinä sekä valuma-altaat. Nostopukkeja tarvitaan koko testausakselin nostamiseen, eli sähkömoottorin, momenttianturin, kytkimen sekä testattavan pumpun tai moottorin nostamiseen. Lisäksi nostopukeilla nostetaan säiliötä sen verran ylöspäin, että voidaan taata riittävä paine testattavalle laitteelle kaikissa olosuhteissa ilman, että säiliötä tarvitsee paineistaa.

Testitilassa käytetään vanhan järjestelmän nostokapasiteetiltaan 500 kg nosturia. Koska uuden testijärjestelmän akselikorkeus on vanhan järjestelmän akselikorkeutta ylempänä, nostetaan nosturia u-palkeilla ylöspäin, jotta sen nostokorkeuteen saadaan enemmän säätömahdollisuuksia. Testattavan laitteen nostaminen tapahtuu ketjun ja liinon avulla.

5.12.1 Korokepukit

Järjestelmän tietyt osat asennettiin korokepukkien päälle. Öljysäiliötä nostettiin metri ylöspäin, sillä vanhan järjestelmän kanssa on ollut ongelmia testattavien laitteiden imu-paineiden kanssa. Lisäksi itse järjestelmä lepää pukkien päällä, joista pääkomponentit ovat 200 kW sähkömoottori, momenttianturi, akseli, kytkimet sekä itse testattava laite.

Huoltohenkilökunnan ergonomian parantamiseksi testattavan laitteen akselikorkeus nostettiin yhteen metriin. Näin ollen testiin liittyvät asennustyöt voidaan tehdä ihmisen antropometrisiin mittoihin nähden huomattavasti edellistä testijärjestelmää ergonomisemmin. Työntekijöiden ei tarvitse enää tehdä töitä kyykyssä, sillä asennustyöt voidaan toteuttaa pääosin seisaaltaan, selkä suorana. Näin pystytään ennaltaehkäisemään esimerkiksi kroonisia selkävaivoja sekä muita huonosta ergonomiasta johtuvia ongelmia. Kuvassa 5.18 on periaatekuva nostopukista.

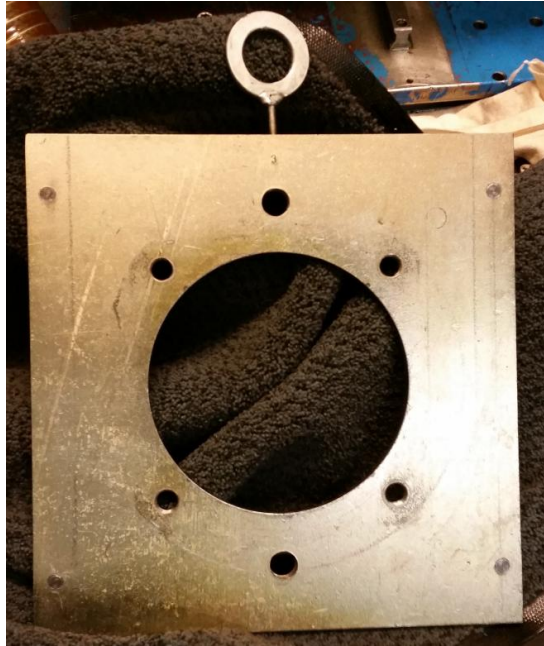


Kuva 5.18. Korokepukki 200 kW sähkömoottorille, momenttianturille ja testattavalle laitteelle (Etteplan, Hakkarainen 2014).

Kuvassa nähtävä pukki on vain periaatekuva pukista. Siitä puuttuu kaikki tukirakenteet ja lujuuslaskelmat. Kuvan pukki on tehty U-palkeista, mutta se on mahdollista tehdä myös kantatusta levystä. Kuvassa oikealla eli akselilinjassa etummaisena on alkuperäinen teline liukukiskoineen, joka on nostettu pukin päälle halutun akselikorkeuden toteuttamiseksi. Tämä teline näkyi myös aikaisemmin kuvassa 4.2.

Kaikki laitteet ja komponentit, jotka ovat kytköksissä akselin asemaan, asennettiin saman tukipalkin päälle. Tällä tavoin voidaan varmistua akselin oikeasta keskipisteestä ja asemasta. Samaa perusrakennetta käyttäen voi koko nostopukki ja akseli olla periaatteessa vinossa lattiaan ja huoneeseen nähden ilman, että se haittaa testien toteuttamista. Akseli on aina suorassa päätoimilaitteisiin nähden.

Kytkin ja testattavan laitteen kiinnitysteline olivat saman pukin päällä ennestäänkin. Tämä osa rautarakenteesta mukautettiin uuden järjestelmän rakenteisiin, sillä siinä oli valmiina integroitu kiskot, joiden avulla testattavaa laitetta on mahdollista liikutella sekä eteen että taaksepäin tarpeen vaatiessa. Vanhaan kytkinkokonaisuuteen kuului momenttianturi ja kytkimet, mutta uuden sähkömoottorin sekä momenttianturin johdosta kytkimet molemmiin puolin anturia tuli vaihtaa uusiin. Vanhasta telineestä jäi kuvassa 4.2 näkyvä pystyteline, johon testattava laite kiinnitetään laipalla vaihdettavaan sovitelevyyn. Tämä teline liikkuu kuvasta katsottuna sivusuunnassa, eli pituussuunnassa akseliin nähden. Testattava laite kiinnitetään telineeseen sovitelevyn avulla. Sovitelevyt ovat kuvan 5.19 kaltaisia.



Kuva 5.19. Telineen ja laitteen välinen sovitelevy.

Sovitelevyjä on eri kokoisia riippuen testattavan laitteen asennuksen vaatimasta laippakoosta. Pumpun laippa kiinnitetään sovitelevyyn ruuvien avulla. Sen jälkeen levy pujotetaan telineessä oleviin uriin ja kiristetään siihen. Testattava pumppu kiinnitetään akseliin eli momenttianturiin asennettuun kytkinpalaan kuvassa 7.20 näkyvien kytkinpalojen avulla.



Kuva 5.20. Vaihtopalat momenttianturin kytkinpuolikkaaseen.

Nämä kytkimenpuolikkaat on ollut käytössä jo alkuperäisessä testijärjestelmässä. Niistä löytyy kaikki tarpeelliset koot testattavien pumppujen ja moottoreiden kokojen mukaan. Uuden järjestelmän momenttianturiin valittiin sellainen kytkinpuolikas, että vanhat sovitteet kävivät niihin suoraan.

Etenkin isommat pumput ja moottorit painavat huomattavan paljon. Testitilassa on kantavuudeltaan 500 kg nosturi, jonka avulla testattavat laitteet sovitelevyineen voidaan nostaa telineeseen. Kuvassa 5.21 näkyy tämä testitilassa sijaitseva nosturi.



Kuva 5.21. Testipuolella takanurkassa sijaitseva nosturi.

Nosturissa on sähkökäyttöinen moottori. Moottori kelaa ketjua, johon testattava laite voidaan kiinnittää koukulla. Osa suuremmista laitteista kiinnitetään kuormaliinalla. Jo aikaisemmin liinan avulla nostettaessa on ollut ongelmia nostokorkeuden riittävyyden kanssa. Etenkin uudessa järjestelmässä, jossa akselikorkeus on vanhaan testi-penkkiin verrattuna ylempänä, tuli tähän kiinnittää huomiota. Nosturia nostettiin alkupe-
räisestä tasosta u-palkkien avulla 400 mm ylempäs. Sitä haluttiin nostaa enemmänkin, mutta tilan korkeudesta johtuen sitä ei voitu nostaa enempää. Nosturin vieressä on kuvassa 5.22 näkyvä vanhan järjestelmän jäljiltä massiivinen letkuteline, joka päätettiin säilyttää.



Kuva 5.22. Letkuteline.

Letkuteline on hyvin massiivinen. Se vie lisäksi vielä melko paljon rajallisesta käytössä olevasta pinta-alasta. Se kuitenkin edesauttaa testitilan siistiyttä siinä määrin, että sen säilyttämistä pidettiin järkevänä. Se mahtuu olemaan nosturin vieressä siten, ettei se aiheuta kohtuutonta häiriötä tiloissa työskentelylle.

Öljysäiliötä nostettiin sen verran, että siitä otettava imupuolen virtausliitäntä on ylempänä, kuin testattavan laitteen imuliitäntä. Vanhassa järjestelmässä oli ilmennyt ongelmia imulinjassa ilmakuplien muodossa. Esimerkiksi A10VSO S32 High Speed -version imupuolen paine tulee olla vähintään 1 bar. Lisäksi tulee ottaa huomioon linjan aiheuttamat painehäviöt, joita syntyy esimerkiksi korkeuseron, putkilinjan pituuden ja mutkien seurauksena. Nämä lisäävät vaadittua painetasoa imupuolen linjassa, jotta testattavan laitteen liitännässä on riittävän suuri painetaso.

5.12.2 Väliseinä

Testitilat koostuvat kahdesta erillisestä huoneesta, eli testipuolesta ja koneikkopuolesta. Näiden eri puolien välissä on talorakenteesta koostuva väliseinä. Väliseinä on tehty tiivistä, mutta se ei peitä eikä eristä testi- ja koneikkopuolta toisistaan siinä olevan aukon takia. Aukko on kooltaan lähes huoneen levyinen ja pari metriä korkea.

Alkuperäinen ajatus oli tehdä seinästä umpinainen siten, että se peittää koko aukon täysin. Tämän lisäksi siihen ajateltiin laitettavaksi ovi, josta kulkea testipuolen ja koneikkopuolen välillä.

kopuolen välillä. Perusajatus on kuitenkin se, että tilojen välillä ei tarvitse eikä kuulu kulkea jatkuvasti, ja koneikkopuolelle pääsee myös kiertämällä kulman takaa koneikko-puolen erillisestä sivuovesta. Näin ollen väliseinään asennettava kulkuovi jätettiin pois.

Aukon peittävän väliseinän ei ole tarpeen olla umpinainen. Vaikka sen jättää osittain avoimeksi, sillä voidaan taata järjestelmän kanssa työskentelevän huoltohenkilön oleel-liset turvallisuus- ja terveystvaatimukset turvallisuus riittävän kattavasti. Väliseinällä voidaan joka tapauksessa estää esimerkiksi osien sinkoutuminen, letkujen paiskautumi-nen tai tihkumaiset öljysuihkut. Avoin väliseinämalli parantaa myös ilmanvaihtoa tilo-jen välillä, joten lämpötila jakautuu tasaisemmin. Näin järjestelmän hukkatheosta aiheu-tunut ylimääräinen lämpö ei nosta niin merkittävästi testiolosuhteissa vallitsevaa lämpö-tilaa.

Seinään ei kuitenkaan tehty mitään erillisiä ilmanvaihtoreikiä, vaan se jätettiin avoimek-si sivuista, ylhäältä, ja alhaalta, sekä luonnollisesti akselin kohdalta. Lisäksi seinään tuli kaikki liitännät eri testejä varten. Seinään kytkettiin myös kaikki järjestelmässä käytet-tävät analogiset painemittarit, jotka kertovat visuaalisesti järjestelmän eri osissa vallit-sevat painetasot. Näiden analogisten mittareiden avulla ei analysoida tuloksia lainkaan, vaan niiden avulla voidaan seurata järjestelmässä vallitsevan painetta. Näin niiden ka-librointi ei ole välttämätöntä, koska tulosten analysointiin käytetään erillisiä painelähet-timiä, joiden avulla Cadasys saa tiedon vallitsevasta painetasosta kussakin järjestelmän osassa. Seinän materiaaleina käytettiin rautaputkia ja teräslevyjä, jotta se kestää myös kovempia iskuja.

5.12.3 Valuma-altaat

Valuma-allasvaihtoehtoja mietittiin monella eri tavalla. Luonnollisesti haluttiin pitää huoli siitä, että valuma-altaan tai useamman altaan tilavuus riittää kattamaan koko öljysäiliön tilavuuden verran öljyä. Vaihtoehtoina käsiteltiin koko alueen kattava matala allas, matala allas osittain sekä erikseen jaotellut altaan tilan asettamien vaatimusten ja puitteiden mukaan.

Allas koko testialueelle

Ensimmäinen vaihtoehto oli sellainen, että koko testialue vuorataan esimerkiksi 30 mm paksulla valuma-altaalla. Altaan korkeudeksi haluttiin 30 mm siitä syystä, että eräällä toimittajalla on standardina 30 mm paksua ritilää, jonka voisi asettaa altaan sisälle. Näin ollen ne olisivat suoraan yhteensopivat keskenään ilman muutostöitä.

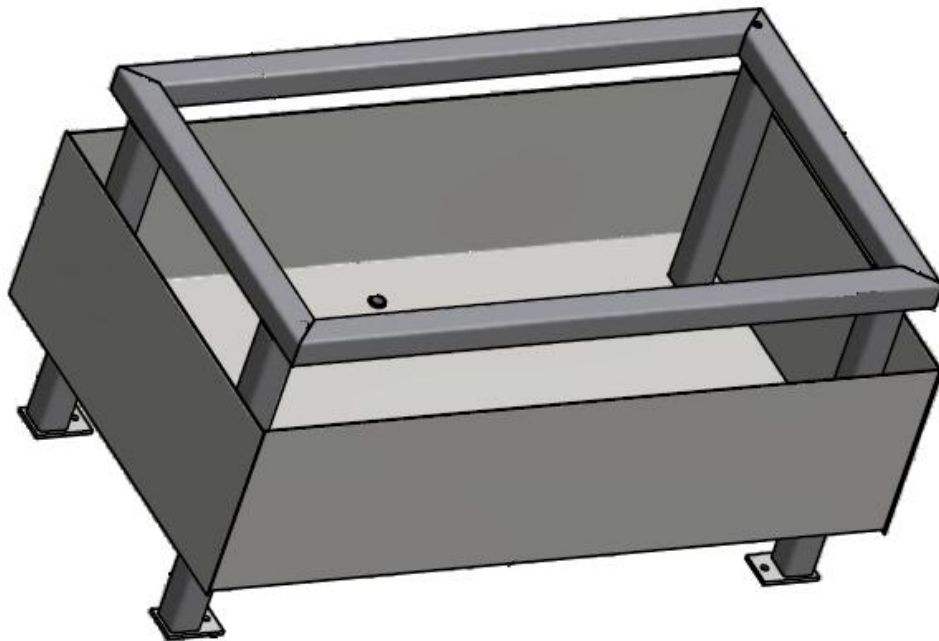
Altaan korkeuden ollessa 30 mm ei sen tilavuus riitä suoraan kattamaan koko järjestel-män öljyntilavuutta. Siihen olisi voinut tehdä syvennyksen, josta öljy olisi helpompi imeä pois, kun sitä mahdollisesti kertyy valuma-altaan pohjalle. Testiolosuhteet huomi-oon ottaen tällainen valuma-allas ei ole tarpeellinen, joten on perusteetonta rakentaa koko alueen kattavaa valuma-allasta ilman todellista tarvetta.

Allas testipuolelle ja koneikon alle

Toinen ajatus oli se, että testipuolelle tehdään tällainen valuma-allas ritilällä, ja koneikon puolelle vain sille alueelle, jossa koneikkoa on. Tällaisessa ratkaisussa on sellainen ongelma, että se ei olisi kattanut säiliön alustaa ollenkaan. Säiliön alle olisi hyvä olla jonkinlainen ratkaisu öljyn keräämiselle mahdollisten vuotojen varalta. Lisäksi 30 mm korkea valuma-allas, joka ei kata koko huoneen pinta-alaa, jättää kynnyksen lattialle. Vaikka tiloissa ei käydä kuin satunnaisesti, tällainen ratkaisu lisää turhaa kompastumisen riskiä, joten siitäkin ajatuksesta luovuttiin. Päädyttiin seuraavanlaiseen ratkaisuun.

Erilliset altaat

Kun säiliö on väliseinän eri puolella kuin testattava pumppu tai moottori, päätettiin sille rakentaa oma valuma-allas. Valuma-allas on sen kokoinen, että sinne mahtuu tarvittaessa säiliön koko öljytilavuus. Käytännössä säiliön oma valuma-allas on säiliön pinta-alaltaan säiliön kokoinen. Kun säiliötä kerran joka tapauksessa nostetaan metrin verran ylöspäin, nostetaan se valuma-altaan sisälle kuvan 5.23 mukaisella korotuspukilla.



Kuva 5.23. Säiliönkannatin (Etteplan, Hakkarainen 2014).

Valuma-altaaksi riittää 3 mm teräksestä oleva allas, joka on suunniteltu siten, että siinä on sisäänrakennettu korotepukit öljysäiliölle. Näin säiliö on nostettu ylös siten, että samalla on varauduttu vuotoöljyn talteenottoon. Tämän vuotoaltaan pohjassa on hitsattu muhvi, jonka kautta allas voidaan tarvittaessa tyhjentää.

Koko muu koneikon puoli, joka on väliseinän takana, jää betonilattian päälle. Itse betonilattia on käsitelty öljynpitävällä kaksikomponenttimaalilla. Seiniä maalattiin lattiasta

ylöspäin oven kynnykselle sen verran, että öljyn pinta voi nousta oven kynnykseen asti. Näin koko huone toimii itsessään valuma-altaana.

Testipuolella oli valmiina noin 3000 x 4000 mm –kokoinen betonimonttu, johon oli upotettu u-palkkeja. U-palkkien päällä lepäsi ritilä ja sitä myötä myös osa järjestelmästä, kuten kytkinkokonaisuus sekä pumpputeline sekä osa vaihdelaatikosta, kuormituslohkosta ja sähkömoottorista.

Testipuolella olemassa oleva palkkirakenne nostettiin pois, jonka jälkeen pohjalle asetettiin 3 mm teräksestä tehty vuotoallas koko vanhan kuopan olemassa olevalle pinta-alalle. Tämän säiliön päälle laitettiin osa vanhoista palkeista takaisin, jonka päälle ritilä, nostopukit ja niin edelleen. Huoltohenkilökunnan toive alusta pitäen oli sellainen, että lattiaritilän pitäisi estää pienempienkin ruuvien putoaminen altaan pohjalle. Vanhat ritilät olivat hyvässä kunnossa, joten osien putoamisen estämiseksi ritilän alle asetettiin metalliverkko.

Tämän vuotoallas-ratkaisun tilavuus on huomattavasti suurempi, kuin tarpeemme, mutta luonnollisin vaihtoehto oli tehdä vuotoallas saman kokoiseksi kuin olemassa oleva monttu. Se on käytännössä helpoin toteuttaa, eivätkä kustannuksetkaan ole merkittävän suuret. Ja verrattuna alkuperäiseen koko lattiapinta-alan kattavaan matalan säiliön ratkaisuun, on tämä ratkaisu huomattavasti edullisempi. Olemassa olevassa betonimontussa oli valmiina kaato. Näin allas voidaan tarvittaessa tyhjentää imemällä sieltä öljy pois erillisen pumpun avulla.

6. TULOSTEN TARKASTELU

Työn keskeisin toteutus perustui projektiin ja sen hallintaan. Projektin alussa oli suurin piirtein tiedossa se, mitä halutaan. Tarkoituksena oli uudistaa olemassa oleva aksiaali-mäntäpumpppujen ja –moottoreiden testijärjestelmä nykyaikaisia tarpeita vastaavaksi. Projektin suurin osaprojekti on ollut hydraulikkasuunnittelu sekä mekaniikkasuunnittelu.

Projektin päämäärä ja kaikki siihen liittyvät vaiheet olivat hyvin teknillisiä, sillä kyseessä on hyvin kattava hydraulijärjestelmä. Koko järjestelmän suunnittelu ja toteutus on edennyt projektipäällikön pitäessä huolta projektin etenemisestä. Projektipäällikön tehtävänä on ollut pitää projektin ohjenarut käsissä sekä selvittää asioita ja välittää tietoa.

6.1 Projekti

On ääretön määrä tapoja määritellä projekti. Määritelmät voivat olla keskenään ristiriidassa, ja ajoittain projektiksi kutsutaan kaikkea mahdollista työtä. Projektin voidaan sanoa olevan kokonaisuus, joka on tiettyyn ennalta määrättyyn päämäärään tähtäävä. Se on ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan toisiinsa liittyvistä monimutkaisista tehtävistä koostuva kokonaisuus. Projektin hallinnan kannalta oleellisinta on hallita olemassa olevat resurssit. Niistä merkittävimmät ovat raha, aika sekä osaaminen. Nämä resurssit kulkevat koko projektin ajan käsi kädessä. Raha voi olla ajan kanssa suoraan verrannollinen, tai päinvastoin. Osaamista saa rahalla, ja osaamista voidaan mitata vaikka nopeudella eli ajallisella kestolla.

Projektin alussa tulee heti tunnistaa todellinen tarve, eli päämäärä johon pyrkiä. Päämäärä on itse asiassa lähtökohta sille, miksi koko projekti on saanut alkunsa. Tämän jälkeen luodaan tavoitteet, joiden avulla projektin päämäärä on mahdollista saavuttaa. Mitä konkreettisemmat tavoitteet pystytään luomaan, sitä todennäköisemmin projekti edistyy kohti päämäärää. Projektin onnistumisen kannalta tulee erilaisia kokonaisuuksia hallita koko projektin elinkaaren ajan. Tällaisia ovat esimerkiksi eri ratkaisuvaihtoehtojen tunnistaminen, eri sidosryhmien tunnistaminen, mahdollinen projektin jakaminen osaprojekteihin, projektin vaiheistus sekä monet muut erilaiset seikat. Yksi projektin kannalta merkittävä asia on projektin päättäminen eli lopetus. Projektit eivät ole ikuisia, vaan sille on tultava selvä loppu.

6.2 Testipenkin hydraulijärjestelmä

Hydraulipumpun tehtävänä on muuntaa mekaaninen energia hydrauliseksi energiaksi. Pumpun toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Niiden sisällä on kammioita, joihin

siirrettävä neste suljetaan siten, että ne vuorotellen avataan imu- ja paineliitäntöihin. Tyypillisesti mekaaninen teho on pyörivää liikettä, kuten Bosch Rexrothin valmistamassa A10VSO-aksaalimäntäpumpussa. Aksiaalimäntäpumpussa männät ovat käyttöakselin suuntaisesti, jolloin ne pyörivät samaa tahtia sen kanssa.

A10VSO-aksaalimäntäpumppu on eniten valmistettu ja myyty Bosch Rexrothin pumpu. Se on säätyvtilavuuksinen vinolevyppumppu, ja voidaan käyttää (ja käytetäänkin) lähes kaikenlaisissa sovellutuksissa. Säätyvtilavuuksisena sillä saavutetaan hyvä hyötysuhde. Tilavuusvirran säätöön käytetään erilaisia säätimiä riippuen käyttökohteesta ja säädön tarpeesta. Säätö voi muun muassa paineeseen, tilavuusvirtaan tai voimaan.

Testipenkin uudistamisprojektin lähtökohtana oli vanhan järjestelmän uudistaminen. Tällaisen vanhan järjestelmän suurin ongelma oli vanhentuneen tekniikan lisäksi se, että sen kaikista olemassa olevista komponenteista ja toiminnoista ei välttämättä kukaan tiedä mitään. Valmiin suunnitelman pohjalta ja vanhaa järjestelmää mukailten suunniteltiin uusi järjestelmä.

Uuden järjestelmän koko toiminta perustuu 200 kW sähkömoottoriin. Sähkömoottorilla pyöritetään akselin kautta testattavaa pumppua tai moottoria. Testattavan laitteen ja sähkömoottorin välissä on momenttianturi, jolla voidaan suoraan mitata moottorin tuottama momentti. Momentin lisäksi on tärkeää mitata myös akselin pyörimisnopeus. Järjestelmän suurin sallittu tilavuusvirta on määritelty 500 l/min, ja suurin sallittu paine 600 bar. Kaikki korkean paineen alaiset komponentit on mitoitettu kestäämään 630 bar.

Testattava laite voi olla joko aksiaalimäntäpumppu tai aksiaalimäntämoottori. Järjestelmällä voidaan testata molempia laitteita kokoluokaltaan $18 \text{ cm}^3 - 500 \text{ cm}^3$. Testattavan laitteen painetasot sekä A- että B-puolelta mitataan suoraan linjasta, sillä koko testijärjestelmän toiminta perustuu paineen kohottamiseen virtausta kuristamalla. Paineen kohottaminen tapahtuu sähköohjatulla proportionaaliventtiilillä, joka on asennettu hydraulisen tasasuuntaajan kanssa samassa olevaan kuormalohkoon. Testattavan laitteen painelinja kytketään suoraan tasasuuntaajalle.

Tasasuuntaajan toiminta perustuu LCT-korkeapainepatruunoihin sekä niitä ohjaaviin LFT-kansiin. Logiikkaventtiilit toimivat vastaventtiileiden tavoin, ja niillä ohjataan öljyn virtaus kuormituksen aiheuttavalle patruunalle. Tasasuuntaaja mahdollistaa järjestelmän toiminnan molempiin suuntiin, jolloin testattavan laitteen painelinjat voidaan järjestelmän puolesta kytkeä molemmin päin. Patruunaa, jolla kuristetaan virtausta, ohjataan sähköisesti ohjatulla DBGT-proportionaaliventtiilillä. Järjestelmän toiminta on energiatehokkuudestaan hieman vääristynyt, sillä siinä pyritään testattavaa laitetta kuristamaan painerajaan asti, jonka seurauksena kuumennut öljy virtaa tankkiin ja aikaan saadaan pelkkää hukkatahoa eli lämpöä.

Koska huollon yhteydessä testattava laite kerää helposti likaa itseensä, mitataan öljyn kiinteät epäpuhtaudet heti kuormitus-logiikkaventtiilin jälkeen. Mittaus tapahtuu OPM-

hiukkaslaskurilla, jolla saadaan tieto niin 4, 6, 14 kuin 12 mikrometrin kokoisista hiukkasista. Mittarin jälkeen öljy suodatetaan. Paluulinjan painerajaksi on asetettu 40 bar. Mikäli paineraja ei ylity, mitataan öljyn tilavuusvirta KRALin valmistamalla OME-virtausmittarilla. Virtausmittarit ovat ruuvityyppisiä, ja ne pystyvät mittaamaan tilavuusvirran suuruutta hyvin laajalla välillä. Tällaisen mittarin etuja ovat muun muassa hyvät liitäntävaihtoehdot, korkea laatu ja pitkäikäiset kuulalaakerit. Öljy jäähdytetään tarvittaessa puhallintyyppisellä jäähdyttimellä. Mikäli kyseessä on suljetun pumpun tai moottorin testi, öljy ohjataan takaisin tasasuuntaajaan, josta se virtaa paluulinjaan.

Valintalohkossa on kaksi vakio-patruunaventtiiliä. Vakiolla tarkoitetaan painetasoltaan pienempää, 420 bar asti kestäväää logiikkaventtiiliä. Näistä kahdesta logiikkaventtiilistä toinen on aina auki ja toinen kiinni. Ohjaus tapahtuu 4WE6-suuntaventtiilillä. Suuntaventtiilissä on lisäksi asentotunnistin, jotta ohjausjärjestelmällä nähdään kytkennän oikeellisuus ennen testin suorittamista.

Kuormitusmoduulin lisäksi järjestelmässä on kattava apukoneikko, jonka tukitoimintojen voidaan käyttää erilaisissa testeissä. Paluu- ja huuhtelumoduuli voidaan tarvittaessa kytkeä testattavaan laitteeseen kiinni. Paluumoduuli mittaa kotelovuotoja, ja ohjauspainemoduulin avulla voidaan myös esitäyttää kotelo ennen testin suorittamista paluumoduulin linjan kautta.

Lisäpainemoduuli avulla järjestelmään voidaan tarpeen vaatiessa tuottaa apupainetta. Suljetun piirin testeissä voidaan tarvita apupainetta imupuolen riittävän paineen takaamiseksi. Lisäpainemoduulin 140 cm³ A10VSO-pumpun tuottama apupaine ja öljyn virtaus kytketään suoraan kuormamoduulin paluulinjaan valintalohkon ja tasasuuntaajan väliin. Näin lisäpainemoduulin tuotto virtaa tasasuuntaajan kautta muun paluuöljyn mukana testattavan laitteen imupuolelle.

Ohjauspainemoduulin avulla voidaan tarvittaessa tuottaa ohjauspainetta. Moduulissa on erikseen korkeapainetta tuottava PR4-radiaalimäntäpumppu. Sen lisäksi matalampipaineista normaalia ohjauspainetta tuottaa kooltaan 71 cm³ oleva A10VSO-pumppu. Korkeapainepumpun paineraja on 450 bar, kun ohjauspainepumpun painerajaksi riittää 50 bar. Ohjauspaineen lisäksi A10VSO-pumpulla voidaan toteuttaa paluumoduuliin kytketty kotelon täyttö.

Järjestelmän ohjaus tapahtuu ohjausjärjestelmällä Cadasys. Se saa internetin kautta haetua konsernin sisäisestä tietopalvelusta kaikki testimateriaalit. Kaikki mittaussuureet kerätään kentältä sähkökaappiin. Sähkökaapilta tieto vedetään Cadasykselle. Cadasyksen automaattisen ohjauksen lisäksi kylkeen on asennettu oma ohjauspaneeli, jolla testejä voidaan ajaa myös manuaalisesti. Lisäksi sähköt ja automaatio ovat lukollisen takana, jolloin testijärjestelmää ei pääse käyttämään kuin avaimen omaavan työntekijä. Lisäksi viereistä huoneesta koneikkopuolelle eli takahuoneeseen vievässä ovela on rajakytkin,

joka estää järjestelmän käynnistymisen oven ollessa auki. Näin pyritään estämään henkilöiden oleminen apukoneikkohuoneessa testiä ajettaessa.

6.3 Rautarakenteet

Rautarakenteen suunnittelun lähtökohta oli se, että testattavan laitteen akselikorkeutta nostetaan työntekijöille mieluisammalle korkeudelle. Tästä tehtiin työntekijöiden kanssa mittauksia ja arvioita, ja päädyttiin nostamaan akselikorkeus 1000 mm:iin. Näin ollen kaikki asennustyöt voidaan tehdä käytännössä seisaaltaan. Se, että työtä ei tarvitse tehdä kyykyssä, vähentää työperäisiä selkävaivoja merkittävästi. Samalle pukille testattavan laitteen kanssa asennettiin myös voimalähde eli 200 kW sähkömoottori sekä momenttianturi. Näin pidettiin huoli siitä, että näiden pääkomponenttien akselilinja on aina suorassa toisiinsa nähden.

Koska testattavan laitteen testikorkeus nousi 1000 mm:iin, päätettiin myös järjestelmän öljysäiliö nostaa samalle tasolle. Näin pidetään huoli siitä, että imupuolen painetaso pysyy riittävän hyvänä. Säiliön pohjan korkeus on samalla 1000 mm tasolla, jolloin öljyn pinta on vielä jonkin verran korkeammalla.

Tila koostuu valmiiksi kahdesta osasta, joten näiden kahden tilalle haluttiin asentaa väliseinän. Väliseinän avulla pidetään mekaanisesti huoli käyttäjän turvallisuudesta. Koko apukoneikko jää väliseinän taakse, jolloin letkun irtoamisesta johtuvien paiskautumisten tai letkurikoista aiheutuvien öljysuihkujen aiheuttamat vaarat voidaan minimoida. Lisäksi väliseinään sai luontevasti kaikki analogiset painemittarit sekä kaikki kytkennät ja liittimet niin testattavan laitteen painelinjoille kuin mittasignaaleille.

Väliseinän ja nostopukkien lisäksi järjestelmään suunniteltiin kaksi vuotoallasta. Testipuolella oli olemassa valmis betonikuoppa, jonka päällä vanhakin järjestelmä lepäsi uppalkkien päällä. Näiden palkkien alle suunniteltiin koko aukon kattava seinämäpaksuudeltaan 3 mm vuotoallas, jotta vuotanut öljy ei valu enää betonin päälle. Toinen vuotoallas tuli öljysäiliön alle. Koska öljysäiliötä nostettiin ilmaan, oli se helppo nostaa vuotoaltaan sisälle. Tästä vuotoaltaasta tuli öljysäiliön kanssa samaa kokoa oleva, jolloin se ei vie lattiapinta-alaa sen enempää, mutta kattaa koko säiliöstä vuotavan öljyn tilavuuden.

7. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä on käsitelty kattavasti projektinhallinnan teoriaa ja sen eri ulottuvuuksia. On erittäin tärkeää ymmärtää yhteys hydraulijärjestelmän suunnittelun ja projektinhallinnan välillä. Sillä ei ole merkitystä, onko kyseessä yksittäinen suunnittelija, vai puhutaanko laajasta monta ihmistä tai ryhmää kattava kokonaisuudesta. Suunnittelu-työ on aina projekti, joka lähtee selkeästä tarpeesta, jonka perusteella syntyy tavoitteet ja suunta johon pyrkiä.

Tämän hydraulijärjestelmän suunnittelutyön eli uudistamisprojektin lopputuloksena on testipenkki, jolla pystytään testaamaan, säätämään ja luokittelemaan Bosch Rexrothin aksiaalimäntäkoneet, jotka ovat kooltaan $18 \text{ cm}^3 - 500 \text{ cm}^3$. Testijärjestelmän toiminta perustuu taajuusmuuntajakäyttöiseen 200 kW sähkömoottoriin, jolla testattavan laitteen akselia pyöritetään. Testijärjestelmän toiminnan ja toteutuksen kannalta merkittävin yksittäinen komponentti on ohjausyksikkö Cadasys. Sen avulla testit voidaan suorittaa konsernin ohjeistusten mukaisesti.

Itse järjestelmän toiminnalliset raja-arvot ovat seuraavat:

- suurin sallittu tilavuusvirta 500 l/min
- suurin sallittu käyttöpaine 600 bar.

Toiminta-arvojen määrittämisen perusteena on käytetty testattavien laitteiden toiminta-arvoja nyt sekä mahdollisia tulevaisuuden tuomia uudistuksia niihin liittyen.

Tulevia järjestelmiä ja suunnitteluprojekteja varten työn merkittävin järjestelmänosa on hydraulinen tasasuuntaaja, jonka yhteydessä on myös järjestelmän testattavaa laitetta kuormittava elin. Tasasuuntaaja mahdollistaa järjestelmän toiminnan molempiin suuntiin. Lisäksi tasasuuntaajan toiminta perustuu LCT-korkeapainepatruunoihin. Niiden toimintaa ohjataan LFT-kansilla, ja ne yhdessä soveltuvat käytettäväksi jopa 1000 bar paineessa. Korkean paineen lisäksi lisäksi ne soveltuvat erittäin korkeisiin tilavuusvirtoihin.

Kun tarkastellaan järjestelmän suunnittelua projektina, suurimmat haasteet liittyvät resurssien hallintaan. Tässäkin projektissa merkittävimpiä resursseja ovat olleet aika ja raha. Kun ajatellaan työn tuloksena hydraulijärjestelmää, oli merkittävin ongelma korkea 600 barin painetaso. Lähes jokaisen yksittäisen komponentin kohdalla oli haasteita löytää ratkaisu kyseisen toiminnan toteuttamiseksi.

LÄHTEET

Anttila, P., (2001), Se on projekti – vai onko? kulttuurialan tuotanto- ja palveluprojektin hallinta, AKATIIMI, Hamina, 278 s.

Artto, K., Martinsuo, M., Kujala, J., (2008), Projektiliiketoiminta, 2. painos, WSOY, Helsinki. Saatavissa: <http://pbgroup.aalto.fi/en/>.

Bosch Rexroth, (2001), Hydraulics in Mobile Equipment, Bosch Rexroth AG, Lohr am Main, 202 s.

Bosch Rexroth, (2007), RE 50205/01.07, Liquid-filled pressure gauge, Type ABZMM. Saatavissa: http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_50205/re50205_2007-01.pdf.

Bosch Rexroth, (2012), RE 92711/01.12, Axial Piston Variable Pump A10VSO Series 31. Saatavissa: <http://www.boschrexroth.com/en/xc/industries/machinery-applications-and-engineering/engines/documentation-and-tools/documentation-and-tools-35>.

Bosch Rexroth, (2013), RE 29014/03.13, Proportional directional valve, direct operated, with pQ functionally. Saatavissa: http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_29014/re29014_2013-03.pdf.

Bosch Rexroth, (2014a), A10VSO. Saatavissa: http://www.boschrexroth.com/ics/content/internet/images/A10VSO-31_300x300_web.JPG.

Bosch Rexroth, (2014b), A2FO. Saatavissa: <http://www.boschrexroth.com/mobile-hydraulics-catalog/Vornavigation/VorNavi.cfm?Language=EN&PageID=m3439>.

Bosch Rexroth, (2014c), RD 51460-B/01.2014, Online-Partikel-Monitor OPM II. Saatavissa: http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_51460-b/rd51460-b_2014-01.pdf.

Bürkert fluid control systems, (2013), 3/2-way Seat Valve, for media up to +180°C, DN15-50. Saatavissa: http://www.buerkert.fi/products_data/datasheets/DS2002-32Way-EU-EN.pdf.

Drexler, p., Faatz, H., Feicht, F., Geis, H., Morlok, J., Wiesmann, E., Krielen, A., Achten, N., Reik, M., Faatz, H. H., Lang, R. A., (1988), Planning And Design of Hydraulic Power Systems, The Hydraulic Trainer, Volume 3, Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, 374 s.

Exner, H., Freitag, R., Geis, Dr.-Ing. H., Lang, R., Oppolzer, J., Schwan, P., Sumpf, E., Ostendorf, U., Reik, M., (1997), Hydrauliteknikan perusteet ja komponentit, The

Hydraulics Trainer, Osa 1, Oppikirja hydraulitekniiikan perusteista ja komponenteista, 3. painos, Schleunungdruck GmbH, Marktheidenfeld am Main, 344 s.

Fonselius, J., Rinkinen, J., Vilenius, M., (1997), Koneautomaatio, Hydrauliiikka II, 2. painos, Oy Edita Ab, Helsinki, 223 s.

Forsberg, K., Mooz, H., Cotterman, H., (2003), Projektinhallinta, Malli kaupalliseen ja tekniseen menestykseen, Edita Publishing Oy, 350 s.

Hoyer Motors, (2014), Elektromotoren, Hoyer 900 B3 200 kW 400/690V IE2 HMC2 355M2 6 pol 50 Hz IP55. Saatavissa: <http://www.hoyermotors.de/images/produktfiler/bigimages/30112020/B3/Stor.jpg>.

Hyspecs, (2014), Hydraulic motor. Saatavissa: <http://www.hyspecs.co.nz/how-stuff-works/hydraulic-motor/>.

Jones, J., (2009), Hydraulic Pump Noise Reduction. Saatavissa: <http://www.designworldonline.com/uploads/ImageGallery/axial-piston-pump-1.jpg>.

Karlsson, Å., Marttala, A., (2001), Projektikirja. Onnistuneen projektin toteuttaminen, Talentum Media Oy, Helsinki, 151 s.

Kauranne, H., Kajaste, J., Vilenius, M., (2008), Hydraulitekniiikka, 1. painos, WSOY Oppimateriaalit Oy, Helsinki, 487 s.

Kistler, (2014), Type 4503A Torque Sensor with Dual Range option. Saatavissa: http://www.kistler.com/medias/sys_master/celum_assets/8812385140766_931-804n-01_3947_07_web.jpg?2.

KRAL, (2014), Flow measurement, KRAL Volumeter OME Compact. Saatavissa: http://www.kral.at/uploads/tx_fastce/Flowmeters_KRAL_Series_OME_Compact_02.pdf.

Lind, O., (2001), Näin tehdään onnistunut projekti, Näin toteutetaan luottamus-, osaamis- ja taloudellisen pääoman prosessointi, luova suunnitteluprosessi, projektin ja kokousten oikea johtaminen ja etsitään projektin suuri idea, Ruottukka Oy, 96 s.

Litke, H-D., Kunow, I., (2004), Projektin hallinta, Oy Rastor AB, Helsinki, 125 s.

Lööw, M., (2002), Onnistunut projekti, Projektijohtamisen ja –suunnittelun käsikirja, Tietosanoma Oy, Helsinki, 260 s.

Mannesmann Rexroth, (1993), RE 92711/03.93, Variable Displacement Pump A10VSO Series 31. Saatavissa: <http://hydraulica.com.ua/files/re92711.pdf>.

Merrit, H. E., Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons, United States of America, 1967, 368 s.

Nokeval, (2014), Pt100-anturi M12-liittimellä. Saatavissa: http://www.nokeval.com/images/large/TRE-100-2_large.png.

Oulun kauppaoppilaitos, (2003), Projektityöskentely. Saatavissa: http://www.okol.org/verkkokurssit/merkonomi/ammattilliset/tyoyhteisossa_toimiminen/5projektityosk/jakso5.htm.

Pelin, R., (2011), Projektihallinnan käsikirja, 7. painos, Projektijohtaminen Oy Risto Pelin, Keuruu, 400 s.

Projekti-Instituutti, (2011), Projektitoiminnan kehittäjän pikaopas, Lopeta selittäminen. Keskity ja loikkaa pitemmälle. Saatavissa: http://ppkampanja.com/tilaa_tutkimus.php.

Projekti-Instituutti, (2013), Projektipäällikön Käytöksen Kultainen Käsikirja, Johtamisen käyttäytymispätevyudet kootusti, Suomen Projekti-Instituutin blogisarja, kirjoittaja Rita Murray, 2013. Saatavissa: <http://www.projekti-instituutti.fi/leadership>.

Riikonen, V., (1998), Toteutetaan projekti, Opintotoiminnan Keskusliitto OK ry, 48 s.

Ruuska, K., (2007), Pidä projekti hallinnassa, Suunnittelu, menetelmät, vuorovaikutus, 7. painos, Talentum Media Oy, 302 s.

SICK Sensor intelligense, (2014), SEK37-HFB0-K02. Saatavissa: <http://sensorstrade.com/media/pdf/58498/sick-sek37-hfb0-k02-datasheet.pdf>.

Viirkorpi, P., (2000), Onnistunut projekti – Opas kunta-alan projektityöskentelyyn, Suomen kuntaliitto, 54 s.

Virtanen, P., (2009), Projekti strategian toteuttajana, Tietosanoma Oy, 288 s.