



Testipenkin mekaaninen suunnittelu

Arto Jyvälä

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Lentokonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Lentokonetekniikka

JYVÄLÄ, ARTO:
Testipenkin mekaaninen suunnittelu

Opinnäytetyö 99 sivua, joista liitteitä 11 sivua
Huhtikuu 2023

Opinnäytetyössä toteutettiin lentokoneen moottorin polttoaine-, öljy-, pneumaattikka- ja sähkölaitteiden testipenkin mekaaninen suunnittelu. Uuden testipenkin suunnittelun tarve syntyi, sillä Patrian käytössä oleva testipenkki oli käyttökänsä päässä. Työn tarkoituksena oli suunnitella testipenkin mekaaniset järjestelmät ja luoda valmiudet suunnittelun jatkamiselle sähkösuunnitteluun. Suunnittelun tavoitteena oli tehdä uudesta testipenkistä vanhaa testipenkkiä yksinkertaisempi ja nykyaikaisempi. Uuden testipenkin tuli myös suunnittelun pohjalta olla luotettava ja käyttävystävällinen, ja sen tuli parantaa Patrian huoltovarmuutta. Testipenkki tuli suunnitella sitä koskevien lakien, direktiivien, asetusten ja standardien mukaiseksi.

Opinnäytetyössä selvitettiin testipenkkiä koskevat direktiivit, lait, asetukset ja standardit. Testipenkillä testattavat laitteet ja niille tehtävät testit kartoitettiin ja listattiin vaatimuslistaan. Näiden tietojen pohjalta uudesta testipenkistä voitiin tehdä alustavat järjestelmäkaaviot. Järjestelmäkaavion mitoitusta vaativat komponentit mitoitettiin. Komponentit valittiin mitoitusten, vaatimuslistan ja niitä koskevien lakien, asetusten direktiivien ja standardien perusteella.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin testipenkin järjestelmäkaaviot, osaluettelo, alustava riskianalyysi ja vaatimustenmukaisuusvaatimus sekä toimintakaavio laitteen toiminnan kuvaamiseksi ja sähköjärjestelmän suunnittelua varten. Testipenkin käyttöönottoa varten tarvittavat dokumentit luetteloidiin

Opinnäytetyön avulla Patria saa valmiin suunnitelman testipenkin mekaniikasta, sekä valmiuden jatkaa testipenkin suunnittelua eteenpäin. Työ antaa hyvät pohjatiedot samankaltaisten testipenkkien suunnitteluun ja kartoituksen testipenkeistä koskevista laeista.

Testipenkissä testattavien laitteiden nimet ja testien ohjeet ovat salassa pidettävää tietoa.

Asiasanat: painelaite, koneensuunnittelu, hydraulikka, pneumatiikka

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Aircraft Engineering

JYVÄLÄ, ARTO:
Mechanical Design of a Test Bench

Bachelor's thesis 99 pages, appendices 11 pages
April 2023

The objective of this thesis was to carry out the mechanical design of a test bench used for testing aircraft engine fuel, oil, pneumatic and electrical devices. The need to design a new test bench arose because the old test bench was at the end of its service life. The purpose of the thesis was to design mechanical systems of the test bench and to create capabilities for continuing the design into electrical design. The new test bench had to comply with all relevant laws, regulations, directives, and standards. It also had to be designed in a way that it was more modern, user friendly and reliably than the old test bench.

Laws, regulations, directives, and standards concerning the test bench were examined. The devices to be tested on the test bench and tests performed on them were mapped and listed in the list of requirements. Based on this information preliminary system diagrams of the new test bench could be made.

The result includes final system diagrams, a parts list, a risk analysis, compliance requirements, operation diagram and documentation needed for commissioning of the test bench.

The names of the devices tested on the test bench and the test instructions are confidential information.

Key words: pressure equipment, machine design, hydraulics, pneumatics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TAUSTATIEDOT.....	7
	2.1 Patria Oyj	7
	2.2 Engine, Component and Training.....	8
	2.3 Vanha testipenkki.....	9
3	SUUNNITTELUN TEORIA.....	13
	3.1 Painelaitelainsäädäntö	13
	3.1.1 Painelaite.....	14
	3.1.2 Luokitus	14
	3.1.3 Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely	17
	3.1.4 EU-vaatimustenmukaisuusvaatimus.....	20
	3.1.5 CE-merkintä	21
	3.2 Kemikaalilainsäädäntö	21
	3.3 ATEX-lainsäädäntö	24
	3.3.1 ATEX-olosuhdedirektiivi	24
	3.3.2 ATEX-laitedirektiivi	26
	3.3.3 ATEX-laitteiden luokitus	27
	3.4 Yhdenmukaistetut standardit.....	30
4	MEKAANINEN SUUNNITTELU/TESTIPENKIN SUUNNITTELU.....	32
	4.1 Vaatimuslista.....	32
	4.2 Alustavat järjestelmäkaaviot.....	38
	4.2.1 Alustava polttoainejärjestelmä	38
	4.2.2 Alustava öljyjärjestelmä	41
	4.2.3 Alustava paineilmajärjestelmä	42
	4.3 Komponenttien mitoitus.....	43
	4.3.1 Pumput ja moottorit	44
	4.3.2 Putkisto.....	48
	4.3.3 Kuristusventtiilit.....	51
	4.3.4 Lämmönvaihdin	59
5	TULOKSET	62
	5.1 Komponenttien valinta.....	62
	5.1.1 Pumput	63
	5.1.2 Moottorit	65
	5.1.3 Putkisto.....	67
	5.1.4 Säiliöt.....	68
	5.1.5 Kuristusventtiilit.....	68

5.1.6 Lämmönvaihdin	71
5.1.7 Virtausanturit	71
5.1.8 Painelähettimet.....	72
5.1.9 Lämpötila-anturi.....	74
5.1.10 Alipainejektor.....	74
5.1.11 Paineenalennusventtiilit	75
5.1.12 Suodattimet.....	75
5.1.13 Termostaattiventtiili	76
5.2 Järjestelmäkaaviot	76
5.2.1 Polttoainejärjestelmä	77
5.2.2 Paineilmajärjestelmä	79
5.2.3 Öljyjärjestelmä.....	79
5.3 Vaadittavat dokumentit.....	81
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	84
LÄHTEET.....	86
LIITTEET	89
Liite 1. Osaluettelo	89
Liite 2. Toimintakaavio	92
Liite 3. Riskianalyysi.....	96
Liite 4. Vaatimustenmukaisuusvaatimus	99

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja Patria Oyj halusi valmistaa uuden testipenkin lentokoneen moottorin laitteiden testausta varten. Uuden testipenkin valmistuksen tarve syntyi, sillä käytössä oleva testipenkki oli käyttöikänsä päässä. Testipenkki pitää kokonaisuudessaan sisällään polttoaine-, öljy-, paineilma-, jäähdytys- ja sähköjärjestelmän.

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella testipenkin mekaaniset järjestelmät. Testipenkin sähköjärjestelmä suunnitellaan toisen työntekijän toimesta. Testipenkin mekaaninen suunnittelu käsittää testipenkiltä vaadittaviin ominaisuuksiin, sitä koskeviin lakeihin, asetuksiin, direktiiveihin ja standardeihin tutustumisen, vaatimuslistan luomisen testipenkillä tehtävien testien perusteella, järjestelmäkaavioiden laatimisen, komponenttien mitoittamisen, komponenttien valinnan mitoituksen, vaatimuslistan ja niitä koskevien määräysten perusteella, alustavan riskianalyysin suorittamisen ja toimintakaavion tekemisen laitteen toiminnan kuvaamiseksi ja sähköjärjestelmän suunnittelua varten. Mekaanisten järjestelmien suunnittelun avulla Patria saa valmiuden jatkaa suunnittelua eteenpäin ja rakentaa myöhemmin testipenkin suunnitelmien mukaisesti.

Tavoitteena on suunnitella helppokäyttöinen, edeltäjänsä yksinkertaisempi ja nykyaikaistettu testipenkki. Testipenkin toimintavarmuuden tulee olla parempi ja sen tulee olla luotettava. Testipenkin tulee yksinkertaistamisesta huolimatta säilyttää siihen kohdistuvat ominaisuudet ja vaatimukset, jotta siinä testattavat laitteet voidaan testata luotettavasti. Testipenkin asianmukainen suunnittelu tuo Patrialle hyötyä ja huoltovarmuutta kyseiseen työtehtävään, johon se on tehty.

Testipenkin suunnittelussa käytetään pohjana vanhaa testipenkkiä. Lähtökohdana on, että ominaisuuksia lähdetään optimoimaan ja yksinkertaistamaan. Vanhan testipenkin heikkoudet selvitetään ja niitä pyritään poistamaan tai vähentämään. Työ suoritetaan Patrian Operations ydintoiminnon Engine, Component and Training -yksikölle.

2 TAUSTATIEDOT

2.1 Patria Oyj

Patria Oyj on vuonna 1997 perustettu kansainvälinen palveluiden tuottaja, joka tarjoaa asiakkailleen puolustus-, turvallisuus- ja ilmailualan elinkaaren tukipalveluita. Tämän lisäksi Patria toimii myös lentokoulutuksen ja teknologiaratkaisujen tuottajana. Patrian tarjoamat tuotteet keskittyvät ilmailu- ja puolustusalan toimijoille ja käsittävät kaluston käytettävyyden ja suorituskyvyn jatkuvan kehittämisen, sekä valvonta-, tiedustelu- ja johtamisjärjestelmän tuotteita. Patriasta omistaa 50,1 % Suomen valtio ja 49,9 % norjalainen Kongsberg Defence and Aerospace ja sillä on toimipisteitä muun muassa Suomessa, Belgiassa, Ruotsissa, Norjassa, Virossa ja Espanjassa. (Patria vuosikertomus 2021, 3.)

Patrian organisaatio on jaettu neljään eri ydintoimintoon (Toimintamalli n.d.):

- Finland-divisioonaan, jonka päätehtävä on toimia Suomessa toimivien asiakkaiden kanssa. Se on jaettu neljään liiketoiminta-alueeseen: Airforce, Army, Navy ja Joint Security. Divisioonan painopisteenä toimii Puolustusvoimat.
- Global-divisioonaan, jonka tehtävänä on vastata Suomen ulkopuolisista asiakkaista. Global koostuu Nordics, Europe ja World -markkina-alueista. Global pyrkii kehittämään Patriaa kansainvälisesti ja ymmärtämään kansainväliset asiakastarpeet.
- Portfolioon, joka vastaa tuotteiden ja palveluiden kilpailukyvyistä, R&D ohjauksesta sekä näiden kaupallistamisesta. Tämän lisäksi toimintoihin kuuluu myynnin tuki. Portfolio koostuu Fleet Availability, Lifecycle management, Training & User Support, C5ISTAR, Mission Capability sekä New Products and Services tuote- ja palvelulinjoista.
- Operations vastaa kaikesta tuotannosta ja huolehtii palveluiden ja tuotteiden tuotantoprosesseista asiakkaille. Operations koostuu Airframe and Structure, Engine Component and Training, Land sekä Systems & Integrations -yksiköistä.

2.2 Engine, Component and Training

Engine, Component and Training -yksikkö vastaa mekaanisten, avioniikka sekä moottorilaitteiden huolloista. Huoltokohteisiin kuuluvat lentokoneiden kaasuturbiinimoottorit, dieselmoottorit ja teollisuuskaasuturbiinit. Sillä on yksiköitä Suomessa Linnavuorella ja Hallissa sekä Belgiassa Liegessä ja Hollannissa Zevenarissa. Tämän lisäksi yksikkö vastaa lentäjäkoulutuksen tarjonnasta. (Engines, components & training n.d.)

Yksikkö pitää huolen, että huoltoon tulevat moottorit, komponentit ja laitteet toimivat parhaalla mahdollisella tavalla pidentäen samalla laajempien kokonaisuusien käytettävyyttä. Asiakkaiden laitteiden ja kokonaisuusien käytettävyyden parantamisesta pidetään huoli huoltamalla mekaaniset, avioniikka sekä moottorilaitteet laadukkaasti standardin ISO 9001 ja ilmateollisuuden huoltostandardin AS9110 mukaan. (Engines, components & training n.d.) ISO 9001 on maailmanlaajuinen standardi, jossa käsitellään vaatimuksia laadunhallintajärjestelmille. AS9110 standardissa käsitellään laadunhallintajärjestelmien vaatimuksia lentokoneteollisuudessa. Se perustuu ISO 9001 standardin pohjalle.

Suomessa Patria on ensisijainen tuottaja sotilaslentokoneiden huolto-, korjaus- ja peruskorjauspalveluille sekä elinkaaren hallintapalveluille. Yrityksellä ja yksiköllä on vankka osaaminen tärkeimmistä kaasuturbiinimoottoreiden laitteista ja varusteista sekä Puolustusvoimien käytössä olevien koneiden järjestelmistä. Osaaminen on pääosin hankittu moottoreiden kokoonpanoprojektien kautta. Patrialla on pätevyys huoltaa sekä testata muun muassa seuraavia lentokoneissa käytettäviä kaasuturbiinityyppejä (Lentokoneiden kaasuturbiinimoottori n.d.):

- General Electric F404 -tuoteperhe
- Rolls-Royce Turbomeca Adour
- Safran RM322 01/9
- Honeywell GTC-36-200
- Microturbo TRI60
- Pratt & Whitney F100.

2.3 Vanha testipenkki

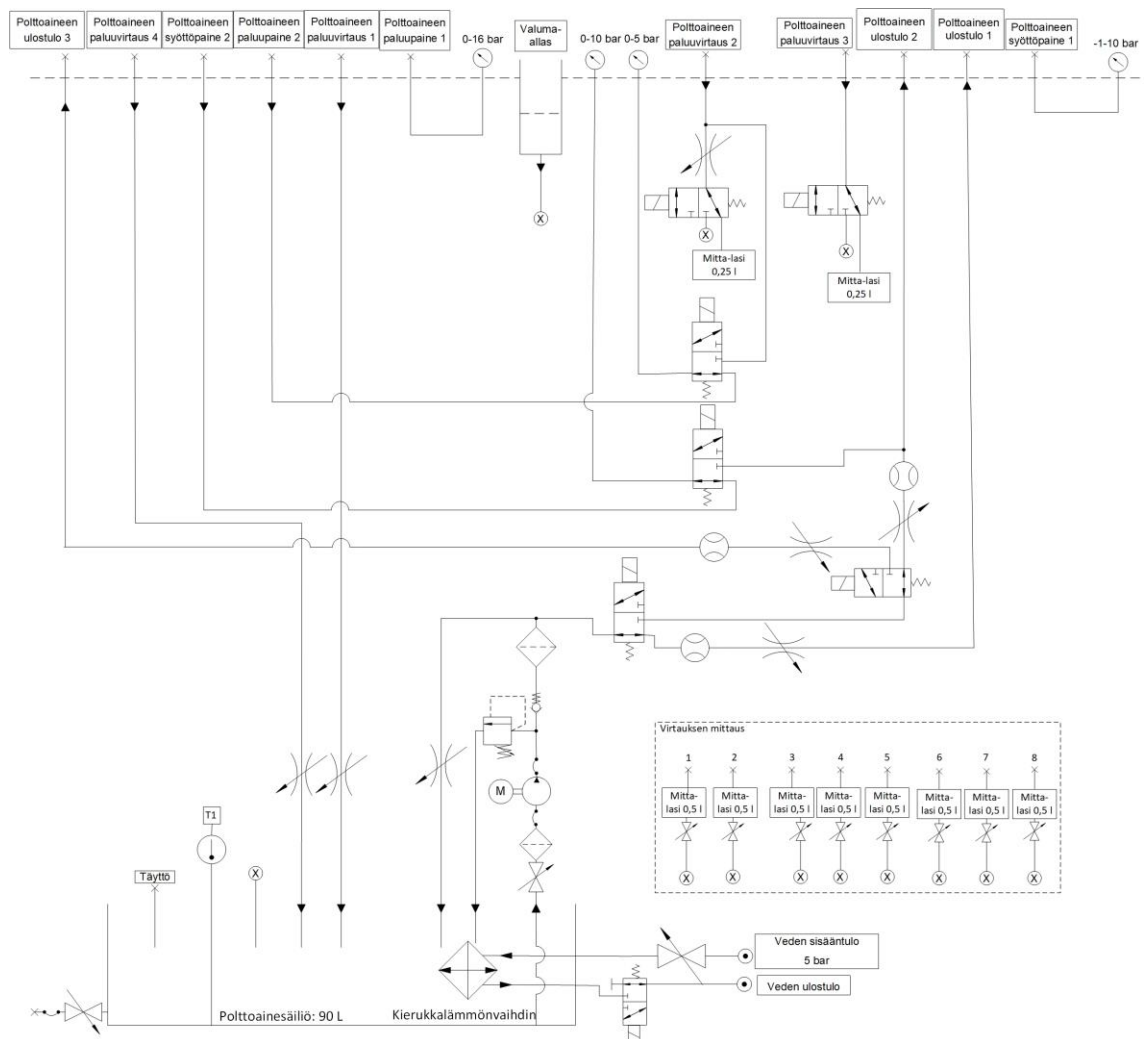
Uuden testipenkin on oltava ominaisuuksiltaan samanlainen kuin vanhan testipenkin ja sillä on pystyttävä tekemään siinä testattavien laitteiden vaatimat testit. Uutta testipenkkiä lähdettiin suunnittelemaan tutustumalla vanhaan testipenkkiin. Vanhassa testipenkissä on polttoainejärjestelmä, jossa käytetään nesteenä 95 % JET A-1 lentopetrolia ja 5 % Nycoprotec 04 suojavaiteluöljyn sekoitusta, öljyjärjestelmä, jossa käytetään Turbonycoil 13B voiteluöljyä, jäähdytysjärjestelmä, jossa käytetään nesteenä järvivettä, paineilmajärjestelmä, sekä sähköjärjestelmä. Paineilmajärjestelmä on kytketty 7 bar verkkopaineilmaan.

Polttoaine-, öljy- ja paineilmajärjestelmistä ei ole valmistajan tekemää kaaviota, joten ne piirretään työn suorittamisen helpottamiseksi. Kooltaan testipenkki on 218 cm leveä, 80 cm syvä ja 183 cm korkea. Uuden testipenkin on oltava kooltaan samankokoinen tilavarauksen vuoksi.

Putkistot ovat erillisiä toisistaan, mutta saman koneikon sisällä. Nesteet on varastoitu omiin säiliöihinsä. Nesteitä siirretään säiliöstä putkistoon hammaspyöräpumpun sekä sitä pyörittävän sähkömoottorin avulla. Sähkömoottorissa ei ole ohjausta, vaan se pyörii vakionopeudella. Pumpattu neste kulkee suodattimen ja suuntaventtiilin läpi. Paineen ja virtauksen säätö tapahtuu putkistossa olevien kuristusventtiilien avulla. Nesteen tilavuusvirtausta mitataan putkistossa olevien rotametrien avulla. Paineita mitataan putkistossa olevien painemittareiden avulla. Nestevirtausta tarkastellaan myös mittalasiin avulla, joihin valutetaan nestettä ja lasketaan nestevirtaus jakamalla valutetun nesteen tilavuus mittausajalla.

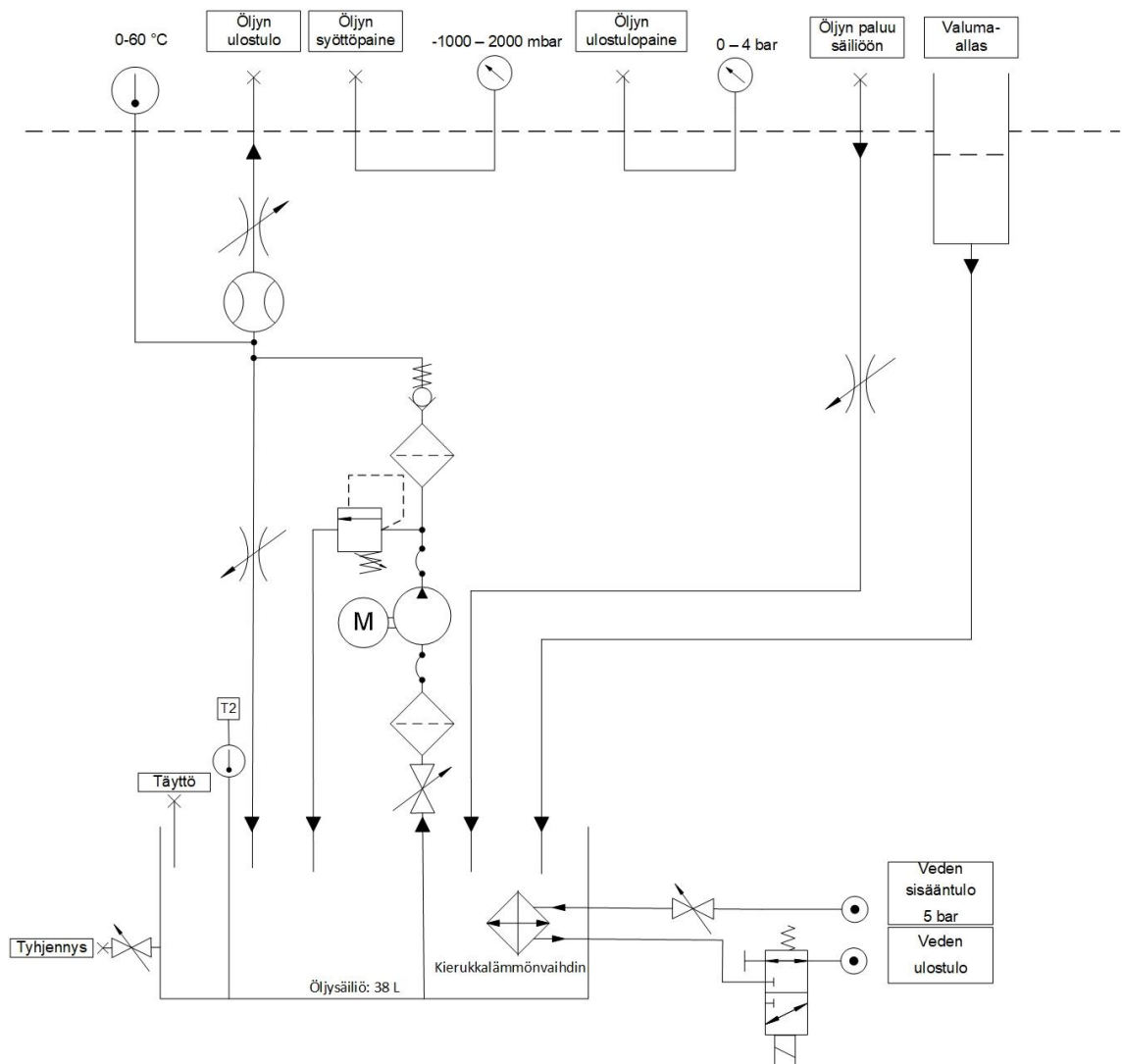
Nestettä ohjataan putkistoissa solenoidiventtiilien avulla, joita taas ohjataan käyttöpaneelissa olevilla kytkimillä. Molemmissa säiliöissä on termostaattianturit, joilla ohjataan jäähdytysjärjestelmää. Testipenkin ulostulot ovat kierteellisiä liittinippoja. Liitinnippoihin kiinnitetään letkut, jotka kiinnitetään testattavaan laitteeseen. Ulosottoja on polttoainejärjestelmässä useampia ja niitä käytetään riippuen mitä testipenkillä testataan. Polttoaine- ja öljyjärjestelmää suojataan ylipaineelta ylipaineventtiilin avulla, joka on sijoitettu moottorin jälkeiseen ohivirtausputkistoon. Testipenkin valuma-allas on jaettu kahteen osaa, joista polttoainejärjestelmän ja öljyjärjestelmän nesteet valuvat takaisin omiin säiliöihinsä.

Polttoainejärjestelmässä on kolme ulostuloa, joissa kaikissa on oma rotametreillä toimiva tilavuusvirtamittauksensa. Paluuvirtauslinjoja on neljä. Järjestelmässä on kaksi kiinteää painemittausta, joiden mittausta paikkaa vaihdetaan solenoidiventtiileillä. Tämän lisäksi järjestelmässä on kaksi painemittausta, jotka kytetään erillisillä letkuilla tarvittaessa testauksen yhteydessä. Erästä testipenkissä testattavassa laitteeseen johdettu virtaus jakautuu kahdeksaan paluuvirtaukseen, joita mitataan oikeassa reunassa olevilla 0,5 litran mittalaseilla. Eräessä toisessa testattavassa laitteessa virtaus jakaantuu kahteen paluuvirtaukseen, joita mitataan kahdella 0,25 litran mittalaseilla. Virtausta ja painetta säädetään kolmella ulostulolinjoissa olevilla kuristusventtiileillä, kolmella paluulinjoissa olevilla kuristusventtiileillä ja yhdellä ohivirtauslinjassa olevalla kuristusventtiilillä. Järjestelmän nestettä jäähdytetään säiliön sisälle kierretyllä kupariputkella. Jäähdytyksen solenoidiventtiili voidaan avata, kun termostaattianturi T1 mittaa nesteen lämpötilan olevan yli 20°C. Kuviossa 1 on esitetty polttoainejärjestelmän hydraulikkakaavio.



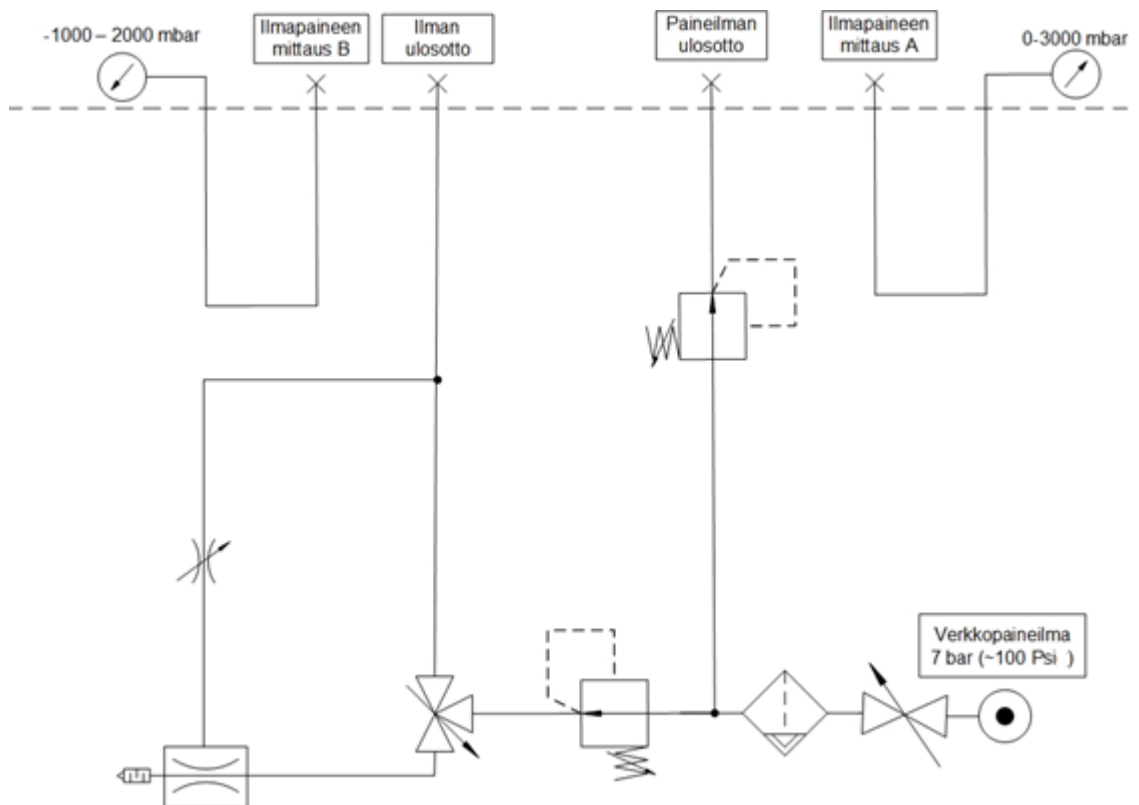
KUVIO 1. Polttoainejärjestelmän hydraulikkakaavio

Öljyjärjestelmä on kokoonpanoltaan polttoainejärjestelmää yksinkertaisempi. Öljyjärjestelmässä on lämpötila-anturi ja siihen yhteydessä oleva mittari, jolla lämpötilaa voidaan seurata. Tilavuusvirtausta mitataan yhdellä ulostulolinjassa olevalla rotametrimillä. Painetta mitataan kahdella erillisillä letkuilla kytkettävillä painemittareilla. Virtausta ja painetta säädetään yhdellä ulostulolinjassa olevalla kuristusventtiilillä, yhdellä paluulinjassa olevalla kuristusventtiilillä, sekä yhdellä ohivirtauslinjassa olevalla kuristusventtiilillä. Öljyjärjestelmän jäähdytysjärjestelmä on samanlainen, kuin polttoainejärjestelmässä. Öljyjärjestelmän termostaattianturi on merkitty kirjaimella T2. Kuviossa 2. on esitetty öljyjärjestelmän hydraulikkaavio.



KUVIO 2. Öljyjärjestelmän hydraulikkakaavio

Paineilmajärjestelmässä paineen säätö tapahtuu paineenalennusventtiilien avulla. Tämän lisäksi paineilmajärjestelmällä on mahdollista tuottaa pientä alipainetta alipaine-ejektorin avulla. Alipaine-ejektori tuottaa suurempaa alipainetta, mitä suurempaa painetta siihen syötetään paineenalennusventtiilin kautta. Paineilman syöttö alipaine-ejektorin ulostuloon on estetty kuristusventtiilin avulla. Painetta mitataan kahdella erikseen kytkettävällä painemittarilla. Kuviossa 3 on esitetty paineilmajärjestelmän pneumatiikkakaavio.



KUVIO 3. Paineilmajärjestelmän pneumatiikkakaavio

Sähköjärjestelmään syötetään 380VAC. Jännite muutetaan koneikon sisällä olevan virtalähteen sisällä sähköisille laitteille sopivaksi. Testipöydän paneelissa on kolme sähköliitintä, joita tarvitaan laitteiden testaukseen. Kaksi liitintä on yhteydessä potentiometriin, jonka mahdollistaa jännitteensäädön 0-50VDC. Kolmas ulostulo on yhteydessä potentiometriinsä, jolla saadaan säädettyä virtaa 0–200 mA. Sähköjärjestelmän suunnittelu jätetään tässä työssä toiselle suunnittelijalle, joten sen tarkastelu syvällisemmin ei ole tarpeellista.

3 SUUNNITTELUN TEORIA

3.1 Painelaitelainsäädäntö

Koneen suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon, että siitä saadaan turvallinen käyttää ja että se täyttää lainsäädännön asettamat vaatimukset. Koneiden suunnittelua varten on olemassa useita eri direktiivejä, lakeja, asetuksia, standardeja ja vaatimuksia, mitä mukailemalla laitteesta saadaan vaatimusten mukainen ja turvallinen käyttää niin normaali-, kuin poikkeustiloissa.

Painelaitedirektiivi (PED) on Euroopan parlamentin ja neuvoston laatima direktiivi, joka pitää sisällään määräyksiä, menettelyitä, sekä velvollisuuksia painelaitteiden suunnittelulle, valmistukselle ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnille Euroopan talousalueella. Direktiivin tarkoituksena on, että suunnitellut painelaitteet suunnitellaan, valmistetaan ja asennetaan siten, että niitä on turvallista käyttää. Valmistajan on varmistettava, että painelaite on suunniteltu painelaitedirektiivin asetusten mukaisesti, mikäli se halutaan saattaa markkinoille tai käyttää omissa tarkoituksissa.

Painelaitedirektiivi on sisällytetty Suomessa lainsäädäntöön. Painelaitedirektiiviin liittyvä laki on 1144/2016 painelaitelaki sekä sitä tarkentavat asetus on 1548/2016 valtioneuvoston asetus painelaitteista. Painelaitelaki pitää sisällään painelaitteiden suunnittelun, valmistuksen ja käytön lakitason säädöksen. Valtioneuvoston asetus painelaitteista sisältää painelaitedirektiivin tekniset vaatimukset painelaitteiden laitekokonaisuuksien suunnittelusta, valmistuksesta ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnista. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.) Koska painelaitedirektiivi on sisällytetty Suomessa lakiin, on sen noudattaminen ehdotonta.

Painelaitedirektiivi sisältää 52 artiklaa ja kuusi liitettä. Artiklojen sisällöstä työn kannalta olennaisina kohtina voidaan pitää teknisiä vaatimuksia, painelaitteiden luokitusta ja vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä, sekä mahdollisesti EU-vaatimustenmukaisuusvaatimusta ja CE-merkintää. Liitteiden sisällöstä olen-

naisina kohtina voidaan pitää olennaisia turvallisuusvaatimuksia, vaatimustenmukaisuuden arviointikuvataulukkoita, vaatimustenmukaisuuden arviointimenetelyitä sekä mahdollisesti EU-vaatimustenmukaisuusvaatimuksen esimerkkipohjaa.

3.1.1 Painelaite

Painelaitedirektiivissä mainitaan, että painelaitedirektiiviä sovelletaan painelaitteisiin, painelaitteista koottuihin, yhtenäisiin ja toiminnallisiin laitekokonaisuuksiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine ylittää 0,5 bar. Laitteet, joissa käyttöpaine on alle 0,5 bar ei sovelleta painelaitedirektiiviä. (Direktiivi 2014/68/EU.)

Painelaitedirektiivin mukaan painelaitteella tarkoitetaan säiliötä, putkistoja, varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita, joihin luetaan mukaan tarvittaessa paineenalaisiin osiin kiinnitetyt osat. Säiliöllä tarkoitetaan paineenalaista sisältöä sisältämään suunniteltua ja valmistettua päällystä. Säiliössä voi olla yksi tai useampi kammio. Putkistolla tarkoitetaan sisältöjen siirtämiseen tarkoitettuja putkiston osia, jotka on liitetty toisiinsa painejärjestelmän yhdistämistä varten. Varolaitteilla tarkoitetaan laitteita, jotka suojaavat painelaitteita sallittujen raja-arvojen ylittämislä. (Direktiivi 2014/68/EU 1 §.)

Painelaitelain 1144/2016 määritelmän mukaan painelaitteella tarkoitetaan säiliötä, putkistoa tai muuta teknistä kokonaisuutta, jossa on tai johon voi kehittyä ylipainetta. Tämän lisäksi painelaitteet voivat olla myös tämän suojaamiseksi tarkoitettuja teknisiä kokonaisuuksia. Teknisellä kokonaisuudella tarkoitetaan valmistajan yhtenäiseksi ja toiminnalliseksi kokonaisuudeksi koottuja useita painelaitteita. (Painelaitelaki 16.12.2016/1144, 2 §.)

3.1.2 Luokitus

Painelaitteet tulee luokitella vaarallisuuden suuruuden mukaan. Luokituksen perusteella painelaitteisiin suoritetaan vaatimuksenmukaisuuden arviointimenetely. (Painelaitelaki 16.12.2016/1144, 23 §.) Painelaitteet luokitellaan neljään

luokkaan I – IV kevyimmästä vaarallisimpaan. Painelaite voi myös jäädä näiden luokkien ulkopuolella, jolloin laitteeseen tulee soveltaa hyvää konepajakäytäntöä. (Valtioneuvoston asetus painelaitteista 1548/2016, 9 §). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, ettei painelaitetta tarvitse suunnitella ja valmistaa painelaitedirektiivin mukaisesti. Painelaite tulee kuitenkin suunnitella siten, että se on turvallinen. Painelaite tulee valmistaa, tarkastaa ja toimittaa käyttöohjeineen ja sen tulee olla turvallinen koko sen suunnitellun käyttöajan ajan, kun sitä käytetään asianomaisissa olosuhteissa. (Painelaitedirektiivin 2014/68/EU (PED) soveltamisopas 2020.) Painelaitteen luokitteluun vaikuttavat:

- Painelaitteen tyyppi
- Suurin käyttöpaine
- Tilavuus tai nimellisuuruus (DN)
- Sisältö
- Sisällön vaarallisuus.

Eri painelaitetyypit on ilmoitettu painelaitedirektiivissä. Painelaitteen tulee tyypiltään luokitella joko säiliöksi, putkistoksi, höyryn tai ylikuumennetun veden tuotannon painelaitteeksi, lisälaitteeksi, tai varolaitteeksi. (Direktiivi 2014/68/EU, liite II.)

Painelaitteen suurimalla käyttöpaineella tarkoitetaan suurinta sallittua painetta, jolle laite on suunniteltu käytettäväksi. Tilavuudella tarkoitetaan kunkin säiliössä olevan kammion sisäistä tilavuutta. Nimellisuuruudella tarkoitetaan putkistojärjestelmän kaikille osille yhteistä koon numeerista esitystapaa, lukuun ottamatta osia, joista annetaan ulkohalkaisija tai kierrekoko. (Direktiivi 2014/68/EU, 2 §.) Mikäli putkiston sisältö on vaaratonta, jäävät alle DN32 nimelliskoon putkistot luokituksen ulkopuolelle. Mikäli putkiston sisältö on vaarallista, jäävät alle DN25 nimelliskoon putkistot luokituksen ulkopuolelle. Näissä tilanteissa painelaite kuuluu siis hyvän konepajakäytännön alaiseksi painelaitteeksi.

Painelaitteen sisältö tulee luokitella joko nesteeksi, tai kaasuksi. Sisällön vaarallisuus luokitellaan joko ryhmään 1 tai ryhmään 2. Ryhmä 1 sisältää vaaralliset aineet ja ryhmä 2 kaikki muut aineet. Sisällön luokittelun perustana on CLP-asetus 1272/2008, jossa määritellään fysikaalisesti ja terveydellisesti vaaralliset aineet ja seokset. (Direktiivi 2014/68/EU, 13 §.) Aineiden vaaraluokkaa merkitään

vaaralausekkeella muun muassa aineiden käyttöturvallisuustiedotteessa. Ryhmään 1 kuuluvat vaarallisten aineiden lisäksi painelaitteen sisältämät aineet ja seokset, joiden korkein sallittu lämpötila on leimahduspistettä korkeampi. Ryhmän 1 sisältö on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ryhmään 1. luokiteltavat aineet (Tukes, n.d.)

VAARALUOKAT JA KATEGORIAT	VAARALAUSEKKEET
Epästabiilit räjähteet tai vaarallisuusluokkiin 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, ja kuuluvat räjähteet	H200, H201, H202, H203, H204, H205
Syttyvät kaasut	H220, H221, H230, H231
Hapettavat kaasut	H270
Syttyvät nesteet	H224, H225
Syttyvät nesteet, jos suurin sallittu lämpötila on korkeampi kuin leimahduspiste	H226
Syttyvät kiinteät aineet	H228
Itsereaktiivinen aine tai seos	H240, H241, H242
Pyrofisiet nesteet	H250
Pyrofisiet kiinteät aineet	H250
Aineet ja seokset, jotka veden kanssa kosketuksiin joutuessaan kehittävät syttyviä kaasuja	H260, H261
Hapettavat nesteet	H271, H272
Hapettavat kiinteät aineet	H271, H272
Orgaaniset peroksidit	H240, H241, H242
Välitön myrkyllisyys suun kautta	H300
Välitön myrkyllisyys ihon kautta	H310
Välitön myrkyllisyys hengitysteiden kautta	H330, H331
Elinkohtainen myrkyllisyys – kertaaltistuminen	H370

3.1.3 Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely

Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelytapa valitaan painelaitteen saaman luokituksen mukaan. Valmistaja voi halutessaan soveltaa myös korkeampaan luokkaan tarkoitettua menettelytapaa (Valtioneuvoston asetus painelaitteista 1548/2016, 11 §). Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyn avulla todennetaan, että laite täyttää laissa säädetyt olennaiset turvallisuusvaatimukset (Painelaitelaki 1144/2016, 2 §).

Arviointimenettelyitä kutsutaan moduuleiksi. Moduulit esitetään kokonaisuudessaan painelaitedirektiivin 2014/68/EU liitteessä III. Taulukossa 2. on esitetty minkä moduulin mukaan tietyn luokkaiset painelaitteet tulee arvioida.

TAULUKKO 2. Moduulien käyttö luokittain (Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset 2017, s. 31)

Luokka I	Luokka II	Luokka III	Luokka IV
A	A2	B (suunnittelutyyppi) + D	B (tuotantotyyppi) + D
	D1	B (suunnittelutyyppi) + F	B (tuotantotyyppi) + F
	E1	B (tuotantotyyppi) + E	G
		B (tuotantotyyppi) + C2	H1
		H	

Valmistaja saa käyttää painelaitteen arvioinnissa vain yhtä moduulia tai moduuliyhdistelmää. Luokassa I käytettävä moduuli on ylemmissä luokissa käytettäviä moduuleja huomattavasti kevyempi, sillä siinä ei vaadita ilmoitetun laitoksen toimimista. Riittää että valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin asianmukaisesti. Ilmoitetut laitokset ovat ulkoisia arviointilaitoksia, jotka valvovat painelaitteiden vaatimustenmukaisuutta. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus

ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.) Luokissa I ja II käytettävien moduulien kuvaukset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Luokissa I ja II käytettävät moduulit ja niiden kuvaukset (Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset 2017, 31)

Arviointimenettely (moduuli)		Kuvaus
A	Sisäinen tuotannonvalvonta	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin
A2	Sisäinen tuotannonvalvonta ja valvotut painelaitetarkastukset satunnaisin väliajoin	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
D1	Tuotantoprosessin laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat, sekä soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
E1	Painelaitteiden lopputarkastukseen ja testauksen laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat, sekä soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos

Luokissa III ja IV ilmoitettu laitos alkaa tarkastamaan järjestelmiä, minkä puitteissa tuotteita suunnitellaan tai valmistellaan. Luokissa III ja IV käytettävien moduulien kuvaukset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Luokissa III ja IV käytettävät moduulit ja niiden kuvaukset (Kemi-kaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset 2017, s. 31)

Arviointimenettely (moduuli)		Kuvaus
B	EU-tyyppitarkastus (tuotantotyyppi)	Ilmoitettu laitos tarkastaa tyyppin vaatimustenmukaisuuden
	EU-tyyppitarkastus (suunnittelutyyppi)	Ilmoitettu laitos tarkastaa suunnitelman vaatimustenmukaisuuden
C2	Sisäiseen tuotannonvalvontaan perustuva tyypinmukaisuus ja satunnaisin väliajoin suoritettavat ja valvotut painelaitetarkastukset	Valmistaja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo
D	Tuotantoprosessin laadunvarmistukseen perustuva tyypinmukaisuus	Valmistaja soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
E	Painelaitteiden laadunvarmistukseen perustuva tyypinmukaisuus	Valmistaja soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
F	Painelaitteen tarkastukseen perustuva tyypinmukaisuus	Ilmoitettu laitos tekee loppuarvioinnin
G	Yksikkökohtaiseen tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus	Ilmoitettu laitos tekee tuotteen suunnitelma- ja loppuarvioinnin
H	Täydelliseen laadunvarmistukseen perustuva vaatimustenmukaisuus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos
H1	Täydelliseen laadunvarmistukseen ja suunnittelun tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos. Lisäksi ilmoitettu laitos tekee suunnitelmatar- kastuksen ja valvoo loppuarviointia

3.1.4 EU-vaatimustenmukaisuusvaatimus

Mikäli painelaite luokitellaan vaarallisuuden perusteella luokkiin I – IV, tulee painelaitteelle tehdä EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja se tulee CE-merkitä. Vakuutuksella valmistaja vakuuttaa painelaitteen täyttävän lainsäädännön olennaiset vaatimukset. Mikäli painelaitteen tulee täyttää muidenkin direktiivien EU-vaatimustenmukaisuusvaatimuksia, tulee niiden vaatimukset täyttää samalla vakuutuksella. Kaikki painelaitteen täyttämät vaatimukset ilmoitetaan vakuutuksessa. (Valtioneuvoston asetus painelaitteista 1548/2016, § 18.)

EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus tulee laatia painelaitedirektiivin liitteen IV mukaan. Vakuutuksessa on esitettävä seuraavat kohdat (Direktiivi 2014/68/EU, liite IV):

- Painelaite tai laitekokonaisuuden tuote-, tyyppi-, erä- tai sarjanumero
- Valmistajan tai valmistajan valtuutetun edustajan nimi ja osoite
- Tämä vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu valmistajan yksinomaisella vastuulla.
- Vakuutuksen kohde
 - o Painelaitteen tai laitekokonaisuuden kuvaus
 - o Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely, jos sovellettu
 - o Laitekokonaisuuksien osalta niiden painelaitteiden kuvaus, joista ne koostuvat, sekä sovelletut vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt.
- Edellä kuvattu kohde on unionin asiaankuuluvan yhdenmukaistamislainsäädännön vaatimusten mukainen.
- Viittaus niihin yhdenmukaistettuihin standardeihin, joita on käytetty, tai viittaus muihin teknisiin eritelmiin, joiden perusteella vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu.
- Tarvittaessa tiedot vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyn suorittaneesta laitoksesta ja suoritetuista todistuksista
- Allekirjoitus.

3.1.5 CE-merkintä

Mikäli painelaite luokitellaan vaarallisuuden perusteella luokkiin I – IV, tulee painelaite CE-merkitä. CE-merkinnällä vakuutetaan, että painelaite täyttää sitä koskevat direktiivien vaatimukset ja sille on tehty vaatimuksenmukaisuuden arviointi. (Direktiivi 2014/68/EU.)

CE-merkinnän tekee valmistaja tai valmistajan valtuuttama edustaja ja se on kiinnitettävä ennen painelaitteeseen ennen sen saattamista markkinoille. Merkinnällä tuote saa liikkua vapaasti EU:n alueella. (CE-merkintä, n.d.)

3.2 Kemikaalilainsäädäntö

Painelaitetta suunniteltaessa tulee ottaa mahdollisesti huomioon myös kemikaalilainsäädäntö. Kemikaalilainsäädäntöä tulee soveltaa putkiston suunnittelussa, mikäli siinä käytettävä aine on luokiteltu CLP-asetusten mukaan vaaralliseksi. Painelaitteiden suunnitteluun vaikuttavat lait ja asetukset ovat:

- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 855/2012
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012

Valtioneuvoston asetukset 855/2012 ja 856/2012 on tehty lain 390/2005 tueksi. Näissä asetuksissa mennään tarkemmin painelaitteita ja niiden komponentteja käsitteleviin säädöksiin.

Valtioneuvoston asetuksessa 855/2012 työn kannalta olennaiset asiat liittyvät vaarallisten aineiden teolliseen käsittelyyn ja varastointiin. Valtioneuvoston asetuksen 855/2012 liitteessä I on esitetty kemikaalien vähimmäismäärät, jotka vaa-

tivat joko ilmoituksen, luvan, toimintaperiaateasiakirjan, tai turvallisuusselvityksen. Työssä käytettävän lentopetrolin vähimmäismäärät on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Petrolin vähimmäismäärät (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 855/2012, liite I)

Ilmoitus (tonnia)	Lupa (tonnia)	Toimintaperiaateasiakirja (tonnia)	Turvallisuusselvitys (tonnia)
10	100	2500	25000

Valtioneuvoston asetuksessa 856/2012 huomioon otettavia kohtia on useampia. Asetuksen 21 § ilmoitetaan useita yleisperiaatteita, joita tulee ottaa huomioon laitteen sijoituksessa. Näitä yleisperiaatteita noudattamalla onnettomuustilanteessa voidaan välttyä suurimmilta vahingoilta rakennuksille, laitteille ja henkilökunnalle. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 21 §.)

Painelaitetta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että siinä olevat säiliöt on sijoitettu vähintään yhden metrin päähän seinästä. Mikäli säiliöitä on useita, tulee myös niiden välinen etäisyys olla vähintään yksi metri. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 30 §.) Tämän lisäksi tulee huomioida, että vuodon sattuessa valuva neste ei saa päästä kosketuksiin kuumien pintojen, sähkölaitteiden tai muiden syttymislähteiden kanssa (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 32 §).

Ilmanvaihto tulee toteuttaa siten, ettei käytetystä kemikaalista synny syttymisen vaaraa, tai vaaraa terveydelle. Palavan nesteen höyryn pitoisuus ei saa ylittää 25 % alemmasta syttymisrajasta. Tämän syyn takia ilmanvaihdon riittävyyttä tulee valvoa. Ilmanvaihtoa tarkisteltaessa on syytä miettiä, onko painovoimainen ilmanvaihto riittävä, vai tarvitaanko koneellista ilmanvaihtoa. Koneellinen ilmanvaihto on pakollinen, mikäli tilassa vapautuu normaalitoiminnan yhteydessä palavien nesteiden höyryjä, palavia kaasuja tai terveydelle vaarallisia kemikaaleja. Tilassa

on tällöin oltava alipaine verrattuna ympäröivään tilaan. Tuloilma on johdettava muusta turvallisesta tilasta (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 40 §.)

Asetuksen 856/2012 43 § mainitaan laitteistosuunnittelun perusvaatimuksia, joiden avulla pyritään pienentämään onnettomuuksien seurauksia mahdollisimman pieniksi. Työn kannalta olennaisimmat kohdat ovat kohdat viisi ja kahdeksan. Näissä kohdissa mainitaan, että laitteisto tulee suunnitella siten, laitteiston kemikaalien haihtuminen ja vuodot jäävät mahdollisimman pieniksi, sekä hätäpysäytysjärjestelmän on toimittava myös energijärjestelmän pettäessä. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 43 §.)

Kemikaalilainsäädäntö linkittyy suoraan painelaitelakiin asetuksen 856/2012 artiklassa 47. Tässä artiklassa mainitaan, että putkisto tulee olla suunniteltu vähintään painelaitedirektiivin luokan I vaatimustason mukaisesti, mikäli putkistossa käsitellään vaarallista kemikaalia (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 47 §). Tämä tarkoittaa sitä, että putkistoihin tulee tehdä vähintään painelaitelain luokan I vaatimat tarkastukset ja noudattaa siinä mainittuja velvoitteita. Näille putkistoille ei tehdä kuitenkaan CE-merkintää, eikä EU-vaatimustenmukaisuusvakuutusta. Putkistoille tulee tehdä erillinen vaatimustenmukaisuusvakuutus, jossa käy ilmi, että se on suunniteltu ja valmistettu asetuksen 856/2012 47 § mukaisesti ja se vastaa painelaitteasetuksen 1548/2016 luokan 1 vaatimustasoa. (Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset 2017, 14.)

Kemikaalilainsäädännön asetuksessa 856/2012 käsitellään myös putkiston mitoitusta. Kemikaalilainsäädännön asetuksen 856/2012 mukaan vaarallisten kemikaalien siirtoon käytetty putkisto on mitoitettava putkiston tai säiliön käyttöpaineelle, mutta kuitenkin vähintään kuuden baarin paineelle (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 49 §).

3.3 ATEX-lainsäädäntö

ATEX-lainsäädäntöä ja direktiivejä tulee noudattaa, kun laitteeseen liittyy räjähdysvaarallisia nesteitä tai kaasuja, tai mikäli laite sijaitsee räjähdysvaarallisessa tilassa. Räjähdysvaarallisella tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa voi esiintyä räjähdysvaarallinen ilmaseos (Räjähdysvaaralliset tilat n.d.).

ATEX-lainsäädäntöön liittyvät direktiivit on jaoteltu ATEX-olosuhdedirektiiviin 99/92/EY ja ATEX-laitedirektiiviin 2014/34/EU. Näiden direktiivien avulla luodaan turvallisempia työolosuhteita, yhtenäistään EU:n alueen turvallisuusvaatimuksia liittyen räjähdysvaarallisiin tiloihin ja niissä käytettäviin laitteisiin.

3.3.1 ATEX-olosuhdedirektiivi

ATEX-olosuhdedirektiiviä käsitellään itse direktiivin 99/92/EY lisäksi valtioneuvoston asetuksessa räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta 576/2003. Direktiivissä asetetaan räjähdysvaarallisissa tiloissa toimivien työntekijöiden ja työnteon turvallisuuteen ja terveyteen liittyviä velvoitteita, mitkä työnantajan tulee täyttää. Työnantajan on tehtävä räjähdysvaaran arviointi, ja sen perusteella estettävä räjähdysten syntyminen tai suojattava työntekijät räjähdysten vaikutukselta. Asetuksessa 576/2003 annetaan samat määräykset kuin direktiivissä.

Räjähdysvaaran arvioinnissa tulee ottaa huomioon prosessissa olevat palavat aineet, normaaleissa toimintaolosuhteissa tapahtuvat huollot, komponenttien ja liitosten vuodot, toimintahäiriöt ja ennakoitavissa olevat vikatilat, käyttöönotto ja käytöstä poistaminen sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva virheellinen käyttö. Tämän lisäksi tulee arvioida missä ja kuinka pitkään räjähdyskelpoinen ilmaseos voi esiintyä. (Räjähdysvaaralliset tilat n.d.)

Räjähdysvaaralliset tiloille tulee tehdä tilaluokitus. Tilaluokitus tehdään ilmaseosten esiintymistiheyden ja keston perusteella. Tilaluokat on jaettu kaasuille tarkoitettuihin luokkiin 0, 1 ja 2, jossa tilaluokka 0 on vaarallisin ja tilaluokka 2 kevyin

sekä pölyille tarkoitettuihin luokkiin 20, 21 ja 22, jossa 20 on vaarallisin ja 22 kevyin. Tilaluokat ja niiden määritelmät on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Tilaluokat ja niiden määrittely (Direktiivi 1999/92/EY, liite I)

Tilaluokka 0	Ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein
Tilaluokka 1	Ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti
Tilaluokka 2	Ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan
Tilaluokka 20	Ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilma-seos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 21	Ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilma-seos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti
Tilaluokka 22	Ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilma-seoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.

ATEX-Olosuhdedirektiivi linkittyy ATEX-laitedirektiivin tilaluokkien avulla. Tilaluokan määrittelyn perusteella valitaan laiteluokka, jonka mukaisia tai sitä korkeamman tason laitteita on käytettävä tilassa. Laiteluokkien valinta menee seuraavalla tavalla (Direktiivi 1999/92/EY, liite II):

- Tilaluokassa 0 ja 20 laiteluokan 1 laitteita
- Tilaluokassa 1 ja 21 laiteluokkien 1 tai 2 laitteita
- Tilaluokassa 2 ja 22 laiteluokan 1, 2 tai 3 laitteita

SFS-käsikirjassa 59 käsitellään räjähdysvaarallisten tilojen luokittelua. Käsikirjan mukaan tilaluokitus on tarpeellista tehdä seuraavissa tapauksissa (SFS-käsikirja 59:2022, s. 6).

- Palavan nesteen leimahduspiste on enintään $< 23^{\circ}\text{C}$.
- Nesteen lämpötila tai sen välittömän läheisyyden lämpötila on yli $T-5^{\circ}\text{C}$, missä T on leimahduspiste, tai $T-15^{\circ}\text{C}$ mikäli tarkka leimahduspiste ei ole tiedossa.
- Palavaa nestettä sumutetaan teknillisessä käytössä ilmaan
- Varastoidaan tai käsitellään nestekaasuja, puristettuja palavia kaasuja
- Muusta syystä katsotaan olevan huomattava vaara.

3.3.2 ATEX-laitedirektiivi

ATEX-laitedirektiiviä käsitellään direktiivin 2014/34/EU lisäksi laissa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1139/2016, sekä valtioneuvoston asetuksessa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1439/2016. Laitedirektiivissä määritellään räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden ja suojajärjestelmien turvallisuus- ja terveysvaatimuksia. Tämän lisäksi direktiivi koskee räjähdysvaarallisten tilojen ulkopuolella käytettäviä suojausjärjestelmää, joka vaikuttaa laitteiden räjähdyssuojaukseen. (Direktiivi 2014/34/EU.)

ATEX-laitedirektiivi vaikuttaa työssä olennaisesti komponenttien valintaan. Räjähdysvaarallisissa tiloissa on varmistettava, ettei laite voi aiheuttaa palavan aineen syttymisvaaraa. Laitteen aiheuttama syttymisvaara voi syntyä esimerkiksi siinä käytettävän sähkön, kipinöiden, staattisen sähkön tai kuumien pintojen vuoksi (ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus 2015, 11).

Laitedirektiivissä laitteet luokitellaan ryhmiin I ja II. Ryhmään I kuuluvat laitteet on tarkoitettu käytettäväksi kaivoksiin ja paikkoihin, jossa laitteet voivat altistua kaivokaasuille tai siitä aiheutuvalle pölylle. Ryhmään II kuuluvat laitteet on tarkoitettu käytettäväksi kaikkialle muissa kohteissa kuin ryhmän I laitteet. (Valtioneuvoston

asetus räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1439/2016). Ryhmän I laitteet eivät koske työtä, eikä niitä ole näin ollen tarpeen tutkia enempää.

Ryhmän II laitteet luokitellaan laiteluokkiin 1, 2 ja 3. Laiteluokat kertovat laitteen turvallisuustason ja määrittävät mitä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä laitteessa tulee käyttää. Laiteluokkien suojelun taso on laiteluokassa 1 erittäin korkea, laiteluokassa 2 korkea ja laiteluokassa 3 tavanomainen. Tämän lisäksi laiteluokan perään merkitään joko kirjain G, mikäli räjähdysvaara johtuu kaasuista, tai kirjain D, mikäli räjähdysvaara johtuu pölystä. Laitteeseen tehtävä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt laiteluokan perusteella on esitetty taulukossa 7. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt ovat sisällöltään samankaltaisia kuin kappaleessa 3.1.3 esitetyt vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt.

TAULUKKO 7. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely (Valtioneuvoston asetus räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1439/2016, § 5)

Laiteluokka 1	Laiteluokka 2	Laiteluokka 3
B + D	B + C1 (Polttomoottorit ja sähkölaitteet)	A
B + F	B + E (Polttomoottorit ja sähkölaitteet)	
	A (Muut)	

3.3.3 ATEX-laitteiden luokitus

ATEX-laitedirektiivissä määritetään laitteen laiteryhmä ja laiteluokka. Näiden lisäksi laitteissa tulee olla muitakin merkintöjä. SFS-EN 60079 standardissa käsitellään normaaliolosuhteissa käytettäviä laitteita ja niissä olevia merkintöjä. Standardin mukaan normaaliolosuhteet laitteille ovat -20 °C – +40 °C lämpötila, 80 kPa – 110 kPa ilmanpaine ja normaali happipitoisuus (SFS-EN 60079-0 2019, s.15).

Standardissa 60079–0 määritellään laitteilta vaadittava räjähdysuojusrakenne tiettyyn tilaluokkaan. Räjähdysuojusrakenteella tarkoitetaan laitteen rakennetta, jonka tavoitteena on estää laitetta ympäröivän räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymisen happipitoisuus (SFS-EN 60079-0 2019, s. 34). Taulukossa 8 on esitetty eri räjähdysuojusrakenteet, niiden merkinnät ja soveltuvuudet eri tilaluokkiin. Osa rakenteista jaetaan eri alaluokkiin riippuen mihin tilaluokkaan se on suunniteltu käytettäväksi.

TAULUKKO 8. Räjähdysuojusrakenteet

Merkintä	Rakenne	Soveltuu tilaluokkaan
Ex ia	Luonnostaan vaaraton "ia" rakenne	0, 1, 2
Ex ib	Luonnostaan vaaraton "ib" rakenne	1, 2
Ex ic	Luonnostaan vaaraton "ic" rakenne	2
Ex ma	Massavalu "ma" rakenne	0, 1, 2
Ex mb	Massavalu "mb" rakenne	1, 2
Ex mc	Massavalu "mc" rakenne	2
Ex d	Räjähdyspaineen kestävä	1, 2
Ex e	Varmennettu rakenne	1, 2
Ex n	Kipinöimätön	2
Ex o	Öljytäyteinen	1, 2
Ex p	Paineistettu	1, 2
Ex q	Hiekkatäyteinen	1, 2
Ex s	Erikoisrakenne	Riippuu rakenteesta

Räjähdysuojusrakenteiden lisäksi laitteet jaotellaan räjähdysryhmiin riippuen räjähdysvaarallisen aineessa olevasta palavasta seoksesta. Räjähdysryhmät jaotellaan ryhmässä II ryhmiin IIA, IIB ja IIC. Ryhmä IIA koostuu propaani-ilmaseoksista, ryhmä IIB eteeni-ilmaseoksista ja ryhmä IIC vety-ilmaseoksista (SFS-käsikirja 59:2022, s 111). Räjähdysryhmän IIC laitteet on suunniteltu räjähdysherkim-

mälle alueelle ja ryhmä IIA vähiten räjähdysherkälle alueelle. Tästä syystä räjähdysryhmän IIC alueella voidaan käyttää ainoastaan IIC luokiteltuja laitteita, räjähdysryhmä IIB alueella IIB ja IIC luokiteltuja laitteita ja räjähdysryhmä IIA alueella IIA, IIB ja IIC luokiteltuja laitteita.

Seuraava luokittelu perustuu suurimpaan pintalämpötilaan, jossa laitteita on tarkoitus käyttää. Tätä luokittelua kutsutaan lämpötilaluokaksi. Ryhmän II laitteissa lämpötilaluokka valitaan käytännössä laitteessa käytettävän aineen syttymislämpötilan mukaan. Lämpötilaluokat jaotellaan luokkiin T1-T6, joista T6 on vaativin. Vaativamman lämpötilaluokan laitetta voidaan käyttää alemmissä luokissa. Maksimi pintalämpötilat ja lämpötilaluokat on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Lämpötilaluokat (SFS-EN 60079-0 2019, s. 38)

Lämpötilaluokka	Maksimi pintalämpötila
T1	≤ 450 °C
T2	≤ 300 °C
T3	≤ 200 °C
T4	≤ 135 °C
T5	≤ 100 °C
T6	≤ 85 °C

Laitteet luokitellaan myös räjähdys-suojaustason mukaan. Räjähdys-suojaustasosta käytetään myös nimitystä EPL. Räjähdys-suojaustaso perustuu todennäköisyyteen, jolla laite voi muodostua syttymislähteeksi. Tarvittava räjähdys-suojaustaso valitaan sen perusteella, missä tilaluokassa laite on. Räjähdys-suojaustasot on jaoteltu ryhmiin Ga, Gb ja Gc joista ensimmäinen on suurin suojaustason. Tilaluokassa 0 tulee käyttää ryhmän Ga laitteita, ryhmän Gb laitteita tilaluokassa 1 ja ryhmän Gc tilaluokassa 2. Korkeamman tason laitteita voidaan käyttää alemmissä luokissa. (SFS-EN 60079-0 2019, s. 27.)

Edellä mainittujen merkintöjen lisäksi ATEX-tilojen laitteen tulee olla CE-merkitty. Laitteisiin on merkittävä siihen kuuluvat laitemerkinnät. Esimerkki laitteen laitemerkinnästä on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Esimerkki ATEX-laitteen merkinnästä (Räjädysvaarallisten tilat, n.d.)

3.4 Yhdenmukaistetut standardit

Lakien, asetusten ja direktiivien lisäksi suunnittelun pohjana on hyvä käyttää standardeja, kuten ATEX-laitteiden luokituksessa käytettiin. Standardeissa linjataan yhteisiä menettelytapoja, jotka on laatinut jokin tunnustettu organisaatio. Suomessa standardisoimistoimintaa ohjaa ja koordinoi Suomen Standardisoi-misliitto SFS ry (Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa n.d.). Yhdenmukaistetussa standardia voidaan käyttää sitä koskevien lakien ja asetusten soveltamiseksi. Mikäli painelaite on suunniteltu sitä koskevan yhdenmukaistetun standardin mukaisesti, sen katsotaan täyttävän sitä koskevat olen-naiset turvallisuusvaatimukset (Painelaitelaki 1144/2016, 15 §). Standardien nou-dattaminen ei ole pakollista toisin kuin lakien ja asetusten. Niiden noudattaminen on kuitenkin suositeltavaa, sillä standardit ovat usein direktiivejä ja lakeja yksi-tyiskohtaisempia ja helpottavat laitteiden suunnittelua.

Testipenkin suunnittelun apuna käytetyt standardit liittyvät räjähdysvaarallisten tilojen luokitteluun, metallisten teollisuusputkien ja painelaitteiden standardeihin. Tämän lisäksi työssä on käytetty apuna SFS-käsikirjaa 59, jossa on koostettu räjähdysvaarallisten tilojen luokitteluun koskevia standardeja ja käytäntöjä. Työhön vaikuttavat merkittävimmät standardit on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Käytetyt standardit

Standardi	Nimi
SFS-EN 764	Painelaitteet
SFS-EN 13480	Metalliset teollisuusputkistot
SFS-EN 60079	Räjähdysvaaralliset tilat
PSK 2401	Putkiston virtausnopeudet

4 MEKAANINEN SUUNNITTELU/TESTIPENKIN SUUNNITTELU

4.1 Vaatimuslista

Vanhaan testipenkkiin sekä lainsäädäntöön tutustumisen jälkeen kartoitettiin mitä laitteita testipenkissä testataan, mitä testejä niille tehdään ja mitä ominaisuuksia testipenkillä tulee olla. Laitteiden testit vaativat eri paineita ja virtausnopeuksia sekä mahdollisesti sähköjännitettä tai -virtaa. Testipenkissä tehtävät testit, ja niissä vaaditut arvot selvitettiin asiantuntijoilta, asentajilta ja huolto-ohjeista. Ohjeet ja testattavien laitteiden nimet ovat salassa pidettävää materiaalia.

Taulukossa 9 on esitetty sähköjärjestelmän vaatimat arvot. Arvot on otettu ylös tulevaa sähköjärjestelmän suunnittelua varten. Taulukosta nähdään, että syöttöjännitettä tulee pystyä säätää välillä 8–50 VDC, syöttövirtaa 0–200 mA modulointiamplitudilla 250–300 kHz ja virtaa tulee pystyä mittaamaan 8,5 A asti.

TAULUKKO 9. Sähköjärjestelmän vaatimat arvot

Testi	Testin vaatimat arvot
1	Syöttöjännite: 50 VDC
2	Syöttöjännite: 12–22 VDC
3	Syöttövirta: 0–200 mA Taajuus: 250–300 kHz
4	Syöttövirta: 70–110 mA Taajuus: 250–300 kHz
5	Syöttöjännite: 24 VDC
6	Syöttöjännite: 45 VDC
7	Syöttöjännite: 20 VDC
8	Syöttöjännite: 18 VDC Mittava virta: < 8,5 A
9	Syöttöjännite: 27 VDC Mitattava virta: ≤ 1,3 A
10	Syöttöjännite: 8 VDC
11	Syöttöjännite: 22 VDC

Taulukossa 10 on esitetty polttoainejärjestelmän vaatimia arvoja. Syöttövirtaus jakautuu kahteen paluuvirtaukseen testeissä 12 ja 13, jonka vuoksi ne on merkitty taulukkoon erikseen. Testin 14 laitteessa on kahdeksan ulostuloa. Yksittäisten ulostulojen tilavuusvirta tulee mitata ja tarkastaa, että kokonaisvirtaus on sallituissa rajoissa. Testeissä 15 ja 16 mitataan virtausta määrättyllä syöttö- ja paluupaineella. Virtauksen yksikkönä käytetään litraa per tunti (LPH) ja paineen yksikkönä baaria (bar)

Taulukko 10. Polttoainejärjestelmän vaatimat arvot, osa 1

Testi	Testin vaatimat arvot
12	Syöttöpaine: 4 bar Paluupaine: 1,5 bar Syöttövirtaus: 17,4–19,2 LPH Paluuvirtaus 1: 5,16–5,88 LPH Paluuvirtaus 2: 11,52–14,04 LPH
13	Syöttöpaine: 5 bar Paluupaine: 2,5 bar Syöttövirtaus: 17,4–19,2 LPH Paluuvirtaus 1: 9,24–10,2 LPH Paluuvirtaus 2: 7,2–9,96 LPH
14	Paluupaine: 1,5 bar Syöttövirtaus: 150 LPH Paluuvirtaus: 5,13–6,13 LPH (8 ulostuloa, kokonaisvirtaus 41–49 LPH)
15	Syöttöpaine: 9 bar Paluupaine: 1 bar Syöttövirtaus: 145–155 LPH
16	Syöttöpaine: 9 bar Paluupaine: 8 bar Syöttövirtaus: 145–155 LPH

Taulukossa 11 on jatkettu polttoainejärjestelmän vaatimia arvoja. Testeissä 17 ja 18 tulee mitata virtausta taulukkoon merkityllä paine-erolla. Laitteen venttiiliä suljetaan ja avataan säätämällä syöttövirtaa. Hystereesin tulee olla alle 4 LPH samalla sähkövirralla testissä 18. Testeissä 19–23 säädetään syöttövirtaus ja tar-

kastellaan syöttö- ja paluupaineen paine-eroa. Testissä 24 säädetään syöttövirtaus ja tarkastellaan syöttöpainetta. Testeissä 25–31 testipenkillä säädetään ai-noastaan syöttöpaine.

TAULUKKO 11. Polttoainejärjestelmän vaatimat arvot, osa 2

Testi	Testin vaatimat arvot
17	Syöttöpaine: 5 bar Paluupaine: 1 bar (Syöttö- ja paluupaineen paine-ero $4 \pm 0,05$ bar) Syöttövirtaus: 20–270 LPH
18	Syöttöpaine: 7 bar Paluupaine: 1 bar (Syöttö- ja paluupaineen paine-ero $6 \pm 0,05$ bar) Syöttövirtauksen hystereesi: ≤ 4 LPH
19	Syöttövirtaus: 100 LPH Syöttö- ja paluupaineen paine-ero: $\leq 0,7$ bar
20	Syöttövirtaus: 150 LPH Syöttö- ja paluupaineen paine-ero: $\leq 0,4$ bar
21	Syöttövirtaus: 150 LPH Syöttö- ja paluupaineen paine-ero: $\leq 0,1$ bar
22	Syöttövirtaus: 100 LPH Syöttö- ja paluupaineen paine-ero: $\leq 0,05$ bar
23	Syöttövirtaus: 100 LPH Syöttö- ja paluupaineen paine-ero: $\leq 0,1$ bar
24	Syöttövirtaus: 100 LPH Syöttöpaine: 0,3–0,5 bar
25	Syöttöpaine: 5 bar
26	Syöttöpaine: 10 bar
27	Syöttöpaine: 0,5 bar
28	Syöttöpaine: 3 bar
29	Syöttöpaine: 0,1–0,5 bar
30	Syöttöpaine 8 bar
31	Syöttöpaine: 0,3 bar

Taulukossa 12 jatketaan polttoainejärjestelmällä tehtäviä testejä. Mikäli syöttöpaine on taulukossa 0 bar, se tarkoittaa, että syöttöputkiston ohivirtauslinjan venttiilin on oltava kooltaan tarpeeksi suuri, jotta sen avulla paine voidaan säätää

syöttöputkistossa riittävän pieneksi. Näissä testeissä on käytössä toinen ulkoinen pumppu, joka imee nestettä syöttöputkistosta. Testeissä 33–38 tarkastellaan syöttövirtausta määrättyllä syöttö ja paluupaineella.

TAULUKKO 12. Polttoainejärjestelmän vaatimat arvot, osa 3

Testi	Testin vaatimat arvot
32	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä)
33	Syöttöpaine: 0,3 bar Paluupaine: 7 bar Syöttövirtaus: 150 LPH
34	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 0,5 bar Syöttövirtaus: ≥ 155 LPH
35	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Lähtöpaine: 9 bar Syöttövirtaus: ≥ 155 LPH
36	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 0,5 bar Syöttövirtaus: ≤ 300 LPH
37	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 9 bar Syöttövirtaus: ≤ 300 LPH
38	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 9 bar Syöttövirtaus: 155–165 LPH

Polttoainejärjestelmässä tehtävissä testeissä suurin käytettävä syöttöpaine on 10 bar ja pienin 0 bar. Suurin käytettävä paluupaine on 8 bar ja pienin 1 bar. Testipenkillä mitataan myös syöttöpaineen ja paluupaineen välistä paine-eroa. Suurin syöttövirtaus on 300 LPH ja pienin 17,4 LPH. Suurin mitattava on 14,04 ja pienin 5,13 LPH.

Taulukossa 13 on esitetty öljyjärjestelmän vaatimat arvot. testeissä 39–42 säädetään syöttöpaine. Testissä 43 säädetään laitteeseen johdettava paine ja syöttövirtaus. Testissä 44 tarkastellaan syöttö- ja paluupaineen paine-eroa annetulla

virtauksella. Testeissä 45–50 käytetään erillistä pumppua ja mitataan syöttövir-
tausta. Öljyjärjestelmässä suurin syöttöpaine on 2 bar ja pienin 0 bar. Suurin mi-
tattava paluupaine 2 bar ja pienin, 1,1 bar. Suurin käytetty syöttöpaine on 52 LPH
ja pienin 27 LPH.

TAULUKKO 13. Öljyjärjestelmän vaatimat arvot

Testi	Testin vaatimat arvot
39	Syöttöpaine: 1 bar
40	Syöttöpaine 1,1 bar
41	Syöttöpaine: 0,3 bar
42	Syöttöpaine 2 bar
43	Syöttöpaine: 1 bar Syöttövirtaus: 30 LPH
44	Syöttövirtaus: 29–31 LPH Syöttö- ja paluupaineen paine-ero: $\leq 0,075$ bar
45	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä)
46	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 0,5 bar Syöttövirtaus: 35–42 LPH
47	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 2,0 bar Syöttövirtaus: 40–52 LPH
48	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: $\geq 1,1$ bar Syöttövirtaus: 27–33 LPH
49	Syöttöpaine: 0 bar (Pumppu päällä) Paluupaine: 1,5 bar Syöttövirtaus: 30–35 LPH
50	Syöttöpaine: 0,3 bar Paluupaine: 1,5 bar Syöttövirtaus: 30 LPH

Taulukossa 14 on esitetty paineilmajärjestelmän vaatimat arvot. Paineen yksikönä käytetään millibaaria (mbar). Kaikissa testeissä säädetään ainoastaan syöttöpaine. Testissä 55 tarvitaan -420 mbar alipainetta verrattuna ympäröivään ilmanpaineeseen, eli 580 mbar absoluuttista painetta. Samassa testissä tarkastellaan koskettimia, jotka kytkeytyvät paineen laskiessa ja noustessa. Näiden koskettimien kytkeytyessä tarkastellaan, että hystereesi pysyy taulukossa mainitun arvon sisällä. Testissä 61 tulee käyttää kahta syöttöpainetta yhtäaikaista. Paineilmajärjestelmässä suurin käytetty syöttöpaine on 3000 mbar ja pienin 20 mbar.

TAULUKKO 14. Paineilmajärjestelmän vaatimat arvot

Testi	Testin vaatimat arvot
51	Syöttöpaine: 350 ± 50 bar
52	Syöttöpaine: 2000 mbar
53	Syöttöpaine: 500 mbar
54	Syöttöpaine: 100–400 mbar
55	Syöttöpaine: -420 ± 20 mbar (580 ± 20 mbar abs.) Syöttöpaine hystereesi: ≤ 50 mbar
56	Syöttöpaine 100 mbar
57	Syöttöpaine 1000–1700 mbar
58	Syöttöpaine 1600 ± 100 bar
59	Syöttöpaine: 200 mbar
60	Syöttöpaine: 20 mbar
61	Syöttöpaine 1: 150 mbar Syöttöpaine 2: 150–260 mbar
62	Syöttöpaine 300 mbar
63	Syöttöpaine 3000 mbar

4.2 Alustavat järjestelmäkaaviot

Kun testipenkin toimintaan ja sen vaatimiin ominaisuuksiin on tutustuttu, voidaan tehdä alustava järjestelmäkaavio. Uuden testipenkin öljy- ja paineilmajärjestelmä vastaavat pitkälti vanhan testipenkin järjestelmiä. Polttoainejärjestelmään on tehty enemmän muutoksia.

Vanhassa testipenkissä olleiden polttoainejärjestelmän solenoidiventtiilien katsottiin heikentävän testipenkin luotettavuutta. Tästä johtuen uusi testipenkki suunnitellaan ilman niitä. Rotametrit vaihdetaan sähköisiin virtausantureihin. Painemittarit vaihdetaan sähköisiin painelähettämiin perinteisistä viisaripainemittareista. Syöttöputkiston lopussa on viisaripainemittari, jolla voidaan nähdä järjestelmän paine myös sähköjen katketessa. Virtaus- ja paineantureiden arvoja luetaan paneelimitareista.

4.2.1 Alustava polttoainejärjestelmä

Uuden testipenkin polttoainejärjestelmän syöttöputkiston alkuosa on samanlainen kuin vanhan testipenkin. Nestettä pumpataan säiliöstä pumppua pyörittävän moottorin M1 avulla. Pumpun jälkeen putkistosta haarautuu paluuputkisto, jossa on ylipaineventtiili. Ylipaineventtiili avautuu paineen noustessa sille säädetyin rajan yli ja suojaa näin järjestelmää. Tämän jälkeen on polttoainejärjestelmän suodatin, jolla pidetään järjestelmän neste puhtana. Suodattimen jälkeen on suuntaventtiili estää nesteen virtauksen väärään suuntaan.

Syöttöpaineen säätö tapahtuu syöttöputkiston ohivirtauslinjassa olevan kuristusventtiilin avulla. Kuristusventtiilin asettamisella syöttöputkiston ohivirtauslinjaan virtauksesta saadaan tasaisempaa, kuin kuristusventtiilin sijoittamisella suoraan syöttöputkiston ulostuloon. Kuristusventtiilin jälkeen on sijoitettu lämmönvaihdin, joka jäädyttää nestettä. Polttoainejärjestelmässä käytettävä JET A-1 lentopetroli on syttyvää, joten sen jäädyttäminen olennaista. JET A-1 lentopetrolin leimauspiste on 38°C (Käyttöturvallisuustiedote Lentopetroli JET A-1, 2022). Jäähdysty järjestelmää käsitellään myöhemmin tarkemmin. Syöttöputkiston lopussa on

virtausanturi Q1, jolla mitataan syöttövirtausta. Järjestelmän syöttöpaine nähdään virtausanturin viereen kytketystä painemittarista. Syöttöputkiston alussa on sulkuventtiili, joka voidaan sulkea huoltojen ajaksi. Syöttöputkiston ulostulo on merkitty kyltillä "Polttoaineen ulostulo".

Paluuputkistoja on polttoainejärjestelmässä kolme kappaletta. Ensimmäisessä paluuputkistossa on ainoastaan kuristusventtiili, jolla voidaan säätää laitteen paluupainetta ja virtausta. Sitä on merkitty kyltillä "PA Paluuvirtaus 1". Toisessa paluuputkistossa on virtausanturi Q2, jolla mitataan paluuvirtausta. Tämä putkisto on merkitty kyltillä "PA Paluuvirtaus 2". Kolmannessa paluuputkistossa on virtausanturi Q3 ja kuristusventtiili. Sitä merkitään kyltillä "PA Paluuvirtaus 3".

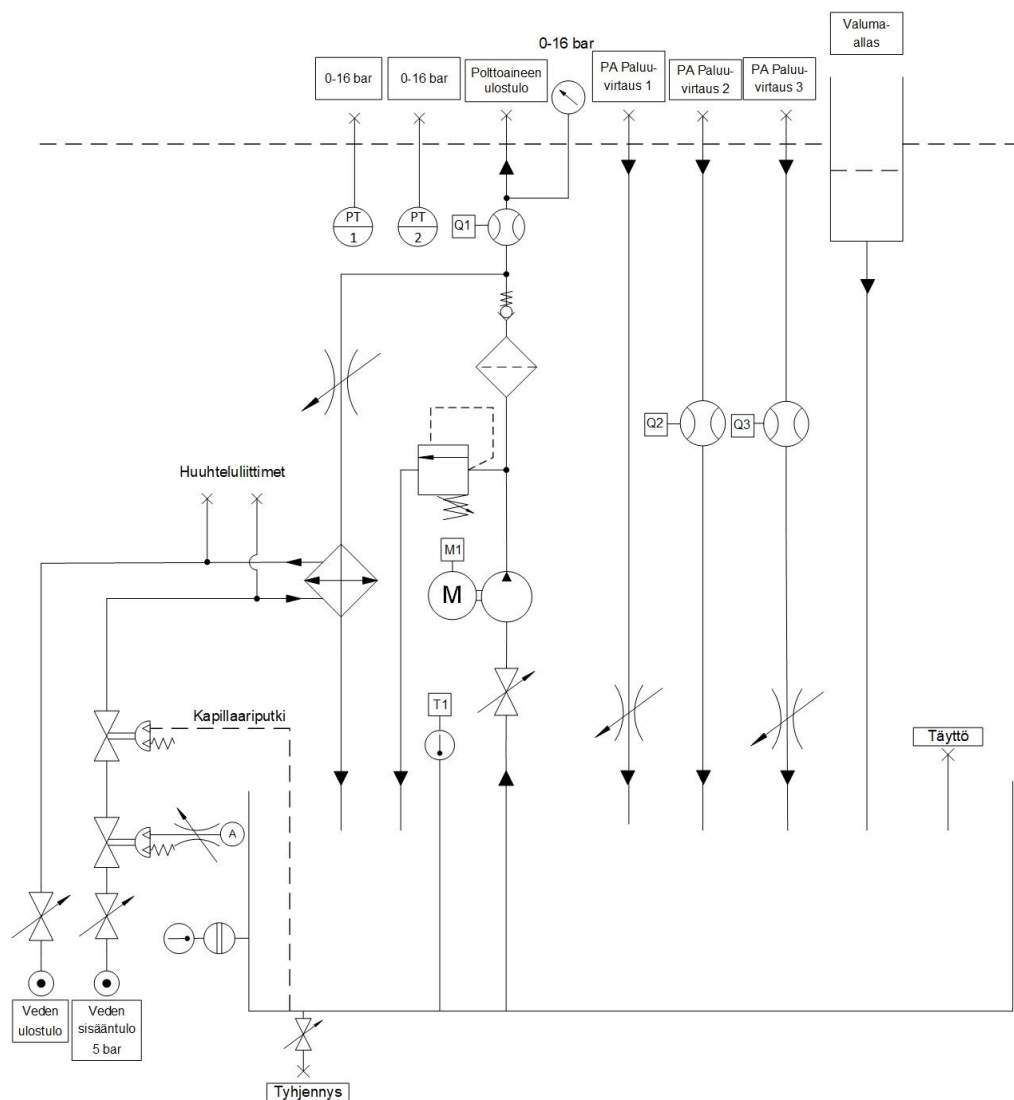
Paluuvirtauskanavia on kolme kappaletta, koska taulukossa 10 mainituissa testeissä 12 ja 13 vaaditaan kahta paluuvirtauksen mittausta. Paluuvirtaus on kuitenkin hyvin pieni näissä testeissä, suurimmillaan 14,04 LPH. Verrattuna esimerkiksi taulukon 12 testeihin 36 ja 37, joissa syöttövirtaus, joka johdetaan paluuputkistoon voi olla 300 LPH. Arvellaan, että virtausanturit ovat niin pieniä, että ne joko hajoaisivat suuresta virtausnopeudesta tai kuristaisivat virtausta, joka vaikuttaisi testituloksiin. Tämän vuoksi kolmas paluulinja, jossa on ainoastaan kuristusventtiili, on tarpeellinen. Kaikki paluuputkistot johtuvat säiliöön. Testipenkin pöydälle valuneet nesteet valuvat kahteen osaan jaettuun valuma-altaaseen, josta nesteet valuvat takaisin polttoainesäiliöön.

Paineanturit PT1 ja PT2 eivät ole suoraan kiinni putkistossa, vaan niiden liittimet sijoitetaan sopivaan kohtaan testipenkkiä, jossa ne ovat helposti saatavilla. Testeissä laitteisiin liitettäviin letkuihin tehdään liittimet, joista paineanturit voidaan yhdistää testattavaan laitteeseen. Painelähettimien mitta-alueeksi on alustavasti valittu 0–16 bar.

Säiliöön on liitetty lämpötila-anturi T1, joka valvoo nesteen lämpötilaa säiliössä. Lämpötila-anturilta saatava lämpötilalukema näytetään käyttäjälle paneelimittareissa. Tämän lisäksi säiliössä on mittalasi, josta voidaan tarkastaa visuaalisesti säiliön pinnankorkeus ja lämpötila. Säiliössä on myös erilliset täyttö- sekä tyhjennysliittimet.

Jäähdytysjärjestelmän vesi tulee järvidesipumppaamosta. Jäähdytysveden ilma/jousi toimilaitte avaa sulkuventtiilin, kun testipenkki kytketään päälle. Toimilaitteen jälkeen oleva termostaattiventtiili säätelee lämmönvaihtimelle menevän jäähdytysveden määrää riippuen polttoainesäiliössä olevan lentopetrolin lämpötilasta. Termostaattiventtiili seuraa polttoainesäiliön lämpötilaa sinne sijoitetun termostaattiventtiin kapillaariputken avulla. Jäähdytysjärjestelmässä on huuhteluliittimet lämmönvaihtimen puhdistamiseksi. Putkiston alussa ja lopussa on sulkuventtiilit, jotka voidaan sulkea testipenkin huollon ajaksi.

Kuviossa 4 on esitetty polttoainejärjestelmän ja sen jäähdytysjärjestelmän alustava hydraulikkakaavio. Kaavio on piirretty Microsoft Visio -ohjelmalla. Lopullista kaaviota muutetaan tarvittaessa komponenttien mitoituksen tai parannuskohteiden havaitsemisen jälkeen.

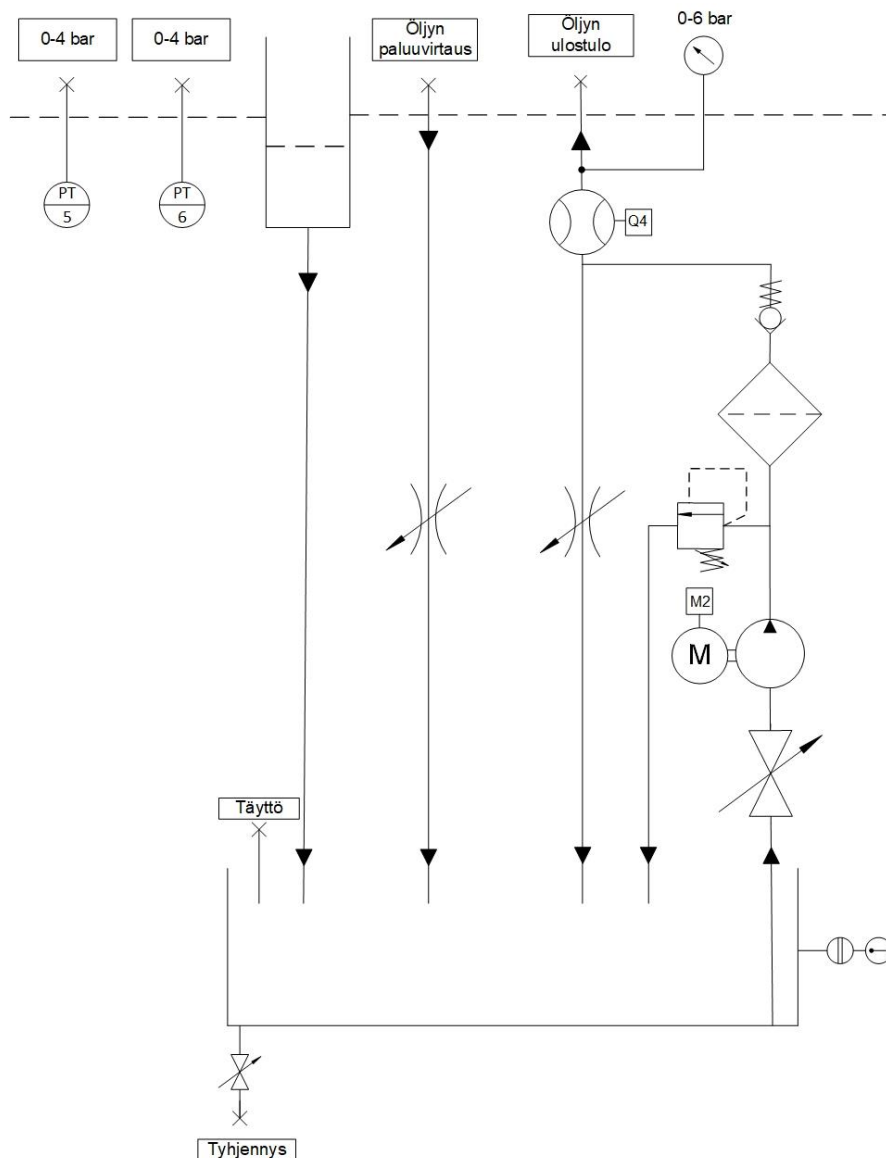


KUVIO 4. Polttoainejärjestelmän alustava hydraulikkakaavio

4.2.2 Alustava öljyjärjestelmä

Öljyjärjestelmässä olevaa moottoria merkitään kirjaimella M2. Öljyjärjestelmän virtausta tarkastellaan syöttöputkiston lopussa olevalla virtausanturilla Q4. Järjestelmän syöttöpaine nähdään virtausanturin viereen kytketystä painemittarista. Painelähettimet on merkitty kirjaimilla PT5 ja PT6 ja niiden mitta-alueeksi on valittu alustavasti 0–4 bar.

Paluuputkistoja on yksi kappale ja siihen on sijoitettu kuristusventtiili virtauksen ja paineen säätöä varten. Testipenkin pöydälle valuneet nesteet valuvat kahteen osaan jaettuun valuma-altaaseen, josta nesteet valuvat takaisin öljysäiliöön. Kuviossa 5 on esitetty öljyjärjestelmän alustava hydraulikkakaavio.



KUVIO 5. Öljyjärjestelmän alustava hydraulikkakaavio

4.2.3 Alustava paineilmajärjestelmä

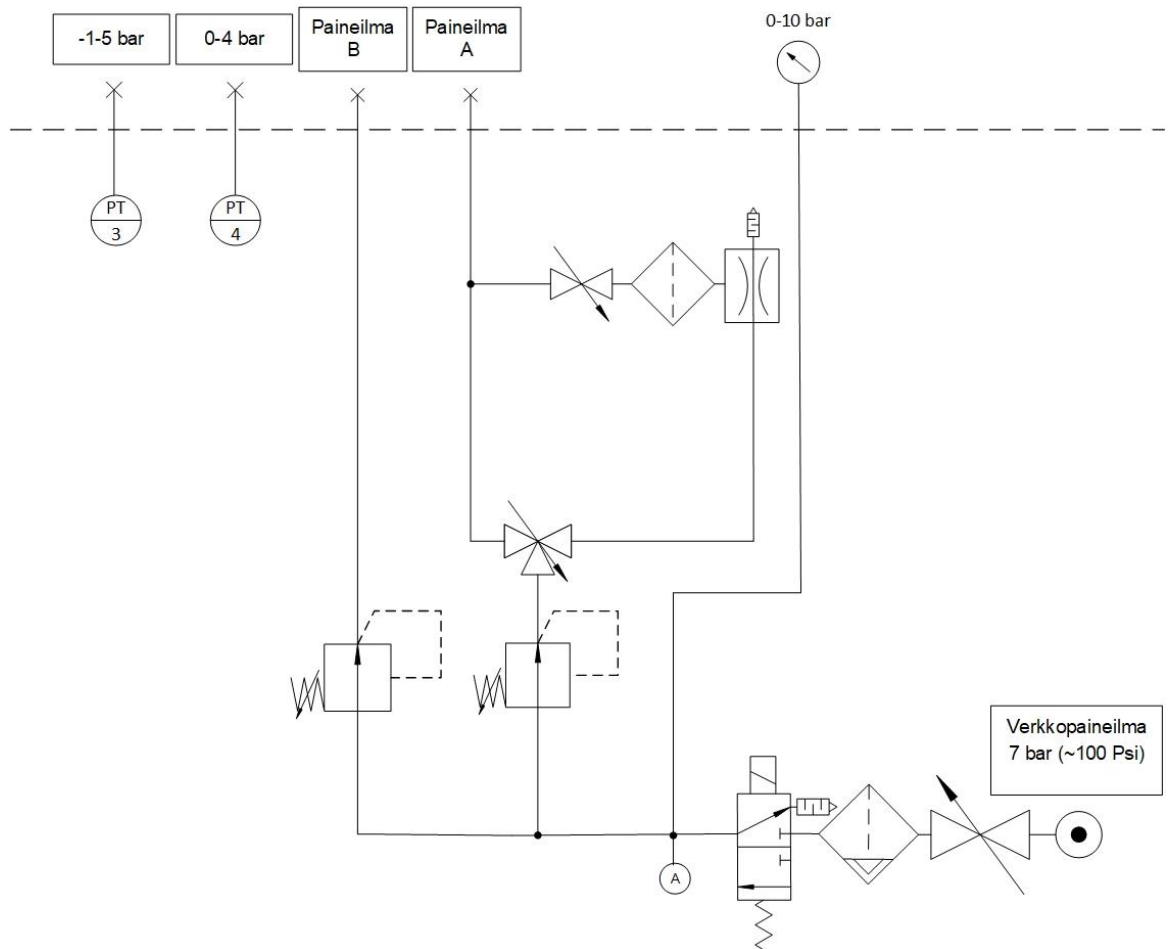
Paineilmajärjestelmä on kokoonpanoltaan samanlainen kuin vanhassa testipenkissä. Paineilmajärjestelmään syötetään verkkopaineilmasta 7 bar paine. Paineilmajärjestelmässä on suodatin, jolla testattavalle laitteelle johdettava paineilma puhdistetaan. Tämän jälkeen on 3/2 solenoidiventtiili, joka kytkeytyy ja avaa paineilman järjestelmään, kun testipenkin virtakytkin kytketään päälle. Paineilma johdetaan jäähdytysveden ilma/jousi toimilaitteelle, joka avaa siihen kytketyn sulkuventtiilin, kun järjestelmä paineistuu. Paineilmajärjestelmän viisaripainemittarille saadaan painelukema solenoidiventtiilin avautuessa. Painemittarin mitta-alueeksi on valittu alustavasti 0–10 bar.

Järjestelmässä on kaksi paineilman ulostuloa. Ensimmäisessä ulostulolinjassa on paineenalennusventtiili, jolla verkkopaine alennetaan haluttuun paineeseen. Paineenalennusventtiilin jälkeen on käsin ohjattu 3-tieventtiili, jolla paine ohjataan joko paineilman ulosottoon tai alipaine-ejektorille. Alipaine-ejektorin avulla ulostulolinjasta saadaan alipainetta taulukon 14 testiin 55. Alipaine-ejektoriin liitetty äänenvaimennin, joka vaimentaa ulos purkautuvan paineilman ääntä. Alipaine-ejektorin jälkeen on alipainesuodatin, joka puhdistaa alipaine-ejektorin imemää ilmaa. Alipaine-ejektorin haarassa on käsin ohjattava sulkuventtiili, joka suljetaan, mikäli alipainetta ei käytetä. Tätä linjaa merkitään kyltillä ”Paineilma A”. Toisessa ulostulolinjassa on ainoastaan paineenalennusventtiili, jolla säädetään toisen linjaston painetta. Tätä linjaa merkitään kyltillä ”Paineilma B”. Paineilmalinjoja tarvitaan kaksi testin 61 vuoksi.

Järjestelmässä on kaksi paineanturia, joiden liittimet on kytketty polttoaine- ja öljyjärjestelmän tavoin sopivaan kohtaan testipöytää, missä ne ovat helposti saatavilla. Painelähtimiä merkitään kirjaimilla PT3 ja PT4. PT3 painelähtimen mitta-alueeksi on valittu alustavasti -1–5 bar ja PT4 painelähtimen mitta-alueeksi 0–4 bar.

Paineilmajärjestelmässä oleva paineistus poistuu, kun testipenkin sähköt kytketään pois. Tällöin solenoidiventtiili sulkee verkkopaineilman syötön paineilmajärjestelmään ja järjestelmässä oleva paineilma poistuu solenoidiventtiilissä olevan äänenvaimentimen kautta. Ennen paineilmasuodatinta ja solenoidiventtiiliä on

sulkuventtiili, joka voidaan sulkea järjestelmän huoltojen ajaksi. Paineilmajärjestelmän alustava kaavio on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Paineilmajärjestelmän alustava pneumatiikkakaavio

4.3 Komponenttien mitoitus

Alustavien järjestelmäkaavioiden ja vaatimuslistan avulla voidaan mitoittaa järjestelmäkaavioiden valitut komponentit. Mitoitukset tehdään yleisesti käytössä olevien kaavojen avulla. Komponenttien valmistajien kaavoihin voidaan perehtyä komponenttien tarkemman valitsemisen jälkeen.

Suurin osa komponenteista ei vaadi mitoitusta, vaan ne voidaan valita suoraan niiltä vaadittavien ominaisuuksien perusteella. Esimerkiksi paineenalennusventtiileiden datalehdistä voidaan katsoa kuinka suuri tai pieni paine niillä voidaan säätää ja kuinka suuren syöttöpaineen paineenalennusventtiili kestää. Mitoitusta

vaativat komponentit ovat pumpput, moottorit, putkisto, kuristusventtiilit ja lämmönvaihdin.

4.3.1 Pumput ja moottorit

Komponenttien mitoitus aloitetaan pumppujen ja moottorien mitoituksella. Polttoaine- ja öljyjärjestelmässä käytetyt paineet ja virtausnopeudet eivät ole suuruudeltaan kovinkaan suuria, eikä järjestelmältä vaaditan pumppujen ja moottorien puolesta erityisiä ominaisuuksia. Pumppujen ja moottorien mitoitus voidaan aloittaa, kun tiedetään järjestelmän vaadittu tilavuusvirta, sekä paine. Näiden arvojen lisäksi tulee valita moottorin pyörimisnopeus, sekä hyötysuhde. Pumpulta vaadittu kierrostilavuus voidaan laskea kaavalla 1 (Keinänen & Kärkkäinen 2000, s. 273)

$$Q_{vk} = \frac{Q_p}{n \cdot \eta_{vol}} \quad (1)$$

Kaavassa kierrostilavuus on Q_{vk} , Q_p vaadittu tilavuusvirta, n moottorin pyörimisnopeus ja η_{vol} volumetrinen hyötysuhde. Vaadittavaa kierrostilavuutta tarkastellaan eri moottorin pyörimisnopeuksilla. Volumetriseksi hyötysuhteeksi arvioidaan 0,9.

Pumpun tilavuusvirran laskemisen jälkeen voidaan laskea pumpun tarvitseman moottorin teho. Tätä ennen valitaan kuitenkin riittävän kokoinen pumppu, jonka tuotto on vähintäänkin yhtä paljon, kuin lasketun pumpun tuotto. Pumppujen kierrostilavuudet on standardoitu standardissa ISO 3662. Tämän lisäksi valitaan moottori ja asetetaan pyörimisnopeudeksi pumpun todellinen pyörimisnopeus. Moottorin teho lasketaan kaavalla 2 (Keinänen & Kärkkäinen 2000, s. 274).

$$P = \frac{Q_{p2} \cdot p}{\eta} \quad (2)$$

Kaavassa pumpun vaatima moottorin teho on P , Q_{p2} on valitulla pumpulla ja moottorin pyörimisnopeudella saatu tilavuusvirta, p järjestelmän maksimipaine ja

η kokonaishyötysuhde. Kokonaishyötysuhteeksi arvioidaan 0,8. Järjestelmän maksimipaineeksi valitaan jokin SFS-EN 1333 standardin mukaisista nimellispaineista. Nimellispaineesta käytetään käsitettä PN ja sillä ilmoitetaan kuinka suurta painetta kyseinen laite kestä. PN-arvoja ovat muun muassa PN 2,5, PN 6, PN 10, PN 16 ja PN 25 (Björk, Hautala, Huhtala, Kivioja, Kleimola, Lavi, Martikka, Miettien, Ranta, Rinkinen & Salonen 2014, s. 420). Yksikkönä käytetään baaria.

Lasketaan polttoainejärjestelmän pumpulta vaadittu kierrostitilavuus kaavalla 1. Polttoainejärjestelmän suurin vaadittu tilavuusvirta on 300 LPH. Tarkastellaan pumpulta vaadittua kierrostitilavuutta moottorin pyörimisnopeuksilla 1000, 1500 ja 3000 RPM. Vaaditun tilavuusvirran yksikkö muutetaan cm^3/s kertoimen avulla ja pyörimisnopeudet esitetään muodossa kierrosta/sekunti, r/s.

$$Q_{vk_PA_1000} = \frac{300 \cdot 0,2778 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{1000 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9} = 5,56 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \quad (3)$$

$$Q_{vk_PA_1500} = \frac{300 \cdot 0,2778 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{1500 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9} = 3,70 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \quad (4)$$

$$Q_{vk_PA_3000} = \frac{300 \cdot 0,2778 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{3000 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9} = 1,85 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \quad (5)$$

Valitaan pumpun koot standardista ISO 3662. Koon on oltava vähintäänkin yhtä suuri, kuin laskettu kierrostitilavuus. Laskuissa tehtyjen olettamuksien vuoksi virheet ovat mahdollisia. Valitaan 1000 RPM pyörimisnopeuden pumpulle kierrostitilavuus $8 \text{ cm}^3/\text{r}$, 1500 RPM pyörimisnopeuden pumpulle $5 \text{ cm}^3/\text{r}$ ja 3000 RPM pyörimisnopeuden pumpulle $2,5 \text{ cm}^3/\text{r}$. Tyypillinen todellinen nopeus 1000 RPM moottorille on 960 RPM, 1500 RPM moottorille 1450 RPM ja 3000 RPM moottorille 2900 RPM. Pumpun ja moottorin tuottama tilavuusvirta saadaan laskettua muuttamalla kaavaa 1.

$$Q_{vk} = \frac{Q_p}{n \cdot \eta_{vol}} \rightarrow Q_p = Q_{vk} \cdot n \cdot \eta_{vol} \quad (6)$$

Asetetaan yllä olevat arvot muutettuun kaavaan 6. Lasketaan pumpun ja moottorin tuottamat tilavuusvirrat eri kierrostilavuuksilla ja pyörimisnopeudella. Tulos esitetään alla kuutiosenttimetriä per sekunti -muodossa sekä litraa per tunti -muodossa.

$$Q_{p_{PA_{1000}}} = 8 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot \frac{960 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9 = 115,20 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 414,69 \text{ LPH} \quad (7)$$

$$Q_{p_{PA_{1500}}} = 5 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot \frac{1450 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9 = 108,8 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 391,47 \text{ LPH} \quad (8)$$

$$Q_{p_{PA_{3000}}} = 2,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot \frac{2900 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9 = 108,8 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 391,47 \text{ LPH} \quad (9)$$

Suurin polttoainejärjestelmän testeissä käytetty paine on 10 bar. PN 10 on liian lähellä vaadittua maksimipainetta, joten valitaan tästä seuraava maksimipaine, eli PN 16. Valitsemalla suurempi maksimipaine varmistetaan järjestelmän toimivuus. Pumpujen moottoreilta vaatima teho lasketaan kaavalla 2 käyttämällä yllä laskettuja pumpun ja moottorin avulla tuotettua tilavuusvirtaa, valittua maksimipainetta sekä kokonaishyötysuhdetta. Moottoreilta vaadittavaksi tehoksi saadaan siis

$$P_{PA_{1000}} = \frac{115,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 16 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{0,8 \cdot 10^3} = 230,40 \text{ W} \quad (10)$$

$$P_{PA_{1500}} = \frac{108,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 16 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{0,8 \cdot 10^3} = 217,50 \text{ W} \quad (11)$$

$$P_{PA_{3000}} = \frac{108,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 16 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{0,8 \cdot 10^3} = 217,50 \text{ W} \quad (12)$$

Öljyjärjestelmän pumpun ja moottorin mitoitus voidaan tehdä samoilla kaavoilla. Öljyjärjestelmältä suurin vaadittu tilavuusvirta on 52 LPH. Tarkastellaan pumpulta vaadittua kierrostilavuutta moottorin pyörimisnopeuksilla 1000, 1500 ja 3000.

Lasketaan öljyjärjestelmä pumpulta vaadittu kierrostilavuus eri pyörimisnopeuksilla kaavalla 1.

$$Q_{vk_öljy_1000} = \frac{52 \cdot 0,2778 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{1000 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9} = 0,96 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \quad (13)$$

$$Q_{vk_öljy_1500} = \frac{52 \cdot 0,2778 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{1500 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9} = 0,64 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \quad (14)$$

$$Q_{vk_öljy_3000} = \frac{52 \cdot 0,2778 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{3000 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9} = 0,32 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \quad (15)$$

Valitaan standardista ISO 3662 sopivat koot pumpuille. Valitaan 1000 RPM kierrosnopeuden pumpulle $1,6 \text{ cm}^3/\text{r}$, 1500 RPM kierrosnopeuden pumpulle $1,0 \text{ cm}^3/\text{r}$ ja 3000 RPM kierrosnopeuden pumpulle $0,5 \text{ cm}^3/\text{r}$. Käytetään samoja moottoreiden tyypillisiä pyörimisnopeuksia, kuin polttoainejärjestelmän mitoituksissa. Pumpun ja moottorin tuottama tilavuusvirta saadaan laskettua kaavalla 6. Volumetrisiksi hyötysuhteeksi oletetaan edelleen 0,9.

$$Q_{p_öljy_1000} = 1,6 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot \frac{960 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9 = 23,04 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 82,94 \text{ LPH} \quad (16)$$

$$Q_{p_öljy_1500} = 1,0 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot \frac{1450 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9 = 21,75 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 78,29 \text{ LPH} \quad (17)$$

$$Q_{p_öljy_3000} = 0,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{r}} \cdot \frac{2900 \text{ r}}{60 \text{ s}} \cdot 0,9 = 21,75 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 78,29 \text{ LPH} \quad (18)$$

Öljyjärjestelmän suurin käytetty paine on 2 bar. PN 2,5 oletetaan olevan liian lähellä käyttöpainetta, joten valitaan maksimipaineeksi PN 6. Lasketaan pumppujen moottoreilta vaatima teho kaavalla 2 käyttämällä yllä laskettuja pumpun ja

moottorin avulla tuotettua tilavuusvirtaa, valittua maksimipainetta sekä kokonaisyhyötysuhdetta. Kokonaisyhyötysuhteeksi oletetaan edelleen 0,8. Moottoreilta vaadittavaksi tehoksi saadaan siis

$$P_{\text{öljy}_1000} = \frac{23,04 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 6 \cdot 10^5 \text{Pa}}{0,8} = 17,28 \text{ W} \quad (19)$$

$$P_{\text{öljy}_1500} = \frac{21,75 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 6 \cdot 10^5 \text{Pa}}{0,8 \cdot 10^3} = 17,28 \text{ W} \quad (20)$$

$$P_{\text{öljy}_3000} = \frac{21,75 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 6 \cdot 10^5 \text{Pa}}{0,8 \cdot 10^3} = 16,31 \text{ W} \quad (21)$$

4.3.2 Putkisto

Polttoaine- ja öljyjärjestelmän putkiston voidaan mitoittaa, kun tiedetään järjestelmässä oleva alustava tilavuusvirta. Tämän lisäksi mitoituksessa käytetään PSK-standardissa 2401 mainittuja suositeltuja virtausnopeuksia. Polttoainejärjestelmässä käytetään palavaa nestettä, joten virtausnopeus painepuolen putkistossa on rajoitettava 1–2 m/s. Öljyjärjestelmässä käytetyn Turbonycoil 13B öljyn tiheys on 942 kg/m³, joten virtausnopeus on rajoitettava 1–2 m/s. Imupuolen virtausnopeus on 50–70 % painepuolen virtausnopeudesta. (PSK 2401 Putkiston virtausnopeudet 2009.) Imuputkiston virtausnopeudeksi saadaan tällöin molemmissa putkistoissa 0,5–1 m/s. Standardissa ei mainita paluuputkiston suositeltua virtausnopeutta. Yleisesti ottaen paluuputkiston virtausnopeudeksi kuitenkin ohjeistetaan 1–3 m/s. (Björk, Hautala, Huhtala, Kivioja, Kleimola, Lavi, Martikka, Mietien, Ranta, Rinkinen & Salonen 2014, s. 449). Tässä työssä paluuvirtauksen virtausnopeutena käytetään 1 m/s.

Molemmissa järjestelmien putkistojen mitoittamisessa käytetään samoja virtausnopeuksia. Paineputkiston virtausnopeudeksi valitaan 1 m/s, paluuputkiston vir-

tausnopeudeksi 1 m/s ja imuputkiston virtausnopeudeksi 0,5 m/s. Putkiston sisähalkaisija voidaan laskea kaavalla 22 (PSK 2401 Putkiston virtausnopeudet. 2009).

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v \cdot \pi}} \quad (22)$$

jossa Q on tilavuusvirtaus ja v virtausnopeus. Aloitetaan putkiston mitoitus polttoaineputkiston alkupäästä. Järjestelmän tuottamaksi tilavuusvirraksi valitaan suurin pumpun ja moottorin laskettu tuotto. Tämä tarkoittaa, että tilavuusvirraksi valitaan kaavassa 7 laskettu 414,69 LPH. Polttoainejärjestelmän imuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan

$$d_{PA_imu} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{414,69}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 17,13 \text{mm} \quad (23)$$

Pumpun jälkeen virtausnopeudeksi vaihdetaan 1 m/s. Syöttöpuolen paineputkisto kuristusventtiiliin asti, sekä syöttöpuolella olevan kuristusventtiiliin ja ylipaineventtiiliin jälkeinen paluuputkisto voidaan laskea samalla kaavalla. Syöttöpuolen paluuputkistot mitoitetaan siten, että koko pumpun tuotto menee sen läpi.

$$d_{PA_syöttöpaine1} = d_{PA_syöttöpaluu} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{414,69}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 12,11 \text{mm} \quad (24)$$

Tarkastelemalla taulukoita 10–12 nähdään, että syöttöpuolen paineputkiston ulostulolle, sekä laitteen jälkeen paluuputkistossa oleva tilavuusvirta on suurimmillaan 300 LPH. Putkistojen sisähalkaisijaksi saadaan siis

$$d_{PA_syöttöpaine2} = d_{PA_paluu1} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{300}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 10,30 \text{mm} \quad (25)$$

Seuraavassa paluuputkistossa suurin tilavuusvirta on taulukosta tarkasteluna 10,2 LPH. Tämän paluuputkiston sisähalkaisijaksi siis saadaan

$$d_{PA_paluu2} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{10,2}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 1,90\text{mm} \quad (26)$$

Viimeisen paluuputkiston suurin tilavuusvirta on taulukoista tarkasteltuna 14,04 LPH. Tämän paluuputkiston sisähalkaisijaksi siis saadaan

$$d_{PA_paluu3} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{14,04}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 2,23\text{mm} \quad (27)$$

Öljyputkiston mitoitetaan samalla tavoin kuin polttoaineputkisto. Öljyjärjestelmän tuottamaksi tilavuusvirraksi valitaan suurin pumpun ja moottorin laskettu tuotto. Tämä tarkoittaa, että tilavuusvirraksi valitaan kaavassa 16 laskettu 82,94 LPH. Öljyjärjestelmän imuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan

$$d_{öljy_imu} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{82,94}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 7,66\text{mm} \quad (28)$$

Pumpun jälkeen virtausnopeudeksi vaihdetaan 1 m/s. Syöttöpuolen paineputkisto kuristusventtiiliin asti sekä syöttöpuolella olevan kuristusventtiiliin ja ylipaineventtiiliin jälkeinen paluuputkisto voidaan laskea samalla kaavalla. Syöttöpuolen paluuputkistot mitoitetaan siten, että koko pumpun tuotto menee sen läpi. Putken sisähalkaisijaksi saadaan.

$$d_{öljy_syöttöpaine1} = d_{öljy_syöttöpaluu} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{82,94}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 5,42\text{mm} \quad (29)$$

Taulukosta 13 nähdään, että suurin laitteen jälkeen olevassa paluuputkistossa suurin virtaus on 52 LPH. Paluuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan kaavan 22 avulla siis

$$d_{öljy_paluu3} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{52}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} \cdot 10^{-3} = 4,29 \text{mm} \quad (30)$$

Paineilmaputkiston sisähalkaisijan mitoitus riippuu putkistossa olevien komponenttien ja järjestelmässä testattujen laitteiden vaatimasta tilavuusvirrasta. Paineilmajärjestelmässä testattavien laitteisiin ei ole määritetty tiettyä tilavuusvirtaa, joten mitoitus riippuu käytännössä alipaine-ejektoria vaatimasta tilavuusvirrasta. Paineilmaputkisto voidaan mitoittaa kaavalla 31 (Keinänen & Kärkkäinen 2000, 67)

$$d_{ilma} = \sqrt[5]{\frac{1,6 \cdot 10^{12} \cdot q_v^{1,85} \cdot l}{\Delta p \cdot p}} \quad (31)$$

jossa d_{ilma} on putkiston sisähalkaisija, q_v ilman tilavuusvirta, l putkiston pituus, Δp painehäviö ja p järjestelmässä käytetty absoluuttinen paine. Alipainejektoria vaatimaksi tilavuusvirraksi arvellaan 40 L/min, putkiston pituudeksi 5 m, putkiston painehäviöksi 0,2 bar. Järjestelmässä käytetty absoluuttinen paine on 7 bar. Paineilmaputkiston sisähalkaisijaksi siis saadaan

$$d_{ilma} = \sqrt[5]{\frac{1,6 \cdot 10^{12} \cdot \left(\frac{40}{60} \cdot 10^{-3}\right)^{1,85} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 5 \text{ m}}{0,2 \cdot 10^2 \text{ kPa} \cdot 7 \cdot 10^2 \text{ kPa}}} = 3,8 \text{mm} \quad (32)$$

4.3.3 Kuristusventtiilit

Polttoaine- ja öljyjärjestelmän kuristusventtiilit voidaan mitoittaa, kun tunnetaan niiden läpi kulkeva tilavuusvirta, käytettävän nesteen tiheys, sekä venttiilin painehäviö. Kuristusventtiilien mitoitus tapahtuu näillä tiedoilla saatavan Kv-arvon avulla. Kv-arvolla merkitään kuinka suuri tilavuusvirta 20°C vettä menee venttiilin

läpi 1 bar paine-erolla. Kv-arvo voidaan laskea alla olevalla kaavalla 33. (Fluidiikkalaskuri n.d.).

$$K_v = Q \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p} \cdot \frac{\rho}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \quad (33)$$

jossa Δp painehäviö ja ρ nesteen tiheys. Painehäviöllä tarkoitetaan venttiilin läpi olevan tulo- ja lähtöpaineen eroa. Tulopaine riippuu tässä työssä testattavasta laitteesta ja sille tehtävästä testistä. Kuristusventtiilien lähtö on jokaisessa tapauksessa paluupuolella, joten lähtöpaine on aina 0 bar. Lähtöpaineen arvo johdetaan siitä, että kuristusventtiilien jälkeen neste palaa takaisin säiliöön. Kuristusventtiileiden Kv-arvo voi olla merkitty amerikkalaisilla mittayksiköillä lasketulla arvoilla, jolloin tarvitaan muuntokaavaa. Tätä arvoa kutsutaan Cv-arvoksi. Kuristusventtiilien valinta tehdään Kv- tai Cv arvon perusteella, jonka venttiilin valmistaja on ilmoittanut. Cv-arvon muuntokaava on esitetty kaavassa 34 (Fluidiikkalaskuri n.d.).

$$C_v = 1,165 \cdot K_v \quad (34)$$

Polttoaine- ja öljyjärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiilin virtauksessa on tarpeellista tietää pumpun tuotto. Polttoaine- ja öljyjärjestelmillä tehtävien laitteisiin menevät virtausnopeudet tiedetään, joten syöttöpuolen kuristusventtiilille virtaa syöttöpumpun tuotto vähennettynä testilaitteeseen menevä virtaus. Molempien järjestelmien kuristusventtiilien mitoituksessa käytetään suurinta pumpun ja moottorin laskettua tuottoa. Kun syöttöpuolella täytyy säätää ainoastaan syöttöpaine, voidaan kuristusventtiilin läpi meneväksi tilavuusvirraksi olettaa pumpun tuottama tilavuusvirta. Kun testissä säädetään ainoastaan syöttövirtaus, oletetaan paineeksi 1 bar.

Polttoainejärjestelmässä suurin laskettu tuotto on 414,69 LPH. Polttoainejärjestelmässä käytetty neste on 95 % Jet A-1 lentopetrolia ja 5 % Nycoprotec 04 suojavaoiteluöljyä. JET A-1 lentopetrolin tiheys on 804 kg/m³ ja Nycoprotec 04 suoja-

voiteluöljyn tiheys on 872 kg/m^3 . Seoksen tiheys saadaan kertomalla nesteen tiheys sen prosenttimäärällä seoksessa. Seoksen tiheys on laskettu kaavassa 35. Seoksen tiheydeksi saadaan

$$\rho_{PA} = 0,95 \cdot 804 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 0,05 \cdot 872 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 807,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (35)$$

Mitoitetaan polttoainejärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiili kaavalla 33 ja käytetään kaavan 34 muuntokaavaa, jotta saadaan sekä SI-yksiköillä, että amerikkalaisilla yksiköllä ilmoitettu Cv-arvo. Kuristusventtiiliin mitoittamiseen vaadittavat arvot saadaan taulukoista 10–12. Lasketaan Kv- ja Cv-arvot testissä 12 annetuilla arvoilla. Testissä syöttövirtaus on 17,4–19,2 LPH ja syöttöpaine 4 bar.

$$K_{v1} = (414,69 - 17,4) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{4 \text{ bar}} \cdot \frac{807,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,1784 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 0,178 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (36)$$

$$C_{v1} = 1,165 \cdot 0,1784 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,2079 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} \approx 0,208 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (37)$$

$$K_{v2} = (414,69 - 19,2) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{4 \text{ bar}} \cdot \frac{807,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,1777 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 0,178 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (38)$$

$$C_{v2} = 1,165 \cdot 0,1777 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,2070 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} \approx 0,207 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (39)$$

Polttoainejärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiilillä säädettävien testien määrä on suuri, joten kaikkien laskujen esittämistä ei koeta tarpeellisenä. Tehtävän testin numero, laskuissa käytetyt arvot ja vastaukset ilmoitetaan alla olevissa taulukoissa. Taulukossa esitetty tilavuusvirta on venttiilin läpi menevä tilavuusvirta. Tehtävän testin numero on sama, kuin taulukoissa 10-12. Myös ylempänä lasketut vastaukset esitetään samassa taulukossa. Taulukossa 15 on esitetty polttoainejärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiilin mitoittukseen liittyvät testeissä 12–31 käytetyt arvot ja laskutulokset Kv- ja Cv-arvoina Testeissä 12, 13,

15, 16 ja 18 käytetään kahta painetta. Testissä 27 käytetään kahta virtausnopeutta.

TAULUKKO 15. Polttoainejärjestelmän syöttöputkiston venttiilin mitoitus osa 1

Testi	Q (LPH)	Δp (bar)	Kv-arvo	Cv-arvo
12	397,29	4	0,178	0,208
	395,49		0,178	0,207
13	397,29	5	0,160	0,186
	395,49		0,159	0,185
14	264,69	1	0,336	0,392
15	269,69	9	0,081	0,094
	259,69		0,078	0,091
16	269,69	9	0,081	0,094
	259,69		0,078	0,091
17	394,69	5	0,159	0,185
	144,69		0,058	0,068
18	394,69	7	0,134	0,156
	234,69		0,080	0,093
19	314,69	1	0,283	0,329
20	264,69	1	0,238	0,277
21	264,69	1	0,238	0,277
22	314,69	1	0,283	0,329
23	314,69	1	0,283	0,329
24	314,69	0,3	0,516	0,601
		0,5	0,400	0,466
25	414,69	5	0,167	0,194
26	414,69	10	0,118	0,137
27	414,69	0,5	0,527	0,614
28	414,69	3	0,215	0,251
		0,1	1,178	1,373
29	414,69	0,5	0,527	0,614
		8	0,132	0,153
30	414,69	8	0,132	0,153
31	414,69	0,3	0,680	0,793

Taulukossa 16 on esitetty polttoainejärjestelmän syöttöpuolen kuristusventtiilin mitoitukseen liittyvät testeissä 32–40 käytetyt arvot ja laskutulokset. Testissä 38 käytetään kahta eri virtausta.

TAULUKKO 16. Polttoainejärjestelmän syöttöputkiston venttiilin mitoitus osa 2

Testi	Q (LPH)	Δp (bar)	Kv-arvo	Cv-arvo
32	414,69	0,1	1,178	1,373
33	264,69	0,3	0,434	0,506
34	264,69	0,1	0,752	0,876
35	264,69	0,1	0,752	0,876
36	114,69	0,1	0,326	0,380
37	114,69	0,1	0,326	0,380
38	259,69	0,1	0,738	0,860
	249,69		0,709	0,827

Taulukoista 15 ja 16 nähdään, että pienin Kv-arvo kuristusventtiilille on 0,058 testissä 17. Suurin Kv-arvo venttiilille on 1,178 testeissä 29 ja 32.

Polttoainejärjestelmän alustavaan hydraulikkakaavioon suunniteltiin kolme paluuputkistoa. PA Paluuvirtaus 1 ja 3 putkistoissa on kuristusventtiili. Paluuputkiston kuristusventtiilit mitoitetaan samalla tavalla kaavalla 33 kuin syöttöputkiston kuristusventtiili. Taulukossa 17 on esitetty PA paluuvirtaus 3 putkistossa olevan kuristusventtiilin mitoitukseen liittyvät arvot ja tulokset. Testeissä 12 ja 13 käytetään kahta eri virtausta.

TAULUKKO 17. Polttoainejärjestelmän PA paluuvirtaus 3 putkiston venttiilin mitoitus

Testi	Q (LPH)	Δp (bar)	Kv-arvo	Cv-arvo
12	11,52	1,5	0,008	0,010
	14,04		0,010	0,012
13	7,2	2,5	0,004	0,005
	9,96		0,006	0,007

Taulukossa 18 on esitetty PA paluuvirtaus 1 putkistossa olevan kuristusventtiilin mitoitukseen käytetyt arvot ja laskutulokset. Testeissä 14–18 ja 38 käytetään kahta eri virtausta.

TAULUKKO 18. Polttoainejärjestelmän PA paluuvirtaus 1 putkiston venttiilin mitoitus

Testi	Q (LPH)	Δp (bar)	Kv-arvo	Cv-arvo
14	101	1,5	0,074	0,086
	109		0,080	0,093
15	145	1	0,130	0,152
	155		0,139	0,162
16	145	8	0,046	0,054
	155		0,049	0,057
17	20	1	0,018	0,021
	270		0,243	0,283
18	20	1	0,018	0,021
	180		0,162	0,188
19	100	1	0,090	0,105
20	150	1	0,135	0,157
21	150	1	0,135	0,156
22	100	1	0,090	0,105
23	100	1	0,090	0,015
33	150	7	0,051	0,059
34	155	0,5	0,197	0,229
35	155	9	0,046	0,054
36	300	0,5	0,381	0,444
37	300	9	0,090	0,105
38	155	9	0,046	0,054
	165		0,049	0,058

Öljyjärjestelmän alustavassa hydraulikkakaaviossa on kuristusventtiilit syöttöputkistossa, sekä paluuputkistossa. Öljyjärjestelmässä käytettävä neste on Turbonycoil 13B öljyä, jonka tiheys on 930 kg/m^3 . Kuristusventtiilien mitoitukseen käytettävät arvot saadaan taulukosta 13 ja ne mitoitetaan samalla kaavalla kuin polttoainejärjestelmän kuristusventtiilit kaavalla 33. Taulukossa 19 on esitetty öljyjärjestelmän syöttöputkistossa olevan kuristusventtiilin mitoituksessa käytettävät arvot ja tulokset Kv- ja Cv-arvoina. Testeissä 44 ja 46–49 käytetään kahta eri virtausta.

TAULUKKO 19. Öljyjärjestelmän syöttöpuolen kuristusventtiilin mitoitus

Testi	Q (LPH)	Δp (bar)	Kv-arvo	Cv-arvo
39	82,94	1	0,080	0,093
40	82,94	1,1	0,076	0,089
41	82,94	0,3	0,146	0,170
42	82,94	2	0,057	0,066
43	52,94	1	0,051	0,059
44	51,94 53,94	1	0,050 0,051	0,058 0,059
45	82,94	0,1	0,253	0,295
46	47,97 40,94	0,1	0,146 0,128	0,170 0,149
47	42,94 30,94	0,1	0,131 0,094	0,153 0,110
48	55,94 49,94	0,1	0,181 0,152	0,199 0,177
49	52,94 47,94	0,1	0,161 0,146	0,188 0,170
50	52,94	0,3	0,093	0,109

Taulukossa 20 on esitetty öljyjärjestelmän paluuputkistossa olevan kuristusventtiilin mitoitukseen käytetyt arvot ja laskutulokset. Testeissä 44–49 käytetään kahta eri tilavuusvirtaa.

TAULUKKO 20. Öljyjärjestelmän paluupuolen kuristusventtiilin mitoitus

Testi	Q (LPH)	Δp (bar)	Kv-arvo	Cv-arvo
43	30	1	0,029	0,034
44	29 31	1	0,028 0,030	0,033 0,035
46	35 42	0,5	0,048 0,057	0,056 0,067
47	40 52	2	0,027 0,035	0,032 0,041
49	27 33	1,1	0,025 0,030	0,029 0,035
50	30	1,5	0,024	0,028

Polttoaine- ja öljyjärjestelmän lisäksi jäähdytysjärjestelmän termostaattiventtiili tulee mitoittaa. Jäähdytysveden tilavuusvirta on 1450 LPH ja järjestelmän paine 5 bar. Paine termostaattiventtiin jälkeen 4 bar, joten paine-ero on 1 bar. Veden tiheys 997 kg/m^3 Termostaattiventtiin Kv- ja Cv-arvoiksi saadaan

$$K_{v_vesi} = 1450 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1,447 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 1,45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (40)$$

$$C_{v_vesi} = 1,165 \cdot 1,447 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,686 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} \approx 1,69 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (41)$$

4.3.4 Lämmönvaihdin

Testipenkin polttoainejärjestelmässä käytetään lentopetrolia, jonka leimahduspiste on 38°C (Käyttöturvallisuustiedote Lentopetroli JET A-1, 2022). SFS-käsikirjan 59 mukaan räjähdysvaarallisen tilan tilaluokitus on tehtävä, mikäli nesteen lämpötila tai sen välittömän läheisyyden lämpötila on 5°C päässä leimahduspisteestä. Testipenkin turvallisuuden takaamiseksi lentopetrolin lämpötila rajoitetaan alle 33°C. Polttoainejärjestelmässä käytettävässä seoksessa on myös suojavoiteluöljyä, mutta lämmönvaihtimen mitoituksessa käytetään lentopetrolin JET A-1 arvoja. Laskuissa käytetyt viskositeetit ovat suuntaa antavia. Mittauksista syntyvät erot otetaan huomioon lämmönvaihdinta valittaessa. Lentopetrolin jäähdytys suoritetaan levylämmönvaihtimella.

Lämmönvaihtimeen johdetaan järvivesipumppaamolta pumpattua vettä, jolla jäähdytetään polttoainejärjestelmän seosta. Järviveden lämpötila on talvisin noin 4°C. Kesäisin veden lämpötila voi olla jopa 26°C (Nokian rantojen vesinäytetulokset n.d.). Lämmönvaihdin mitoitetaan siis siten, että sillä voidaan jäähdyttää polttoainejärjestelmän seosta 26°C järvivedellä.

Lämmönvaihtimen mitoitetaan tarvittavan jäähdytyspinta-alan mukaan. Lämmönvaihtimen mitoitus voidaan tehdä kaavalla 42.

$$P = k \cdot A \cdot \nabla T \quad (42)$$

jossa P on lämpöteho, k lämmönläpäisykerroin, A jäähdytyspinta-ala ja ∇T keskimääräistä lämpötilaeroa. Lämpöteho kertoo, kuinka paljon tehoa vaaditaan, kun nesteen lämpötilaa nostetaan tai lasketaan. Lämmönläpäisykerroin kuvaa lämmönvaihtimessa olevien nesteiden ja väliaineiden lämmöneristyskykyä. (Kazi 2015, luku 7.)

$$P = Q_{jet} \cdot \rho_{jet} \cdot c_{jet} \cdot \Delta T_{jet} \quad (43)$$

Q_{jet} on lentopetrolin tilavuusvirta, ρ_{jet} lentopetrolin tiheys, c_{jet} lentopetrolin ominaislämpökapasiteetti ja ΔT_{jet} lentopetrolin lämpötilan muutos. Jäähdytettävän

nesteen lämpötilan muutos tiedetään, joten tämän jälkeen voidaan laskea lämpötehon vaikutus lämmitettävään nesteeseen kaavalla 44 (Kazi 2015, luku 7).

$$\Delta T_{vesi} = \frac{P}{Q_{vesi} \cdot \rho_{vesi} \cdot c_{vesi}} \quad (44)$$

Tämän jälkeen voidaan laskea lämmitettävän nesteen loppulämpötila. Lasku voidaan tehdä kaavalla 45.

$$T_{Lvesi} = \Delta T_{vesi} + T_{Avesi} \quad (45)$$

jossa T_{Avesi} on veden lämpötila alkutilanteessa ja T_{Lvesi} veden lämpötila lopputilanteessa. Keskimääräinen lämpötilaero saadaan laskettua kaavalla 46 (Kazi 2015, luku 7)

$$\nabla T = \frac{(T_{Ajet} - T_{Lvesi}) - (T_{Ljet} - T_{Avesi})}{\ln\left(\frac{T_{Ajet} - T_{Lvesi}}{T_{Ljet} - T_{Avesi}}\right)} \quad (46)$$

Ratkaisemalla kaavasta 42 pinta-ala A saadaan lämmönvaihtimelta vaadittava pinta-ala. Pinta-alan laskentakaava on esitetty kaavassa 47.

$$A = \frac{P}{k \cdot \nabla T} \quad (47)$$

Aloitetaan lämmönvaihtimen mitoitus laskemalla jäähdyttämiseen tarvittava lämpöteho. Järviveden lämpötilan oletetaan olevan 26°C, joten oletetaan lentopetrolin alkulämpötilan olevan 28°C ja loppulämpötilan 27°C. Suurin lämpöteho vaaditaan, kun lämmönvaihtimen läpi menevä lentopetrolin tilavuusvirta on suurimmillaan. Asetetaan tilavuusvirraksi siis polttoainepumpun tuotto 414,69 LPH. JET A-1 lentopetrolin tiheys on 804 kg/m³ ja ominaislämpökapasiteetti 2120 J/(kg·K) Lämpöteho saadaan laskettua kaavalla 43

$$P = \frac{414,69}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 804 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2120 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1 \text{ K} = 196,341 \dots \text{W} \quad (48)$$

Jäähdytysveden lämpötilan muutos saadaan laskettua kaavalla 44. Veden tilavuusvirta on 1450 LPH, tiheys 1000 kg/m^3 ja ominaislämpökapasiteetti $4186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

$$\Delta T_{\text{vesi}} = \frac{196,341 \dots \text{ W}}{\frac{1450}{3600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}} = 0,116 \dots \text{ K} \quad (49)$$

Veden alkulämpötilaksi on oletettu 26°C . Lämpötilan muutos on sama kelvineinä ja celsius-asteina. Veden lämpötila lämmönvaihtimen jälkeen saadaan laskettua kaavalla 45.

$$T_{L\text{vesi}} = 0,116 \dots ^\circ\text{C} + 26^\circ\text{C} = 26,116 \dots ^\circ\text{C} \quad (50)$$

Tämän jälkeen tiedetään sekä veden, että lentopetrolin alku- ja loppulämpötilat. Keskimääräinen lämpötilaero saadaan laskettua kaavalla 46.

$$\nabla T = \frac{(28^\circ\text{C} - 26,116 \dots ^\circ\text{C}) - (27^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{28^\circ\text{C} - 26,116 \dots ^\circ\text{C}}{27^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}}\right)} = 1,395 \dots ^\circ\text{C} \quad (51)$$

Levylämmönvaihtimien lämmönläpäisykerroin on tyypillisesti $1000\text{--}4000 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (VDI Heat Atlas 2010, s. 77). Valitaan lämmönvaihtimen lämmönläpäisykertoimeksi $1000 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ ja lasketaan kaavasta 47 lämmönvaihtimelta vaadittu pinta-ala. Keskimääräisen lämpötilaeron vastaus voidaan muuttaa kelvineiksi.

$$A = \frac{196,341 \dots \text{ W}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}^2} \cdot 1,395 \dots \text{ K}} = 0,14 \text{ m}^2 \quad (52)$$

5 TULOKSET

5.1 Komponenttien valinta

Aiemmassa kappaleessa suoritettiin komponenttien mitoitus. Komponenttien mitoitus ja vaatimuslistan avulla voidaan suorittaa komponenttien valinta. Komponenttien tulee olla mitoitus mukaisissa arvoissa testipenkin toimivuuden takaamiseksi. Komponenttien valintaan vaikuttaa myös muissa Patrian testipenkeissä käytetyt osat, mikäli niiden ominaisuudet ovat samanlaisia. Tällöin varaosien hankinta testipenkeihin on helpompaa, kun varaosat ovat samanlaisia. Testipenkin komponenttien valintaan vaikuttaa tämän lisäksi muun muassa hinta ja saatavuus.

Kaikille komponenteille ei tehdä opinnäytetyössä erikseen selitystä komponentti-valinnasta, kuten sulkuventtiileille. Sulkuventtiileiltä ei vaadita erityisiä ominaisuuksia järjestelmän toimivuuden kannalta, kunhan venttiili kestää järjestelmän paineen ja on tarpeeksi suuri. Tämänkaltaiset komponentit merkitään kuitenkin myöhemmin osaluetteloon.

Polttoainejärjestelmässä käytetään syttyvää nestettä. Syttyvä neste on lentopetrolia JET A-1. Polttoainejärjestelmän pumpussa, moottorissa virtausanturissa ja lämpötila-anturissa tulee olla riittävä ATEX-luokitus. Testipenkkiä ei käytetä tiloissa, joissa räjähdysvaara perustuu kaivoskaasuihin, joten komponenttien laiteryhmä on II. Syttyvää nestettä sisältävän säiliön sisätilan tilaluokitus on 0. Koneikkotilaan, sekä työtasolle tehdään koneellinen ilmanvaihto ja säiliön huuhottu työtasolle. Tällöin työtason tilaluokitus on 1 ja koneikkotilan tilaluokitus 2. Polttoainejärjestelmän putkiston sisäpuolen tilaluokitus on 1.

Polttoainejärjestelmän putkistossa olevien komponenttien on oltava tilaluokituksen perusteella laiteluokkaa 1 tai 2. Säiliön sisällä olevien komponenttien tulee olla laiteluokkaa 1. Polttoainejärjestelmän moottori ei ole suoraan yhteydessä putkistoon, joten se on tilaluokituksen 2 alueella. Moottori voi siis olla laiteluokkaa 1, 2 tai 3. Räjähdysvaara perustuu nesteeseen ja kaasuihin, joten laiteluokan perässä on oltava merkki G. Komponenteille tulee valita soveltuva suojarakenne

riippuen tilaluokituksesta. Soveltuva suojarakenne testipenkissä ovat luonnostaan vaarattomat rakenteet Ex ia, Ex ib ja Ex ic riippuen missä tilaluokassa laite on. Näiden lisäksi tilaluokkiin 1 ja 2 muita soveltuvia suojarakenteita ovat Ex d ja Ex e.

JET A-1 lentopetrolissa kuuluu IIA räjähdysryhmään, joten komponenteissa tulee olla merkintä IIA, IIB tai IIC. JET A-1 syttyy noin 295 °C, joten komponenteissa tulee olla T3, T4, T5 tai T6 lämpötilaluokka. Lisäksi tilaluokassa 0 tulee käyttää laitesuojaustason Ga laitteita. Tilaluokassa 1 voidaan käyttää laitesuojaustason Ga tai Gb laitteita ja tilaluokassa 2 laitesuojaustason Ga, Gb tai Gc laitteita. Komponenttien tulee lisäksi olla CE-merkittyjä. Testipenkin tilaluokitus koneikon sisällä on 2, joten koneikon sisäpuolella olevat öljyjärjestelmän ja pneumatiikkajärjestelmän komponenteilla on myös oltava riittävä ATEX-luokitus.

Testipenkin on oltava kooltaan samaa luokkaa kuin vanha testipenkki, joka on 218 cm leveä, 80 cm syvä ja 183 cm korkea. Testipenkissä on koneikkotila, instrumenttipaneeli, sekä työtaso, jossa laitteita testataan. Instrumenttipaneeli ja työtaso vievät suuren osan testipenkin tilasta, joten koneikkotilaan laitettavien komponenttien on oltava kooltaan suhteellisen pieniä.

Paineilmajärjestelmä kytketään verkkopaineilman sijaan korkeapainelinjaan, jonka paine on 100 bar. Korkeapainelinjasta saatava paineilma on puhtaampaa, kuin verkkopaineilma. Testipenkissä testattaviin laitteisiin johdetaan testipenkistä saatavaa paineilmaa, joten mikäli paineilma on likaista saattaa se vaikuttaa testien tuloksiin ja testattaviin laitteisiin negatiivisesti.

5.1.1 Pumput

Pumppujen valintaan vaikuttaa pumppujen arvioidut elinkaarikustannukset, saatavuus sekä järjestelmän kannalta olennaisten ominaisuuksien täyttäminen. Polttoainejärjestelmän pumpun valinnassa tulee kiinnittää myös huomiota järjestelmässä käytettävän seoksen viskositeettiin. Pumppujen valmistajat ovat usein ilmoittaneet pienimmän viskositeetin, mitä pumpulla voidaan pumpata. Polttoaine-

järjestelmässä käytettävän seoksen viskositeetti on noin $2,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ ja öljyjärjestelmän öljyn viskositeetti on noin $40 \text{ mm}^2/\text{s}$. Pumputta vaadittava tilavuusvirta ja paine ovat suhteellisen alhaisia. Hammaspyörä- ja siipipumput olisivat vaadittavien ominaisuuksien puolesta sopivia valintoja testipenkkiin. Hammaspyörä- ja siipipumppujen hinta on alhainen ja ne ovat kooltaan pieniä. Pumppujen tarkat pyörimisnopeudet saadaan myöhemmin moottorivalmistajan sivuilta. Alustavaksi moottorivalmistajaksi pumppujen tarkastelua varten valitaan Cemp.

Toimittajilta saatavaa pumppujen valikoimaa, sekä muissa testipenkeissä käytettyjä pumppuja tarkasteltiin ja polttoainejärjestelmässä päädyttiin Krach KF-F 6 RF2 hammasrataspumppuun. Kyseinen hammasrataspumppu on suunniteltu käytettäväksi polttoainejärjestelmissä ja siinä alhaisin sallittu nesteen viskositeetti on $1,2 \text{ mm}^2/\text{s}$. Pumpulla voidaan tuottaa 25 bar paine, mutta alle $12 \text{ mm}^2/\text{s}$ viskositeetilla paine on rajoitettava 12 bar. Polttoainejärjestelmän testeissä suurin käytettävä paine on 10 bar, joten tällä ei ole merkitystä. Pumpun kierroslavuus on $6,38 \text{ cm}^3/\text{r}$. Alustavan IE3 0,25 kW moottorivalinnan kierrosnopeus on 1405 RPM (Industrial hazardous area electric motors 2022, s. 48). Pumpun teoreettinen maksimituotto voidaan laskea kaavalla 1. Teoreettinen maksimituotto on 537 LPH. Pumpun ATEX-luokitus on Ex 2 G EEx IIC T3.

Alustavien laskujen mukaan $5 \text{ cm}^3/\text{r}$ kierroslavuuden pumppu olisi riittänyt 1500 RPM pyörimisnopeudella. Valmistajalta saatujen tietojen mukaan pumpun volumetrinen hyötysuhde 0,01 bar järjestelmäpaineella on noin 90 %. Paineen ollessa 10 bar hyötysuhde on noin 70 %. $5 \text{ cm}^3/\text{r}$ kierroslavuuden pumpulla saataisiin 70 % hyötysuhteella 293 LPH virtaus. Vaikkakin hyötysuhde pienemmillä paineilla on parempi ja pumpulla olisi mahdollista tehdä testit, koetaan pumpulta saatavien suoritusarvojen olevan liian lähellä testeissä tarvittavia arvoja. Pumpun ja järjestelmän kuluminen vähentää yhä hyötysuhdetta, joten olisi mahdollista, että pumppu olisi huonontuneen suorituskyvyn vuoksi tarpeen vaihtaa uuteen lyhyen käyttöajan jälkeen. Valitulla pumpulla 70 % hyötysuhteella tuotto on 376 LPH ja 90 % hyötysuhteella 484 LPH.

Öljyjärjestelmässä päädyttiin Krach KF 2.5 RF3 hammasrataspumppuun. Hammasrataspumppu on suunniteltu käytettäväksi $1,4\text{--}100\,000 \text{ mm}^2/\text{s}$ viskositeetin nesteille. Pumpulla voidaan tuottaa 25 bar paine. Pumpun kierroslavuus on $2,55$

cm³/r. Alustavan IE1 0,05 kW moottorivalinnan kierrosnopeus on 590 RPM (Industrial hazardous area electric motors 2022, s. 42). Teoreettinen maksimituotto voidaan laskea kaavalla 1. Teoreettinen maksimituotto on 90 LPH. Pumpun ATEX-luokitus on Ex II 3G EEx IIC T3.

Öljyjärjestelmään olisi riittänyt huomattavasti pienempikin pumppu. Samalta valmistajalta olisi ollut saatavilla myös pienempi KF 0 mallin pumppu 1 cm³/r kierrostilavuudella, mutta pumppu ei ole ATEX-luokiteltu. Valmistajalta saatujen tietojen mukaan 2 bar paineella ja 40 mm²/s viskositeetin nesteellä pumpun hyötysuhde on 98 %. Tällä hyötysuhteella pumpun tuotto on 88 LPH.

Pumput kiinnitetään moottoriin pumppuvalmistajalta saatavan laipan ja kytkimen avulla. Laipan malli on PT 160-A-063-80. Kytkimen malli on RA 18-Z25/14-ATEX.

5.1.2 Moottorit

Pumpuille valittavat moottorit mitoitetaan uudestaan pumppuvalmistajan antaman kaavan avulla järjestelmän toimivuuden takaamiseksi. Moottorissa täytyy olla B35 laippaliitettä ja rungon koko 71, jotta moottori ja pumppu voidaan yhdistää toisiinsa aikaisemmin mainittujen laipan ja kytkimen avulla. Molempien pumppujen malliksi valitaan mallit Cemp vaarallisen tilan moottoreiden katalogista. Tarkemmat mallit valitaan mitoituksen jälkeen. Moottoreilta vaadittava teho voidaan laskea kaavalla 53 (Gear pumps 2019, s. 20)

$$P = \left(P_{TAB} \cdot \frac{n}{1450 \frac{1}{\text{min}}} + f_v \cdot Q \right) \cdot 1,2 \quad (53)$$

jossa P on moottorilta vaadittava teho, P_{TAB} pumpun tehon käyttö valmistajan taulukon mukaan, n moottorin kierrosnopeus, f_v viskositeetista aiheutuva kerroin, Q tilavuusvirta ja V_g pumpun kierrostilavuus. Kaavan lopussa kerrotaan saatu teho kertoimella 1,2. Viskositeetista aiheutuva kerroin katsotaan valmistajan antamasta taulukosta. Molempien nesteiden viskositeetit ovat kuitenkin niin pienet, että tämä kerroin on 0 (Gear pumps KF 2.5 ... 630 2019, s. 20). Tämän vuoksi

myös kaavassa oleva tilavuusvirta voidaan sivuuttaa. Kierrosnopeudet katsotaan aiemmin mainitun moottorin datalehdessä.

Polttoainejärjestelmän pumpun tehon käyttö tarkastetaan valmistajan antamasta taulukosta. Valitaan pumpun tuottamaksi paineeksi 10 bar. Tällöin taulukosta saadaan tehoksi 0,22 kW (Gear pumps KF 2.5 ... 630 2019, s. 19). Lasketaan polttoainejärjestelmän moottorilta vaadittava teho. Cemp 0,25 kW moottorin kierrosnopeus on 1405 RPM.

$$P_{PA} = 0,27 \text{ kW} \cdot \frac{1405 \frac{1}{\text{min}}}{1450 \frac{1}{\text{min}}} \cdot 1,2 = 0,255 \dots \text{ kW} \quad (54)$$

Alustava moottorivalinta ei ole teholtan riittävän suuri. Valitaan 0,25 kW moottorista seuraava teholtan suurempi malli. Seuraava malli on 0,37 kW, jonka pyörimisnopeus on 1408 RPM. Polttoainepumpun suurin teoreettinen tuotto moottorilla on 537 LPH, 90 % hyötysuhteella 484 LPH ja 70 % hyötysuhteella 376 LPH. Moottorin tarkaksi malliksi valitaan Cemp AN 3 30R 71 B 4 B35 3F 230D/400S/50. ATEX-luokitus on EEx II 3G Ex ec IIB T3.

Öljyjärjestelmän pumpun tehon käyttö tarkastetaan valmistajan antamasta taulukosta. Valitaan pumpun tuottamaksi paineeksi 4 bar. Tällöin tehoksi saadaan 0,05 kW (Gear pumps KF 0 2016, s. 5). Lasketaan öljyjärjestelmän moottorilta vaadittava teho. Pumpun valinnassa tarkastellun 0,05 kW Cemp moottorin koko on saatavilla vain koossa 63, joka liian pieni. Valitaan seuraava koko, joka on 0,12 kW IE2 moottori, jonka pyörimisnopeus on 600 RPM.

$$P_{öljy} = 0,05 \text{ kW} \cdot \frac{600 \frac{1}{\text{min}}}{1450 \frac{1}{\text{min}}} \cdot 1,2 = 0,02 \dots \text{ kW} \quad (55)$$

Laskujen perusteella 0,12 kW moottori on teholtan riittävän suuri. Öljypumpun suurin teoreettinen tuotto moottorilla on 92 LPH ja 98 % hyötysuhteella 89 LPH. Moottorilla voidaan tuottaa noin 20 bar paine. Moottorin tarkaksi malliksi valitaan Cemp AB 3 30R 71 B 8 B35 3F 230D/400S/50. ATEX-luokitus on EEx II 2G Ex d

IIB T4 Moottorin ATEX-luokitus riittäisi tilaluokkaan 1 valitun räjähdyssuojausrakenteen vuoksi, vaikka moottori on tilaluokan 2 alueella. Valmistajalta ei ollut saatavilla riittävän pienitehoista moottoria pienemmän luokan räjähdyssuojausrakenteella, jonka vuoksi päädyttiin edellä mainittuun moottorimalliin.

5.1.3 Putkisto

Putkisto tulee valita siten, että se on sisähalkaisijaltaan riittävän suuri. Se on myös kestettävä järjestelmässä käytettävä paine. Putkiston vaatimat sisähalkaisijat on laskettu kappaleessa 4.3.2. Suurin tilavuusvirta on kuitenkin muuttunut pumpun ja moottorin valinnan jälkeen, jonka vuoksi osa putkistoista täytyy mitoittaa uudelleen. Laitteelle menevä tilavuusvirta ei muutu, joten uudelleen mitoitettavat putkistot ovat, imu- ja syöttöpuolen paluuputkistot. Putkistot mitoitetaan suurimman teoreettisen tilavuusvirran avulla.

Polttoaineputkiston suurin teoreettinen tilavuusvirta on 537 LPH. Polttoainejärjestelmän imuputkiston sisähalkaisija saadaan vaihtamalla kaavan 23 tilavuusvirta. Imuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan 19,5 mm. Syöttöpuolen paluuputkiston sisähalkaisija saadaan laskettua vaihtamalla tilavuusvirta kaavaan 24. Syöttöpuolen paluuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan 13,8 mm.

Öljyputkiston suurin teoreettinen tilavuusvirta on 92 LPH. Öljyjärjestelmä imuputkiston sisähalkaisija saadaan vaihtamalla kaavan 28 tilavuusvirta. Imuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan 8,1 mm. Syöttöpuolen paluuputkiston sisähalkaisija saadaan laskettua vaihtamalla tilavuusvirta kaavaan 29. Syöttöpuolen paluuputkiston sisähalkaisijaksi saadaan 5,7 mm.

Testipenkin koneikkotilan pienen tilan vuoksi katostaan, että putkisto on helpoin toteuttaa letkuilla. Letkuksi valitaan poimutettu PTFE-letku, jonka ulkopinta on vahvistettu teräskudoksella. PTFE-letkun kemikaalien kestävyys on hyvä ja poimutetun muodon avulla letkut taipuvat helposti ja niiden asennus pieneen tilaan on helppoa. Tämän lisäksi letku vaimentaa tärinää, joka auttaa testien suorittamisessa. Letkun kestävä 35–125 bar riippuen putken halkaisijasta. Suuremmilla

putkilla paineenkesto on heikompi. Letkuja on saatavilla 10–51 mm sisähalkaisijalla. (Dunlop Hiflex n.d. s, 29)

Paineilmajärjestelmän putkistoksi valitaan 4 mm sisähalkaisijalla oleva polyuretaani-paineilmaletku. Polyuretaani-paineilmaletku on joustavaa, kevyttä, halpaa ja sen on suunniteltu käytettäväksi paineilmaputkistoissa. Polyuretaani-paineilmaletku, jonka sisähalkaisija on 4 mm on saatavilla 6 mm ulkohalkaisijalla. Suurin käyttöpaine on 15 bar.

5.1.4 Säiliöt

Testipenkin säiliöt mitoitetaan järjestelmän suurimman tilavuusvirran perusteella. Säiliön koko mitoitetaan yleensä 2–3 kertaa isommaksi, kuin järjestelmän tilavuusvirta on minuutissa ja lisätään putkiston tilavuus (Keinänen & Kärkkäinen 2000, s. 160). Polttoainejärjestelmän putkiston tilavuudeksi arvioidaan 5 litraa. Polttoainesäiliön kooksi saadaan siis.

$$V = \frac{537}{60} \cdot 3 + 5 = 31,85 \text{ L} \quad (56)$$

Öljyjärjestelmän putkiston kooksi arvioidaan 3 litraa. Öljysäiliön kooksi saadaan siis.

$$V = \frac{92}{60} \cdot 3 + 3 = 7,6 \text{ L} \quad (57)$$

Molemmat säiliöt tilataan mittatilauksena. Säiliöiden materiaalina käytetään ruostumatonta terästä, joka peitattu. Peittauksen avulla poistetaan hitsaamisesta syntynyt oksidikerros, jolla parannetaan ruostumattoman teräksen ominaisuuksia.

5.1.5 Kuristusventtiilit

Kuristusventtiilit on mitoitettu kappaleessa 4.3.3. Muuttuneen tilavuusvirran vuoksi tarkastellaan uudestaan polttoaine- ja öljyjärjestelmän syöttöputkiston

suurimman ja pienimmän Kv-arvon testejä, joiden perusteella kuristusventtiilit valitaan. Kuristusventtiilit valitaan Swagelok valmistajan tuotekatalogista. Polttoainejärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiilien mitoituksessa käytetään suurinta teoreettista tilavuusvirtaa suurimman Kv-arvon laskemiseen, sekä 70 % hyötysuhteen tilavuusvirtaa pienimmän Kv-arvon laskemiseen. Polttoainejärjestelmän suurin Kv-arvo on testeissä 29 ja 32, joissa paine-ero on 0,1 bar ja kuristusventtiilin läpi menevä tilavuusvirta koko pumpun tuotto. Kv-arvo lasketaan kaavan 33 avulla ja Cv-arvo kaavan 34 avulla.

$$K_{v_Pa1} = 537 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{0,1 \text{ bar}} \cdot \frac{807,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1,525 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 1,53 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (58)$$

$$C_{v_Pa1} = 1,165 \cdot 1,525 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,777 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} = 1,78 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (59)$$

Pienin Kv-arvo on testissä 17, jossa paine-ero on 9 bar ja tilavuusvirta venttiilin läpi on 221 LPH. Lasketaan Kv- ja Cv-arvot.

$$K_{v_Pa2} = 221 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{9 \text{ bar}} \cdot \frac{807,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,0661 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 0,066 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (60)$$

$$C_{v_Pa2} = 1,165 \cdot 1,525 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,0771 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} = 0,077 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (61)$$

Polttoainejärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiileillä tulee pystyä säätää 0,066–1,53 m³/h Kv-arvo tai 0,077–1,78 USG/min Cv-arvo. Swagelok valmistaja on ilmoittanut venttiilien arvot Cv-arvoina. Polttoainejärjestelmän syöttöpuolen kuristusventtiiliksi valitaan SS-18RF6RT-A, jolla on 1,80 USG/min Cv-arvo. Tällä venttiilillä pienten Cv-arvojen säätö on haasteellista, joten rinnalle otetaan toinen kuristusventtiili. Kuristusventtiilin malliksi valitaan SS-1RF2-A, jonka Cv-arvo on 0,37 USG/min.

Polttoainejärjestelmän paluuvirtaus 1 linjan suurin Cv-arvo on 0,444 USG/min ja pienin 0,021 USG/min. Kuristusventtiilin malliksi valitaan SS-1RF4RT-A, jonka Cv-arvo on 0,73 USG/min. Polttoainejärjestelmän paluuvirtaus 3 linjan suurin Cv-arvo on 0,012 USG/min ja pienin 0,005 USG/min. Kuristusventtiilin malliksi valitaan SS-31RF4-A, jonka Cv-arvo on 0,04.

Öljyjärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiilien mitoituksessa käytetään suurinta teoreettista tilavuusvirtaa suurimman Kv-arvon laskemiseen, sekä 98 % hyötysuhteen tilavuusvirtaa pienimmän Kv-arvon laskemiseen. Polttoainejärjestelmän suurin Kv-arvo on testissä 45, joissa paine-ero on 0,1 bar ja kuristusventtiilin läpi menevä tilavuusvirta koko pumpun tuotto. Kv-arvo lasketaan kaavan 33 avulla ja Cv-arvo kaavan 34 avulla.

$$K_{v_{\text{öljy1}}} = 92 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{0,1 \text{ bar}} \cdot \frac{930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,281 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 0,28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (62)$$

$$C_{v_{\text{öljy1}}} = 1,165 \cdot 0,281 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,327 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} = 0,33 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (63)$$

Pienin Kv-arvo on testissä 44, jossa paine-ero on 1 bar ja tilavuusvirta venttiilin läpi on 62 LPH. Lasketaan Kv- ja Cv-arvot.

$$K_{v_{\text{öljy1}}} = 59 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} \cdot \frac{930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,057 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (63)$$

$$C_{v_{\text{öljy1}}} = 1,165 \cdot 0,057 \dots \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,067 \dots \frac{\text{USG}}{\text{min}} = 0,07 \frac{\text{USG}}{\text{min}} \quad (64)$$

Öljyjärjestelmän syöttöputkiston kuristusventtiileillä tulee pystyä säätää 0,06–0,28 m³/h Kv-arvo tai 0,07–0,33 USG/min Cv-arvo. Öljyjärjestelmän syöttöpuolen kuristusventtiiliksi valitaan SS-1RF2-A, jolla on 0,37 USG/min Cv-arvo. Öljyjärjestelmän paluuvirtauslinjan suurin Cv-arvo on 0,067 USG/min ja pienin 0,028

USG/min. Kuristusventtiilin malliksi valitaan SS-ORF2-A, jonka Cv-arvo on 0,09 USG/min.

5.1.6 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihtimen koko on mitoitettu kappaleessa 4.3.4. Lämmönvaihtimeksi valitaan SWEP B3 levylämmönvaihdin. Levyjen materiaali on ruostumatonta terästä ja ne on juotettu toisiinsa kuparilla. Lämmönvaihtimeen on mahdollista saada parhaimmillaan 60 levyä. Lämmönvaihtimen yhden levyn leveys on 54,4 mm, korkeus 119,4 mm ja syvyys 1,22 mm. Lämmönvaihtimessa on 10 mm liittimet. Lasketaan, kuinka monta levyä tarvitaan, jotta jäähdytyspinta-alaa on riittävästi.

$$n = \frac{(0,0544\text{m} \cdot 0,1194\text{m}) - 4 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot (0,01\text{m})^2\right)}{0,14\text{m}^2} = 22,76 \dots \approx 23 \quad (65)$$

Levyjä tarvitaan vähintään 23 kappaletta, jotta jäähdytyspinta-ala on tarpeeksi suuri. Lämmönvaihdinta on mahdollista saada 30 levyn kanssa. Valitaan lämmönvaihtimeen 30 levyä, jolloin lämmönvaihtimen malliksi valikoituu SWEP B3Hx30/1P-SC-S.

5.1.7 Virtausanturit

Polttoainejärjestelmässä on kaksi kolme virtausanturia, joista yksi on syöttöputkistossa, yksi paluuvirtaus 2 putkistossa sekä yksi paluuvirtaus 3 putkistossa. Syöttöputkistossa olevalla virtausanturilla tulee pystyä mittaamaan 17,4–300 LPH tilavuusvirta. Paluuvirtaus 2 putkistossa olevalla virtausanturilla tulee pystyä mittaamaan 5,13–10,2 LPH tilavuusvirta. Paluuvirtaus 3 putkistossa olevalla virtausanturilla tulee pystyä mittaamaan 7,2–14,04 LPH tilavuusvirta.

Polttoainejärjestelmän syöttöputkiston virtausanturiksi valitaan Flow Technologyn valmistama FT 4-8 AE YBU LEA-5 mallin turbiinivirtausanturi. Virtausanturin mitta-alue on 6,6–600 LPH ja suurin käyttöpaine 349 bar. Virtausanturista saatava signaali on RF-signaali. Virtausanturiin tarvitaan pulssimuunnin, jotta RF-

signaali saadaan muunnettua pulssisignaalksi. Samalta valmistajalta on saatavilla pulssimuunnin. Valittu pulssimuuntimen malli on CA04-4-C-0000-9. Pulssimuuntimen ja paneelinäytön väliin tarvitaan edelleen signaalimuunnin muuttamaan pulssisignaali 4–20 mA virtasignaalksi paneelinäytölle. Signaalimuuntimen valinnan suorittaa sähkösuunnittelija. Pulssimuuntimen ATEX-luokitus on EEx II 2G Ex db IIC T6.

Molempiin paluuvirtausputkistoihin valitaan samat virtausanturit. Valittu virtausanturi on Macnaught valmistajan MX06P-1TN mallin soikioratasvirtausmittari. Virtausanturin mitta-alue alle 5 mm²/s viskositeetin nesteellä on 2–100 LPH ja suurin käyttöpaine 68 bar. Virtausanturista saadaan NAMUR-signaali, joten tähänkin väliin tarvitaan signaalimuunnin muuttamaan saatu signaali 4–20 mA virtasignaalksi. ATEX-luokitus on II 1G EX ia IIC T6.

Öljyjärjestelmässä on yksi virtausanturi. Virtausanturin tulee pystyä mittaamaan 27–52 LPH tilavuusvirta. Öljyjärjestelmään voidaan valita sama virtausanturi, kuin polttoainejärjestelmän paluuvirtausputkistoihin. Virtausanturin mitta-alue yli 5 mm²/s viskositeetin nesteellä on 0,5–100 LPH ja suurin käyttöpaine 68 bar.

Polttoainejärjestelmässä päädyttiin kahden eri valmistajan virtausanturiin, sillä soikioratasmittareita ei ollut saatavilla tarpeeksi laajalle tilavuusvirtauksen mitta-alueelle. Paluuvirtausputkistoihin ja öljyjärjestelmään valitussa soikioratasmittareilla pystyi mittaamaan vain 100 LPH tilavuusvirtaan asti. Seuraavalla koolla olisi voitu mitata 500 LPH tilavuusvirta, mutta mitta-alue tällä soikioratasmittarilla olisi alkanut vasta 25 LPH, joka on liian korkea. Hinnan puolesta soikioratasanturi olisi ollut parempi, sillä turbiinivirtausanturi on huomattavasti kalliimpi.

5.1.8 Painelähettimet

Polttoainejärjestelmässä mitattava painealue on 0,3–10 bar, öljyjärjestelmässä 0,3–2 bar ja paineilmajärjestelmässä 0,02–3 bar. Osassa testeissä täytyy myös mitata paine-eroa. Paine-eron mittaus tehdään kahdella painelähettimellä, joten kahden painelähettimen tarkkuudesta aiheutuva virhe ei saa olla suurempi, kuin

testissä sallittu paine-ero. Painelähettimiksi valitaan WIKA S-20 painelähetin. Painelähettimestä saadaan 4–20 mA ulostulosignaali. Painelähetimet koteloidaan, jotta ne saadaan eristettyä räjähdysvaarallisesta tilasta. Tästä johtuen painelähettimien ei ole tarpeen olla ATEX-luokiteltuja. Samaa painelähetintä on mahdollista käyttää kaikissa järjestelmissä. Painelähettimen epälineaarisuus on 0,125 %. Polttoainejärjestelmän pienin paine-eromittaus on 0,05 bar. Valitaan tähän -1–15 bar painealueen painelähetin. Painelähetin valitaan menemään alipaineen puolelle, sillä painelähettimien tarkkuus on heikompi mitta-alueen päissä. Painelähettimen suurin epälineaarisuudesta aiheutuva virhe on.

$$\text{tarkkuus}_1 = (15 \text{ bar} - (-1 \text{ bar})) \cdot 0,125\% = 0,02 \text{ bar} \quad (66)$$

Kahdella painemittarilla syntyvä virhe on siis 0,04 bar. Kahden painemittarin epälineaarisuudesta aiheutuva virhe on vähemmän, kuin paine-eromittauksessa tarkasteltava arvo, joten painemittari on soveltuva mittaukseen. Painelähettimen malli on WIKA S-20 14094276.

Öljyjärjestelmässä käytetyt paineet ovat polttoainejärjestelmää pienempiä, joten sille valitaan pienemmän alueen painelähetimet. Öljyjärjestelmään valitaan -1–5 bar painealueen painelähetin. Öljyjärjestelmässä pienin mitattava paine-ero on 0,075 bar. Epälineaarisuudesta aiheutuva virhe tällä painelähettimellä on.

$$\text{tarkkuus}_2 = (5 \text{ bar} - (-1 \text{ bar})) \cdot 0,125\% = 0,0075 \text{ bar} \quad (67)$$

Kahdella painemittarilla syntyvä virhe on 0,015 bar. Kahden painemittarin epälineaarisuudesta aiheutuva virhe on vähemmän, kuin paine-eromittauksessa tarkasteltava arvo, joten painemittari on soveltuva mittaukseen. Painelähettimen malli on WIKA S-20 14113598. Paineilmajärjestelmässä voidaan käyttää saman mallin painelähettimiä, kuin öljyjärjestelmässä.

Samalta valmistajalta olisi tarjolla myös ATEX-luokiteltuja painelähettimiä. Näiden painelähettimien tarkkuus ei kuitenkaan yllä samalle tasolle, kuin valittujen painelähettimien tarkkuus. Painelähettimien liittimet voidaan vetää testipöydälle, jolloin painelähettimet ovat koteloitu erilleen räjähdysvaarallisesta tilasta.

5.1.9 Lämpötila-anturi

Polttoainejärjestelmään päätetään sijoittaa lämpötila-anturi säiliöön, sekä syöttöputkistoon hieman ennen ulostuloliitintä, jotta nähdään tarkalleen, kuinka lämmintä nestettä laitteeseen virtaa. Lämpötilaa päätetään mitata myös öljysäiliöstä. Lämpötilaa mitataan PT100 antureilla. PT100 anturilta ei vaadita ATEX-luokitusta, mikäli sen IP luokitus on vähintään IP65. Siihen johdettu sähköpiiri tulee olla luonnostaan vaaraton Ex-i piiri. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että piirin sähkövirta ja jännite on rajoitettu niin alhaiseksi, että siitä ei pääse muodostumaan räjähdyksen mahdollistavaa kipinää tai lämpötilaa. (Lapp automaatio n.d.). Ex-i piirin kaapelien tulee olla Ex-i hyväksytyjä. Signaalimuuntimessa tulee olla PT100 vastusanturitulo ja muuttamaan se 4–20 mA virtasignaaliksi. Sen tulee olla ATEX-luokitukseltaan II (1) G [Ex ia] IIA. Sulut merkitsevät minkä tilaluokan laitteeseen teholähteen voi liittää. Sähkösuunnittelija valitsee sopivat kaapelit ja signaalimuuntimen valitulle PT100 anturille.

PT100 anturiksi valitaan Nokeval valmistajan TRE-100-3.0-A mallin puikkoanturi. Kyseinen puikkoanturin IP-luokitus on IP-67. Sillä pystytään mittaamaan -30–350°C lämpötiloja. Anturi on helppo liittää Ex-i piiriin, säiliöön ja putkistoon.

5.1.10 Alipainejektori

Paineilmajärjestelmän testissä 55 tarvitaan -420 mbar alipainetta. Alipaine voitaisiin tuottaa joko esimerkiksi alipainepumppulla tai alipaine-ejektorilla. Tuotettava alipaine on vaatimaton, jolloin alipaine-ejektori soveltuu mainiosti tapaukseen. Alipainepumppu vie huomattavasti enemmän tilaa, kuin alipaine-ejektori. Alipaine-ejektori maksaa vain murto-osan siitä, mitä alipainepumppu maksaa, etenkin, kun pumppu olisi täytynyt olla ATEX-luokiteltu.

Alipaine-ejektorilla tuotetaan alipainetta ilman virtauksesta ejektorilla. Se toimii venturiperiaatteella. Alipaine-ejektorissa on kolme liitäntää. Yhdestä johdetaan sisään ilman virtaus, toisesta virtaus johdetaan ulkoilmaan ja kolmannesta saadaan alipaine. Virtaus johdetaan alipaine-ejektoriin, jonka sisällä on kuristin. Kuristimen jälkeen ilmannoisuus kasvaa ja ilma johdetaan ulkoilmaan. Bernoullin

lain mukaan virtausnopeuden kasvaessa paine laskee, joka synnyttää alipaineen imuliittimeen. Alipaineen tuottoa voidaan lisätä suurettamalla syöttöpainetta.

Alipaine-ejektori valitaan Etran katalogista. Testipenkkiin riittää pienin alipaine-ejektori, jolla voidaan tuottaa riittävän suuri alipaine. Etran katalogista valitaan alipaine-ejektorin malliksi ZH05DSA-06-06-06. Alipaine-ejektorilla voidaan tuottaa -0,88 bar alipaine. Alipaine-ejektori kuluttaa ilmaa 13 l/min.

5.1.11 Paineenalennusventtiilit

Paineilmajärjestelmään tarvitaan kolme paineenalennusventtiiliä. Paineilmajärjestelmän alkuun, sekä molempiin syöttöputkistoihin oma. Paineilmajärjestelmällä tulee pystyä säätämään testiä 61 varten toisella syöttöputkistoilla 150 mbar ja toisella 150–260 mbar paine. Tämän lisäksi syöttöputkistossa, jossa alipaine-ejektori täytyy pystyä säätämään -420 mbar alipaine. Alipaine-ejektori vaatii tähän alipaineeseen noin 2,5 bar paineen. Paineilmajärjestelmän täytyy näiden lisäksi pystyä säätämään 20–3000 mbar ylipaine muita testejä varten.

Painejärjestelmän alkuun valitaan Tescom valmistajan 44–5216–243V mallin paineenalennusventtiili. Tescom 44–5216–243V mallin paineenalennusventtiilillä kestää 241 bar tulopaineen ja sillä voidaan säätää 0–41,4 bar lähtöpaine.

Syöttöputkiston paineenalennusventtiileiksi valitaan Fairchild M10 mallin paineenalennusventtiilit. Nämä venttiilit kestävät 35 bar syöttöpaineen Syöttöputkistoon, jossa alipaine-ejektori on, valitaan 0,1–4 bar painealueen paineenalennusventtiili, jonka malli on Fairchild M10 10242HJP. Toiseen syöttöputkistoon 0,0–0,7 bar painealueen paineenalennusventtiili, jonka malli on Fairchild M10 10222HJP.

5.1.12 Suodattimet

Polttoaine- ja öljyjärjestelmän suodattimien suodatusaste on määritelty laitteiden testien ohjeissa. Molempien järjestelmien suodatusaste on 10 µm. Molempiin järjestelmiin valitaan samat suodatinrungot ja -elementit. Suodatinrungoksi valitaan

PALL UR219CC16 04ZN1 ja suodatinelementiksi PALL UE219AN04Z. Suodattimeen valitaan myös tukkeumanilmaisoin, jonka malli on PALL RC 860MZ 091 Z. Suodatinrunko kestää 41 bar paineen ja 265 L/min tilavuusvirtauksen. Suodatinelementin suodatusaste on 7 µm.

Paineilmajärjestelmältä vaadittu suodatusaste on 10 µm. Paineilmanjärjestelmän suodatinrungoksi valitaan Donaldson valmistajan Ultrafilter HD0003-PN100 mallin suodatinrunko. Suodatinelementiksi valitaan saman valmistajan Ultrafilter FF03/05 mallin suodatinelementti, jonka suodatusaste on 1 µm. Suurin sallittu tulopaine suodattimeen on 100 bar.

Alipaine-ejektorille otetaan suodatin suojaamaan sitä. Suodattimen malli on ZFB100-06, joka on suositeltu käytettäväksi alle 20 l/min ilman kulutuksen imulinjaan -1,0–0 bar painealueelle. Suodatinelementin malli on I-34S-A. Suodattimen suodatusaste on 30 µm.

5.1.13 Termostaattiventtiili

Jäähdytysjärjestelmän termostaattiventtiiliksi valitaan Danfoss valmistajan type AVTA 15 malli. Venttiili on suunniteltu käytettäväksi vesijärjestelmissä. Valmistaja on ilmoittanut venttiilin Kv-arvoksi 1,9 m³/h. Venttiilin suurin käyttöpaine on 16 bar ja maksimi paine-ero 10 bar. Runko on ruostumatonta terästä.

Termostaattiventtiin ohjaustermostaattiventtiili on säätövälillä 0–30°C. Järviveden lämpötila vaihtelee noin 4–26°C välillä, joten säätöasteikko on riittävä. Säiliöön asetettava kapillaariputken kuparijohto on kahden metrin pituinen.

5.2 Järjestelmäkaaviot

Komponenttien valinnan jälkeen voidaan tehdä lopulliset hydraulikka- ja pneumatiikkakaaviot, sekä numeroida komponentit osaluetteloa varten. Järjestelmäkaavioiden tekemisen ja komponenttien numeroinnin avulla voidaan tehdä niihin perustuva osaluettelo. Osaluettelo on esitetty liitteessä 1.

Järjestelmäkaavioihin tehtiin joitain muutoksia verrattuna alustaviin järjestelmäkaavioihin. Järjestelmien toiminta ja kaaviot on esitetty alla olevissa kappaleissa.

5.2.1 Polttoainejärjestelmä

Polttoainejärjestelmän moottoria merkitään kirjaimella M1. Syöttöputkiston virtausanturia merkitään kirjaimella Q1, PA paluuvirtaus 2 putkiston virtausanturia kirjaimella Q2 ja PA paluuvirtaus 3 putkiston virtausanturia kirjaimella Q3.

Paineenrajoitusventtiilin viereen on merkitty paine, jolla sen tulee avautua. Kuristusventtiilit on rajattu katkoviivalla merkitsemään, että niiden säätönupit sijoitetaan työpöydän puolelle.

Pikaliittimiin on merkitty vain testipenkissä kiinni oleva pikaliittimen puoli. Laite yhdistetään testipenkkiin asianmukaisella letkulla, joka voidaan tarvittaessa liittää myös painelähttimiin.

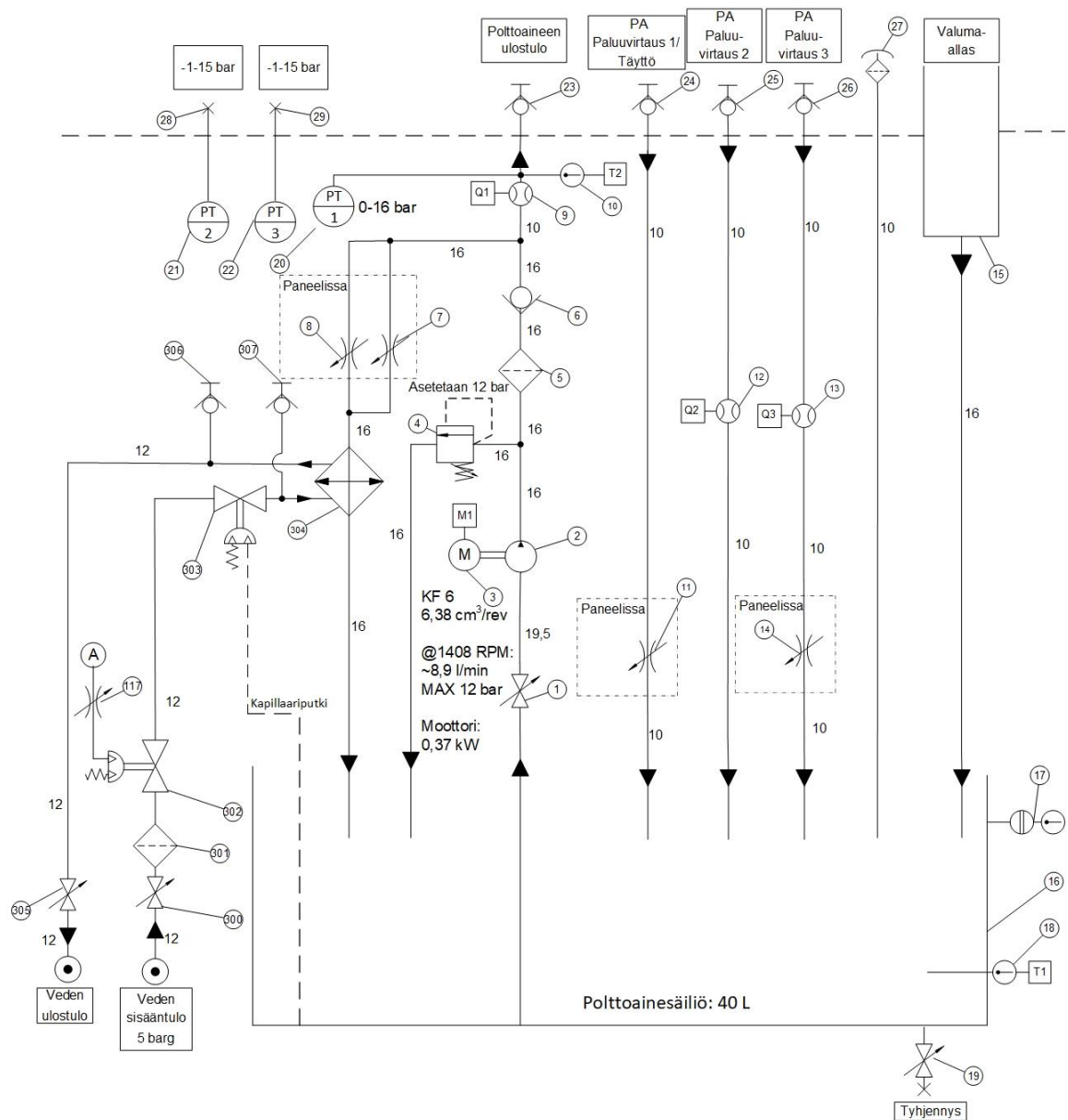
Syöttöputkiston painemittari on vaihdettu painelähttimeen, jonka avulla testipenkki voidaan sammuttaa, mikäli paine nousee yli 12 bar. Putkiston painelähtintä on merkitty kirjaimilla PT1 ja sen painealue on 0–16 bar. Mittauksiin käytettävät painelähttimet on merkitty kirjaimilla PT2 ja PT3. Niiden mitta-alue on -1–15 bar.

Lämpötila-anturit on sijoitettu säiliöön ja syöttöputkistoon. Säiliön lämpötila-anturia merkitään järjestelmäkaaviossa kirjaimella T1. Putkiston lämpötila-anturia merkitään kirjaimella T2. Testipenkki sammuu säiliön lämpötilan noustessa yli 32°C. Lämpötilaa ja säiliön pinnankorkeutta voidaan myös tarkastella säiliön kylkeen kiinnitetystä mittalasisista.

Säiliön huohotus tapahtuu työtasolle johdetun huohottimen avulla. Tällä tavoin palavat kaasut voidaan johtaa suoraa työtasolle sijoitetun ilmanvaihtokanavan imuun.

Jäähdytysjärjestelmän toimilaitteessa ilmoitettu kirjain A liitetään paineilmajärjestelmästä. Termostaattiventtiilin kapillaariputki on piirretty katkoviivalla polttoainesäiliön sisälle.

Polttoainejärjestelmän komponenttien numerointi alkaa numerosta 1. Jäähdytysjärjestelmän numerointi alkaa numerosta 300. Pumpun ja moottorin viereen on merkitty pumpun kierrostilavuus, pumpun tuotto moottorin nimellispyörimisnopeudella, suurin sallittu paine, sekä moottorin teho. Polttoaineletkujen sisähalkaisijan koot on esitetty niiden vieressä olevilla numeroilla. Polttoainejärjestelmän hydraulikkakaavio esitetty kuviossa 7.

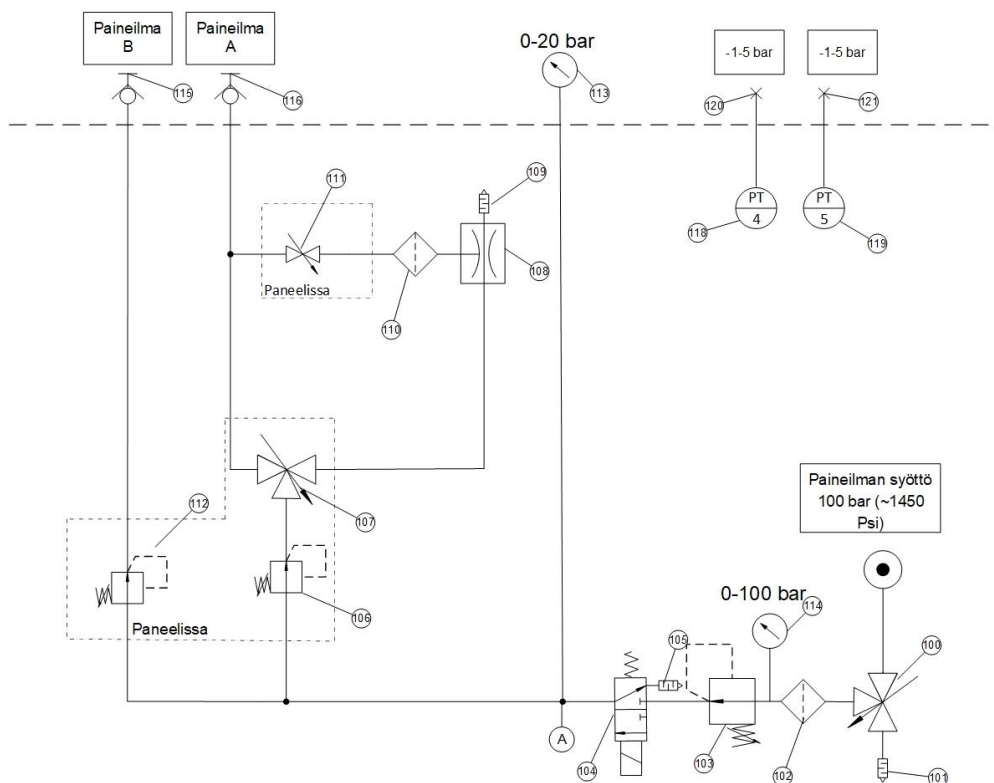


KUVIO 7. Polttoainejärjestelmän hydraulikkakaavio

5.2.2 Paineilmajärjestelmä

Paineilmajärjestelmä toiminta ja kaavio vastaa alustavan paineilmajärjestelmän kaaviota. Paineilmajärjestelmän alussa oleva ohjainventtiili vetää ja paineistaa järjestelmän, kun testipenkin päävirta kytketään päälle. Paineilmajärjestelmän työpöydälle sijoitetut venttiilit on ilmoitettu samalla tavoin laatikoimalla, kuin polttoainejärjestelmässä. Paineilmajärjestelmän alkuun on ilmoitettu korkeapainelinjasta tuleva paine. Pneumatiikkakaaviossa olevalla kirjaimella A merkitään polttoainejärjestelmän jäähdytysjärjestelmän toimilaitteelle menevää paineilmaa.

Paineilmajärjestelmän painelähettimet on merkitty kirjaimilla PT4 ja PT5. Niiden painealue on -1–5 bar. Paineilmajärjestelmän osien numerointi alkaa numerosta 100. Paineilmajärjestelmän pneumatiikkakaavio on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Paineilmajärjestelmän pneumatiikkakaavio

5.2.3 Öljyjärjestelmä

Öljyjärjestelmän moottoria merkitään kirjaimella M2. Syöttöputkiston virtausanturia merkitään kirjaimella Q4. Paineenrajoitusventtiilin viereen on merkitty paine,

5.3 Vaadittavat dokumentit

Painelaitedirektiivin mukaan painelaite tulee luokitella, joiden perusteella sille tehdään vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely. Painelaitteiden luokituksesta on kerrottu kappaleessa 3.1.2 ja siihen liittyvästä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelystä kappaleessa 3.1.3. Painelaitteiden luokituksessa mainitaan, että mikäli putkiston nimelliskoko on alle DN25 vaarallisen sisällön tapauksessa tai alle DN32 vaarattoman sisällön tapauksessa, se kuuluu hyvän konepajakäytännön alaiseksi laitteeksi. JET A-1 lentopetroli on syttyvää nestettä. Putkiston nimelliskoko on kuitenkin alle DN25, joten painelaitelain mukaan laitetta ei luokitella ja laitteeseen tulee soveltaa hyvää konepajakäytäntöä. Kemikaalilainsäädännön mukaan testipenkkiin tulee kuitenkin soveltaa painelaitelain luokan 1 vaatimustasoa, sillä putkistossa käsitellään vaarallista kemikaalia.

Luokan 1 painelaitteisiin tulee soveltaa moduulin A vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä, tai tätä korkeamman tason menettelyä. Moduulin A vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely vaatii painelaitteelta seuraavia dokumentteja ja asiakirjoja (Direktiivi 2014/68/EU, Liite III):

- Painelaitteen yleinen kuvaus
- Suunnittelu- ja valmistuspiirustukset sekä kaaviot osista, osakokoonpanoista ja kytkennöistä
- Tarvittavat esitykset ja selitykset, jotka selvittävät näitä piirustuksia ja kaavioita, sekä painelaitteen toimintaa
- Luettelo painelaitteen suunnittelussa käytetyistä yhdenmukaistetuista standardeista
- Suoritettujen suunnittelulaskelmien tulokset
- Testiraportit

Testipenkiltä vaadittavat dokumentit kootaan tekniseen käsikirjaan. Käytännössä tekninen käsikirja pitää sisällään testipenkin yleisen kuvauksen, turvallisuusohjeet, toimintakuvauksen, toimintaohjeet, tekniset tiedot, huolto-ohjeet, kalibrointiohjeet, hydraulikka-, pneumatiikka- ja sähköpiirustukset, osaluettelon, hyväk-

syntädokumentaation ja ohjeet käytöstä poistolle. Teknisen käsikirjan avulla todistetaan, että laite vastaa painelaitteasetuksen 1548/2016 luokan 1 vaatimustasoja.

Osa testipenkin dokumenteista, kuten testipenkin yleinen kuvaus, on kannattavaa käytännössä luoda vasta, kun sähkösuunnittelu on saatu ja päätökseen, testipenkin lopullinen kokoonpano varmistettua ja komponentit hankittua. Testipenkin toimintakaavio on tarpeellinen kuitenkin tehdä sähkösuunnittelijaa varten. Toimintakaaviossa esitellään mitä mistäkin kytkimestä tapahtuu ja mitkä ovat ehdot niiden toimimiselle. Toimintakaavio tulee esittää painelaitteen teknisessä käsikirjassa. Toimintakaavio on esitetty liitteessä 2.

Toimintakaavion lisäksi testipenkille voidaan tehdä alustava riskianalyysi, jossa käsitellään testipenkistä syntyviä vaaratekijöitä. Riskianalyysi liittyy testipenkin hyväksyntädokumentaatioon. Tunnistettujen riskien todennäköisyys selitetään ja luokitellaan, sekä esitetään mahdollisesti korjaava toimenpide, jonka jälkeen riskin todennäköisyys luokitellaan uudestaan. Riskianalyysi on esitetty liitteessä 3.

Testipenkille tulee tehdä hyväksyntädokumentaatioon painelaitedirektiivin 2014/68/EU mukainen nestepainekoe, kun putkisto on saatu koottua. Putkisto tulee paineistaa käyttöpaineella, joka on 1,43 kertaa suurempi, kuin suurin sallittu käyttöpaine. Polttoaineputkistossa tämä tarkoittaa 13,43 bar painetta ja öljyputkistossa 5,72 bar painetta. Testistä tehdään raportti, joka liitetään hyväksyntädokumentaatioon.

Muita hyväksyntädokumentaatioon liittyviä asiakirjoja ovat kalibrointi-, käyttöönotto- ja tarkastuspöytäkirjat. Kalibrointipöytäkirjalla varmistetaan, että testipenkki on kalibroitu asianmukaisten ohjeiden mukaisesti. Käyttöönottopöytäkirjalla varmistetaan, että laite on kokoonpanttu ja käyttöönotettu asianmukaisesti. Tarkastuspöytäkirjalla varmistetaan, että testipenkin putkisto ja laitteet toimivat asianmukaisesti ja turvallisesti. Tarkastuspöytäkirjan sisältöön kuuluu yllä mainittu nestepainekoe.

Vaatimustenmukaisuuden arvionitimenettelyn moduulin A mukaan laite tulisi myös CE-merkitä ja tehdä EU-vaatimustenmukaisuusvakuutusta, mutta koska

testipenkille suoritetaan vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely johtuen kemikaalilainsäädännöstä, ei sitä saa CE-merkitä, eikä sille tule tehdä EU-vaatimustenmukaisuusvakuutusta. Testipenkille tehdään erillinen vaatimustenmukaisuusvakuutus, joissa käy ilmi, että se on suunniteltu ja valmistettu asetuksen 856/2012 47 § mukaisesti ja se vastaa painelaitteasetuksen 1548/2016 luokan 1 vaatimustasoa. Vaatimustenmukaisuusvakuutukseen merkitään käytännössä suunnittelun pohjana käytetyt direktiivit ja yhdenmukaistetut standardit. Lopulliset suunnittelussa käytetyt standardit saadaan selville vasta sähkösuunnittelun jälkeen. Liitteessä 4 on esitetty alustava vaatimustenmukaisuusvaatimus, jossa kerrotaan tähän mennessä käytetyt direktiivit ja yhdenmukaistetut standardit.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyössä suunniteltiin testipenkin mekaaninen puoli sitä koskevien lakien, asetusten ja direktiivien mukaisesti. Tämän lisäksi tehtiin toimintakaavio sähkösuunnittelua varten sekä alustava riskianalyysi, jossa tarkasteltiin testipenkin turvallisuutta ja siihen liittyviä riskejä. Testipenkistä saatiin suunniteltua vanhaa testipenkkiä helppokäyttöisempi ja rakennetta saatiin yksinkertaistettua poistamalla ongelmana olleet solenoidiventtiilit sekä vähentämällä järjestelmän ulostuloja ja kuristusventtiileitä. Komponenttien mitoituksen ja valinnan avulla vaatimustilan perusteella varmistettiin, että testipenkillä voidaan suorittaa testit, joita sillä on suunniteltu tehtäväksi. Uusien komponenttien, yksinkertaisen rakenteen ja suunnittelun avulla Patrian huoltovarmuutta saadaan parannettua, josta on suoraa hyötyä yritykselle. Uusien mittalaitteiden avulla testipenkkiä saatiin nykyaikaistettua.

Jatkokehityskohteena voidaan harkita taajuusmuuntajan lisäämistä testipenkkiin, jonka avulla moottorien pyörimisnopeutta voitaisiin säätää. Taajuusmuuntajan lisääminen testipenkkiin helpottaisi osittain testien suorittamista, joissa täytyy säätää tietty tilavuusvirta. Taajuusmuuntajan hyötyjä ja haittoja sekä sen sijoittamista mahdollisesti räjähdysvaaralliseen tilaan tulisi tutkia.

Opinnäytetyön tulosten pohjalta testipenkin suunnittelua voidaan jatkaa seuraavaan vaiheeseen, eli sähköjärjestelmän suunnitteluun. Sähköjärjestelmän suunnittelun jälkeen voidaan suunnitella testipenkin runko. Rungon suunnittelun jälkeen testipenkki voidaan rakentaa tehtyjen suunnitelmien pohjalta ja suorittaa siltä vaaditut tarkastukset, kalibroinnit sekä paine- ja käyttöönottestit sekä tehdä vaaditut dokumentit. Kaiken tämän jälkeen testipenkki voidaan ottaa virallisesti käyttöön. Voidaan siis todeta, että opinnäytetyö saavutti tavoitellut lopputulokset.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa uusien testipenkkien, painelaitteiden tai räjähdysvaarallisten tilojen kokoonpanojen suunnittelussa tai komponenttien valinnassa. Testipenkissä käytetään useampaa eri järjestelmää, joten työ toimii hyvänä pohjana usealle eri käyttökohteelle. Työstä saadaan helposti

selville mitkä direktiivit, lait, asetukset ja standardit ovat pääasemassa samanaisten laitteiden suunnittelussa ja mihin kohtiin niissä tulee erityisesti keskittyä. Työssä on tämän lisäksi monipuolisesti esimerkkejä komponenttien mitoituksesta ja komponenttivalintoista.

Työn suurimmiksi ongelmakohtiksi muodostuivat testipenkkiä koskevat lait. Lait olivat osittain hyvin tulkinnanvaraisia ja niiden noudattamiseen testipenkissä käytettiin huomattavan paljon aikaa. Testipenkkiä koskevista laeista olisi voitu pyytää selvitys ja yhteenveto ulkoiselta taholta, jolla on kokemusta asiasta ja säästää näin merkittävä määrä työtunteja. Myös komponenttien valintaan kulutettiin suuri määrä aikaa. Komponenttien tarkemman valinnan olisi voinut jättää komponenttien myyjille, esittelemällä käyttökohde ja vaaditut ominaisuudet. Myyjillä on useimmiten suurempi tietämys osien ominaisuuksista, saatavuudesta ja tiedoista.

LÄHTEET

ATEX Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. 2015. n.d. Tukes. Pdf-tiedosto. Luettu 19.1.2023.

<https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/ATEX+r%C3%A4j%C3%A4hdysvaarallisten+tilojen+turvallisuus/310d29f5-57bc-431a-90e5-27bf0b6e0f8d?version=1.0>

Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Mieltien, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

CE-merkintä. n.d. Tukes. Verkkosivu. Luettu 13.1.2023.

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>

Direktiivi 1992/02/EY. 1992. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suoje- lun parantamiseksi. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. Verkkosivu. Luettu 18.1.2023.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0092&from=FI>

Direktiivi 2014/68/EU. 2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi paine- laitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan Unionin virallinen lehti. Verkkosivu. Luettu 12.1.2023.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068&from=CS>

Dunlop HiFlex. n.d. Hydrauliikkatuotteet tuoteluettelo. Verkkolehti. Luettu 25.2.2023.

https://www.digilehtikone.fi/esikat-selu/313631383931313335312e343038_c70f7e80169a3184f6c0/#pid=1

Engines, Components & Training. n.d. Patrian intranet. Luettu 5.1.2023. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://ethereal.sharepoint.com/sites/patteri-fi-toimintamalli/sitepages/Engines,-Components-and-Training.aspx>

Fluidiikkalaskuri. n.d. Burkert Finland Oy. Verkkosivu. Luettu 7.2.2023.

<https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Sanasto/Fluidiikkalaskuri>

Gear pumps KF 2.5 ... 630. 2021. Krach GmbH. PDF-tiedosto. Luettu 22.2.2023.

<https://www.kracht-media.eu/wp-content/uploads/KF25-630-EN-09-2021.pdf>

Industrial hazardous area electric motors. 2022. Cemp. PDF-tiedosto- Luettu 25.2.2023

<http://www.cemp-international.it/wp-content/uploads/2022/09/CEMP-Electric-Motors-IE1-IE2-IE3-IE4-Catalog-2022.pdf>

Kazi MSN. 2015. Heat Transfer Studies and applications. Intech. Verkkosivu. Luettu 14.2.2023

<https://www.intechopen.com/books/4563>

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2000. Koneautomaatio 1 hydraulikka ja pneumaattikka. Porvoo: WS Bookwell Oy

Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset. 2017. Tukes. Pdf-tiedosto. Luettu 17.1.2023.

<https://tukes.fi/documents/5470659/6410920/Kemikaaliputkistojen+turvallisuusvaatimukset.pdf/bb410ce1-baeb-4a0d-8086-f881d8f13b2b/Kemikaaliputkistojen+turvallisuusvaatimukset.pdf?t=1516698242000>

Käyttöturvallisuustiedote. 2022. Neste Oyj. Luettu 1.2.2023

https://www.neste.fi/static/ktt/10505_fin.pdf

Lampinen, M. 2010. Termodynamiikan perusteet. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatieto. Oy Yliopistokustannus University Press Finland

Lapp Automaatio. n.d. Lämpötila anturien valinta räjähdysvaaralliseen tilaan. Pdf-tiedosto. Luettu 3.3.2023.

https://www.epicsensors.fi/fileadmin/user_upload/PDF/2019/other-docs/FI-ot-her/EPIC_SENSORS_EX_tilat.pdf

Lentokoneiden kaasuturbiinimoottorit. n.d. Patria. Verkkosivu. Luettu 1.12.2022

<https://www.patriagroup.com/fi/palvelut/moottoreiden-elinkaarituki/lentokoneiden-kaasuturbiinimoottorit>

Nokian rantojen vesinäytetulokset. Pirteva. n.d. Ympäristöterveys Pirteva. Luettu 13.2.2023

Painelaitedirektiivin 2014/68/EU (PED) soveltamisohjeet. 2020. Tukes. Verkkosivu. Luettu 13.1.2023

<https://tukes.fi/documents/5470659/6372817/Painelaitedirektiivin+soveltamisohjeet/f503f680-7e9b-40ff-80a0-4b81f5f193bd/Painelaitedirektiivin+soveltamisohjeet.pdf>

Painelaitelaki 16.12.2016/1144. 2016. Finlex. Verkkosivu. Luettu 13.1.2023

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144>

Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. n.d. Tukes. Verkkosivu. Luettu 12.1.2023.

<https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>

Patria vuosikertomus 2021. 2022. Patria Oyj. Pdf-dokumentti. Luettu 1.12.2022
<https://www.patriagroup.com/fi/download/patria-2021-vuosikertomus>

PSK 2401 Putkiston virtausnopeudet. 2009. PSK Standardisointi. Pdf-dokumentti. Luettu 6.2.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://psk-standardisointi-fi.libproxy.tuni.fi/Standard/Ryhma24/psk2401.pdf>

Räjähdyksivaaralliset tilat. n.d. Tukes. Verkkosivu. Luettu 18.1.2023
<https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat>

SFS-EN 60079-0. 2019. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 0: Laitteet. Yleiset vaatimukset. 2. Painos. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-käsikirja 59:2022. 2022. Räjähdyksivaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. 6. Painos. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa. n.d. Tukes. Verkkosivu. Luettu 23.1.2023.
<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa>

Toimintamalli. Patrian intranet. n.d. Luettu 5.1.2023. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://ethereal.sharepoint.com/sites/patteri-fi-toimintamalli>

Valtioneuvoston asetus painelaitteista 1548/2016. 2016. Finlex. Verkkosivu. Luettu 13.1.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161548>

Valtioneuvoston asetus räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1439/2016. 2016. Finlex. Verkkosivu. Luettu 17.2.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161548>

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 855/2012. 2012. Finlex. Verkkosivu. Luettu 16.1.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120855>

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012. 2012. Finlex. Verkkosivu. Luettu 16.1.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120856>

VDI Heat Atlas. 2010. 2. painos. Berliini: Springer Berlin Heidelberg.

Liite 1. Osaluettelo

Index	Label	Komponentti	Tuotenumero	Malli	Lisätietoja	Määrä	Valmistaja/ Toimittaja
1		Sulkuventtiili	SS-65TF12RT	60 Series	Cv 31	1	Swagelok
2		Pumppu	KF-F 6 RF-2	KF-F	6,38 cm ³ /rev	1	KRACHT Corp.
		Laippa	PT-160-A-063-80	KF 2,5-25	71/B35	1	KRACHT Corp.
		Kytin	RA 19-Z25/14-A1EX	KF 2,5-25	71	1	KRACHT Corp.
3	M1	Sähkömoottori	Cemp AN 3 30R 71 B 4 B35 3F 230D/400S/50	Cemp 3P, IE2, Speed 1500 RPM	0,37kW, 71	1	Cemp
4		Ylipaineventtiili	RL4M8F8	RL4 Series	Max 20,6 bar	1	Swagelok
		Jousisarja	177-13K-RL3	R3A series	0,7-15,5 bar	1	Swagelok
5		Suodatinrunko	UR219CC16 04ZNI	UR219	Max 41 bar	1	PALL
		Suodatinpatruuna	UE219AN04Z	UE219	7 micron	1	PALL
		Tukkeumanimainin	RC 860MZ 091 Z		Visuaalinen	1	PALL
6		Suuntaventtiili	SS-CHF8RT-1/3	Series C8	Cv 1,8, auknemispaine 0,07 bar	1	Swagelok
7		Kuristusventtiili	SS-18RF6T-A	Series 18	Cv 1,8	1	Swagelok
8		Kuristusventtiili	SS-1RF2-A	Series 1	Cv 0,37	1	Swagelok
9	Q1	Virtausanturi	FT 4-8 AE YBU LEA-5	FT Series	6,6-660 LPH	1	FTI Flow Technology Inc.
10	T2	Tasausputkisto	FTFS 4-8 AE 10-5-0	Tasausputkisto	ø 1/2", tuloputki 127 mm, lähtöputki 63,5 mm	1	FTI Flow Technology Inc.
11		Lämpötila-anturi	TRE-100-2,0-A	PT100	-30-350°C	1	Nokeval
		Kuristusventtiili	SS-1RF4RT-A	1 Series	Cv 0,73	1	Swagelok
12	Q2	Virtausanturi	MX06P-1TN	MX Series	2-100 LPH < 5 cSt	1	Macnaught
13	Q3	Virtausanturi	MX06P-1TN	MX Series	2-100 LPH < 5 cSt	1	Macnaught
14		Kuristusventtiili	SS-31RF4-A	Series 31	Cv 0,04	1	Swagelok
15		Valuma-allas	76-22815-20			1	TP Hydraulics
16		Polttoainesäiliö	76-22815-30		40 l	1	TP Hydraulics
17		Mittalasi	SNA-254-B-N-T-12	Type SNA	-30-100°C	1	Stauff
18	T1	Lämpötila-anturi	TRE-100-2,0-A	PT100	-30-350°C	1	Nokeval
19		Sulkuventtiili	SS-65TF12RT	60 Series	Cv 31	1	Swagelok
20	PT1	Painelähetin	14094276	S-20	0-16 bar	1	WIKA
21	PT2	Painelähetin	14615781	S-20	-1-15 bar	1	WIKA
22	PT3	Painelähetin	14615781	S-20	-1-15 bar	1	WIKA
23		Pikaliitin	105251204	CEIN 525	Max 350 bar, DN10	1	CEIN
24		Pikaliitin	105251204	CEIN 525	Max 350 bar, DN10	1	CEIN
25		Pikaliitin	105251204	CEIN 525	Max 350 bar, DN10	1	CEIN
26		Pikaliitin	105251204	CEIN 525	Max 350 bar, DN10	1	CEIN
27		Huohotin	SMBT-47-S-10-0-812-0	SMBT-47	10 micron PUR	1	Stauff
28		Mittausliitin	103591251	Press Check	Max 400 bar	1	CEIN
29		Mittausliitin	103591251	Press Check	Max 400 bar	1	CEIN
100		3-tieventtiili	SS-43GX4RT	40GX Series	Cv 0,75	1	Swagelok
101		Vaimennin	W0970530023	MW SE	Max 12 bar	1	Metal Work
102		Suodatinrunko	1C051250	Ultrafilter HD0003-PN64	Max 64 bar	1	Donaldson
		Suodatinelementti	1C121206	Ultrafilter FF03/05	1 micron	1	Donaldson

103	Painealennusventtiili	44-5216-243V	44-5200 Series	Cv 0,06	1	Tescom
104	Ohjausventtiili 3/2	7020020200	SOV 33 SOS NC	3/2, Solenoidi/jousi NC, Max 10 bar	1	Metal Work
	Lifin	227606915	Kit Coil EEXM	II 2G Ex mb IIC T4 GB	1	Metal Work
105	Vaimennin	W0970530023	MW SE	Max 12 bar	1	Metal Work
106	Painealennusventtiili	10242HJP	Model 10	0,1-4 bar	1	Fairchild
107	3-tieventtiili	SS-43GF4RT	40GX Series	Cv 0,75	1	Swagelok
108	Alipaine-ejektori	ZH05DSA-06-06-06	Series ZH	-0,88-0 bar	1	SMC
109	Aänenvaimennin	AN10-C06	Series AN10	Max 1 bar	1	SMC
110	Alipainesuodatin	ZFB100-06	Series ZFB	Käyttöalue -1,0-0,5 bar	1	SMC
	Suodatinpatruuna	I-34S-A	Series ZFB	30 micron	1	SMC
111	Sulkuventtiili	SS-43GF4RT-A	40G Series	Cv 0,75	1	Swagelok
112	Painealennusventtiili	10222HJP	Model 10	0,0-0,7 bar	1	Fairchild
113	Painemittari	14615835	232.30	0-20 bar	1	WIKA
114	Painemittari	14615837	232.30	0-100 bar	1	WIKA
115	Pikaliitin	103031152	CEIN 303	Max 16 bar	1	CEIN
116	Pikaliitin	103031152	CEIN 303	Max 16 bar	1	CEIN
117	Kuristusventtiili	9041203	RF1 B 1/4	Max 10 bar	1	Metal Work
118	PT4	14113598	S-20	-1-5 bar	1	WIKA
119	PT5	14113598	S-20	-1-5 bar	1	WIKA
120	Mittausliitin	103591251	Press Check	Max 400 bar	1	CEIN
121	Mittausliitin	103591251	Press Check	Max 400 bar	1	CEIN
200	Sulkuventtiili	SS-63TF8RT	60 Series	Cv 12	1	Swagelok
	Pumppu	KF 2.5 RF2	KF	2,55 cm ³ /rev	1	KRACHT Corp.
201	Laippa	PT-160-A-063-80	KF 2,5-25	71/835	1	KRACHT Corp.
	Kytin	RA 18-Z25/14-ALEX	KF 2,5-25	71	1	KRACHT Corp.
202	Moottori	Comp AB 3 30R 71 B 8 B35 3F 2300/400S/50	Comp 3P IE1, Speed 750 RPM	0,12 kW	1	Cemp
203	Ylipaineventtiili	RL4M8F8	RL4 Series	Max 20,6 bar	1	Swagelok
	Jousisarja	177-13K-RL3	R3A series	0,7-15,5 bar	1	Swagelok
	Suodatinrunko	UR219CC 04ZN1	UR219	Max 41 bar	1	PALL
204	Suodatinpatruuna	UE219AN04Z	UE219	7 micron	1	PALL
	Tukkeumanilmaisain	RC 860MZ 091 Z	Visuaalinen	Visuaalinen	1	PALL
205	Suuntaventtiili	SS-CHF8RT-1/3	Series C8	Cv 1,8, aukenemispaine 0,07 bar	1	Swagelok
206	Kuristusventtiili	SS-1RF2-A	1 Series	Cv 0,37	1	Swagelok
207	Virtausanturi	MX06P-1TN	MX Series	0,5-100 LPH > 5 cst	1	Macnaught
208	Kuristusventtiili	SS-ORF2-A	Series O	Cv 0,09	1	Macnaught
209	Mittalasi	SNA-254-B-N-T-12	Type SNA	-30-100°C	1	Swagelok
210	Sulkuventtiili	SS-63TF8RT	60 Series	Cv 12	1	Swagelok
211	PT6	14107759	S-20	0-10 bar	1	WIKA
212	PT7	14113598	S-20	-1-5 bar	1	WIKA
213	PT8	14113598	S-20	-1-5 bar	1	WIKA

214	Öljysäiliö	76.22815.40				10 L	1	TP Hydraulics
215	Pikaliitin	105251202	CEIN 525			Max 450 bar, DN 6,3	1	CEIN
216	Pikaliitin	105251202	CEIN 525			Max 450 bar, DN 6,3	1	CEIN
217	Huohotin	SMBT-47-S-10-0-B12-0	SMBT-47			10 micron PUR	1	Stauff
218	Mittausliitin	103591251	Press Check			Max 400 bar	1	CEIN
219	Mittausliitin	103591251	Press Check			Max 400 bar	1	CEIN
220 T3	Lämpötila-anturi	TRE-100-2.0-A	PT100			-30-350°C	1	Nokeval
300	Sulkuventtiili	SS-63TF8RT	60 Series			Cv 12	1	Swagelok
301	Sihti	3921108	CIM 74ACRNL			Cv 6,6, PN16	1	Valve Cimberio
302	Sulkuventtiili/toimilaite	B-45XF4RT-53S	40 Series			Cv 3,5, Painelima/jousi	1	Swagelok
303	Venttiili	003N2151	AVTA 15			Cv 1,9, 0-30°C	1	Danfoss
304	Lämmönvaihdin	B3HX30/IP-SC-S	B3			Max 45 bar	1	SWEP
305	Sulkuventtiili	SS-63TF8RT	60 Series			Cv 12	1	Swagelok
306	Pikaliitin	105251205	CEIN 525			Max 350 bar, DN 12,5	1	CEIN
307	Pikaliitin	105251205	CEIN 525			Max 350 bar, DN 12,5	1	CEIN

Liite 2. Toimintakaavio

Sivu 1/4

TESTIPENKIN TOIMINTAKUVAUS
Versio 1
Pvm 10.3.2023

Ohjauspaneelin toiminnot			
Ohjauspaneelin sähköiset ohjaimet käyttöjärjestyksessä. Jos ohjain kytketään pois päältä, sen alla olevat toiminnot kytkeytyvät pois päältä. Mikäli ehdot eivät toteudu, ohjain ei kytkeydy tai kytkeytyy pois. Kytkimissä palaa valo, kun se on kytkettyä ON -asentoon. HUOM! Varalla olevat kytkimen paikat aukotetaan ja peitetään.			
Nimi	Ohjain	Tunnus	Ehdot
VIRTAKYTKIN ON/ OFF	Kaksoispainike valolla	S1	Mittariston syöttö päälle Paineliähtettimien syöttö päälle Lämpötila-antureiden syöttö päälle Virtausantureiden syöttö päälle Päävirtakytkin ON Hätä-seis ei kytke T1 < 30 °C PT1 < 12 bar
PA PUMPPU ON/OFF	Kaksoispainike valolla	S2	M1 moottori ON VIRTAKYTKIN ON
ÖLJY PUMP ON/OFF	Kaksoispainike valolla	S3	M2 moottori ON VIRTAKYTKIN ON
Valintakytkin D.C./OFF/IRRAN SÄÄTÖ	Kolmoisipainike valolla	S4	D.C., jännite D.C. sähköliittimeen VIRTAN SÄÄTÖ, jännite virransäätö sähköliittimeen VIRTAKYTKIN ON
PAINEKYTKIN ON/OFF	Kaksoispainike valolla	S5	Jännite painekytkimen virtalähde sähköliittimelle Valintakytkin D.C.
JÄNNITTEEN SÄÄTÖ D.C.	Potentiometri	POT 1	Jännitteen säätö 0-50V Valintakytkin VIRRAN SÄÄTÖ
VIRRAN SÄÄTÖ	Potentiometri	POT 2	Virran säätö 0-200 mA Valintakytkin VIRRAN SÄÄTÖ
HÄTÄ-SEIS	Hätä-seis kytkin	S6	Pysäyttää ja estää kaikki toiminnot -
RESET	Painike valolla	S7	Hätä-seis ei kytke T1 < 30 °C PT1 < 12 bar

Automaattiset toiminnot					
Kuvaus	Anturi	Ohjauskäsky	Raja	Toiminto	Ehdot
Lämpötilan säätö	Termostaatti (mekaaninen)	Tankin lämpötila nousee	> 21 °C	Venttiili avautuu (mekaaninen toiminto) -> jäähdyysvirtaus suurenee	-
		Tankin lämpötila laskee	< 21 °C	Venttiili sulkeutuu (mekaaninen toiminto) -> jäähdyysvirtaus pienenee	-
Polttoaineen lämpötilan ylitys	T1	PR4116 (ExI)	30 °C	Rigi sammuu (S1 OFF)	VIRTAKYTKIN ON
Polttoaineen paineen ylitys	PT1	Mittari 1	12 bar	Rigi sammuu (S1 OFF)	VIRTAKYTKIN ON

Varojärjestelmä ja huomiovalot

Varoitukset ovat toiminnassa aina kun päävirtakytkin on päällä.
 Varoitus valot jäävät hälytyksen tai pysäytyksen yhteydessä palamaan. Valot kuitataan erillisestä napista pois (RESET).
 Raja-arvot ovat ohjelmotavissa ohjauskäskyn lähteessä.

Nimi	Valotunnus	Ohjaus	Ohjauskäsky	Raja	Valo	Toiminto
KORKEA POLTTOAINEEN LÄMPÖTILA	L1	T1	Signaaliuunnin	Tankin lämpötila < 25°C Tankin lämpötila > 25°C Tankin lämpötila > 30°C	Ei valoa Punainen Punainen	- - Rigi sammuu (S1 OFF)
KORKEA POLTTOAINEEN PAINE	L2	PT1 Paineenrajitusventtiili 4	Mittari 1 (mekaaninen toiminto)	Paine < 12 bar Paine > 12 bar	Ei valoa Punainen	- Rigi sammuu (S1 OFF) Paine purkautuu tankkiin (mekaaninen)
KORKEA ÖLJYNPAINE	L3	PT6 Paineenrajitusventtiili 203	Mittari 4 (mekaaninen toiminto)	Paine < 4 bar Paine > 4 bar	Ei valoa Punainen	- Paine purkautuu tankkiin (mekaaninen)
HÄTÄ-SEIS	L4	HÄTÄ-SEIS	Hätä-Seis kärijet	HÄTÄ-SEIS ei painettuna HÄTÄ-SEIS painettuna	Ei valoa Punainen	- HÄTÄ-SEIS

Testausvalot

Testausvalot ovat toiminnassa aina kun päävirtakytkin on päällä.

Nimi	Valotunnus	Ohjaus	Ohjauskäsky	Raja	Valo	Ehto
PAINEKYTKIN VIHREÄ	L6	Painekytkin (testattava laite)	Painekytkimen A+C pinnit kytkeytyneet	-	Vihreä	PAINEKYTKIN ON
PAINEKYTKIN PUNAINEEN	L7	Painekytkin (testattava laite)	Painekytkimen A+B pinnit kytkeytyneet	-	Punainen	PAINEKYTKIN ON

Sähköliittännät

Testauslaitteissa tarvittavat sähköliittännät.

Nimi	Kytkin	Säätö	Liitin
D.C.	S4	POT 1	3 napainen
VIRRAN SÄÄTÖ	S4	POT 2	3 napainen

Mittaristo							
Nimi	Näyttö	Anturi	Yksikkö	Input	Toiminto/ Output	Mittarin hälytysrajat	
Mittari 1	1	PT1	barg	PT1	PT1 > 12 bar -> L2 päälle, rigi sammuu (S1 OFF)	PT1 > 11 bar: Punainen vilkkuu	
		T2	°C	Signaalimuunnin	-	T2 > 25°C: Punainen, T2 > 29°C: Punainen, Vilkkuu	
	2	T1	°C	Signaalimuunnin	-	T1 > 25°C: Punainen, T2 > 29°C: Punainen, Vilkkuu	
Mittari 2	1	-	-	-	-	-	
		PT2	barg	PT2	-	PT1 > 14 bar: Punainen, Vilkkuu	
		PT3	barg	PT3	-	PT2 > 14 bar: Punainen, Vilkkuu	
	2	PT2, PT3	bard	PT2, PT3	Lasketaan paine-ero PT1-PT2 (bar)	-	
		PT2	mbarg	PT2	PT2	PT1 > 14 000 mbar: Punainen, Vilkkuu	
		PT3	mbarg	PT3	PT3	PT2 > 14 000 mbar: Punainen, Vilkkuu	
Mittari 3	1	PT2, PT3	mbard	PT2, PT3	Lasketaan paine-ero PT1-PT2 (mbar)	-	
		Q1	LPH	Signaalimuunnin	-	Q1 > 600 LPH: Punainen, Vilkkuu	
		Q2	LPH	Signaalimuunnin	-	Q2 > 90 LPH: Punainen, Vilkkuu	
	2	Q3	LPH	Signaalimuunnin	-	Q3 > 90 LPH: Punainen, Vilkkuu	
		Q1	cm ³ /min	Signaalimuunnin	-	Q1 > 10 000 cm ³ /min: Punainen, Vilkkuu	
		Q2	cm ³ /min	Signaalimuunnin	-	Q2 > 1500 cm ³ /min: Punainen, Vilkkuu	
		Q3	cm ³ /min	Signaalimuunnin	-	Q3 > 1500 cm ³ /min: Punainen, Vilkkuu	
		PT6	barg	PT4	PT6 > 4 bar -> L3 päälle	PT6 > 4 bar: Punainen, vilkkuu	
		Q4	LPH	Signaalimuunnin	-	Q4 > 90 LPH: Punainen vilkkuu	
Mittari 4	1	-	-	-	-	-	
		T3	°C	Signaalimuunnin	-	-	
		-	-	-	-	-	
	2	PT7	barg	PT7	-	-	PT7 > 4 bar: Punainen, Vilkkuu
		PT8	barg	PT8	-	-	PT8 > 4 bar: Punainen vilkkuu
		PT7, PT8	bard	PT7, PT8	Lasketaan paine-ero PT7-PT8 (bar)	-	
		PT7	mbarg	PT7	PT7	PT7 > 4000 mbar: Punainen, Vilkkuu	
		PT8	mbarg	PT8	PT8	PT8 > 4000 mbar: Punainen, Vilkkuu	
Mittari 5 (PM20)	2	PT7, PT8	mbard	PT7, PT8	Lasketaan paine-ero PT7-PT8 (mbar)	-	

Mittaristo							
Nimi	Näyttö	Anturi	Yksikkö	Input	Toiminto/ Output	Mittarin hälytysrajat	
Mittari 6 (PM20)	1	PT4	barg	PT4	-	PT4 > 4 bar: Punainen, Vilkkuu	
		PT5	barg	PT5	-	PT5 > 4 bar: Punainen vilkkuu	
	2	PT4, PT5	bard	PT4, PT5	Lasketaan paine-ero PT4-PT5 (bar)	-	
		PT4	mbarg	PT4	-	PT4 > 4000 mbar: Punainen, Vilkkuu	
		PT5	mbarg	PT5	-	PT5 > 4000 mbar: Punainen, Vilkkuu	
Mittari 7 (PM20)	1	PT4, PT5	mbard	PT4, PT5	Lasketaan paine-ero PT4-PT5 (mbar)	-	
		Jännite, D.C.	V	Signaalimuunnin	Mitataan D.C. sähkölinjan syöttöjännite	Jännite, D.C. > 200 V: Punainen, vilkkuu	
		-	-	-	-	-	
	2	Virta, D.C.	A	Virta-anturi	Mitataan D.C. sähkölinjan laitteen yli oleva virta	Virta, D.C > 9 A: Punainen, vilkkuu	
		Jännite, VIRRAN SÄÄTÖ	V	Mittauspiiri	Mitataan VIRRAN SÄÄTÖ sähkölinjan syöttöjännite	Jännite, VIRRAN SÄÄTÖ > 50 V	
		Virta, VIRRAN SÄÄTÖ	mA	Virta-anturi	Mitataan VIRRAN SÄÄTÖ sähkölinjan laitteen yli oleva virta	Virta, VIRRAN SÄÄTÖ > 300mA punainen vilkkuu	

Liite 3. Riskianalyysi

Sivu 1/3

Laite	Testipenkki
Analyysin suorittaja	Arto Jyvälä
Päivämäärä	1.3.2023
Korj. päivämäärä	

Kokonaisriskiluku ennen korjaavia toimenpiteitä:	[0 - 1]
	0,28
Kokonaisriskiluku korjaavien toimenpiteiden	0,09

Riskirajat	
Min	Max
Matala	0,00 - 0,2
Kohtalainen	0,20 - 0,60
Stuuri	0,60 - 1,00

Onko laitteessa muulla kuin ihmisvoimalla toimiva voimansiirtöjärjestelmä JA onko siinä vähintään yksi liikkuva komponentti, jotain toimintoa varten?

Laite kuuluu:

Onko laitteessa säilytettävän nesteen tilavuus YLI 10 T?

Käytettävä hydraulineneste: **38** Nycroprotoc 04 **140** Turbonycooil 13 B **222**
 Leimahduspiste [°C]:

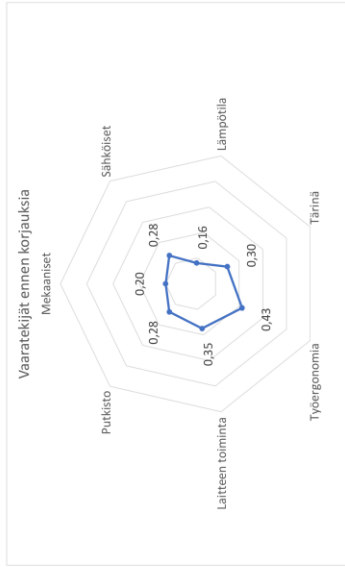
Järjestelmän maksimilämpötila:

Järjestelmälle on tehtävä ATEX tilaluokitus



KYLLÄ	EI	X
-------	----	---

KYLLÄ	EI	X
-------	----	---



Mekaaniset vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selite vaarasta	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Puristumisvaara	X			Raajan jääminen tiskin luukun väliin	X		
2 Leikkautumisvaara	X			Laitteessa ei liikkuvia teräviä kulumia			
3 Vilittavaara	X			Laitteessa ei teräviä kulumia			
4 Takertumisvaara	X			Laitteessa ei liikkuvia osia			
5 Loukkuunjämisvaara	X			Laitteessa ei liikkuvia osia			
6 lskuvaara	X			Tiskin luukun osuminen käyttäjään	X		
7 Pisto- tai puhkaisuvaara	X			Ei teräviä ja liikkuvia osia			
8 Kitka- tai hiertymävaara	X			Ei liikkuvia osia			
9 Korkeapainaisen nesteiden tai kaasun suihkun vaara	X	6	3	Tiskissä hydraulinen paine			

Pisteet: 0,20

Pisteet: 8,10

0

Sähköstä johtuvat vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selitte vaarasta	Korjaava toimenpide	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Suora kosketus jännitteeseen osaan	x			Laitteen sähköliittimet	Sähköliittimen kosketinosat suojaosa kosketuksesta	x		
2 Kosketus vian seurauksena jännitteelliseen osaan		x		Voitettuun johtoon	Johdon tarkastus ennen käyttöä	x		
3 Suurjännitteiset osat	x			Voima virtaosat sijoitettu paneeleiden alle	-	x		
4 Sähköstaattiset ilmiöt		x		Ei varsinaista ESD suojausta	Putkiston ja rungon maadoitus	x		
	2	2	0			4	0	0
Pisteet:	0,28					0,05		

Lämpötilasta johtuvat vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selitte vaarasta	Korjaava toimenpide	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Suora kosketus kuumaan osaan	x			Kuumenevat osat sijoitettu paneelien taakse	-	x		
2 Kosketus vian seurauksena kuumaan osaan	x			Max toimintalämpötila matala	-	x		
3 Työpäristön lämpötilan aiheuttama terveyshaitta	x			Matala toimintalämpötila ja hyvä ilmanvaihto	-	x		
4 Liekit tai lämpöasteily		x		Laitteissa palavaa nestettä	Syntyminen estetään leimahduspiستتتت alemmalla lämpötilalla	x		
	3	1	0			4	0	0
Pisteet:	0,16					0,05		

Tärinän ja melun aiheuttamat vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selitte vaarasta	Korjaava toimenpide	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Kehoon kohdistuva tärinä	x			Käyttäjää ei ole kosketuksissa laitteen kanssa	-	x		
2 Terveystaitat laitteen tärinän vuoksi	x			Laitteessa pyörivä moottori/pumppu ja paineilmaa	-	x		
3 Laitte synnyttää melua		x			Kotelon äänieristys	x		
	2	1	0			2	0	0
Pisteet:	0,30					0,05		

Työergonomian aiheuttamat vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selitte vaarasta	Korjaava toimenpide	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Epäterveellinen työasento	x			Käyttäjä voi seistä jai istua laitetta käytettäessä	-	x		
2 Henkilösuojainten tarve			x	Käsitellään hydrauliöljyä. Mahdollinen kuulosuojainten tarve	Suojaluukku ja äänieristys. Henkilösuojainten käytön ohjeistus varoitusaroin: suojakäsineet, suojalasit		x	
3 Valaistus riittämätön		x		Tiskin sisätilan riittävä valaistus	Tiskiin työskenteluvälaistus	x		
4 Hallintalaitteiden sekaantumisvaara		x		Useita hallintalaitteita	Hallintalaitteisiin selkeät kyllit ja niiden käyttö ohjeistetaan	x		
5 Näyttölaitteiden virhetulkinmat		x		Useita näyttölaitteita	Näyttölaitteisiin selkeät kyllit ja niiden käyttö ohjeistetaan. Tulkinataa helpotetaan mittareiden muuttuvilla värillä	x		
6 Työn kuormittavuuden aiheuttama vaaratilanne	x			Suorittavat työt nopeita ja yksinkertaisia	-	x		
	2	3	1			5	1	0
Pisteet:	0,43					0,13		

Laitteen toiminnan aiheuttamat vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selite vaarasta	Korjaava toimenpide	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Odottamaton käynnistyminen	x			Pumppujen käynnistyminen usean katkaisijan takana	-	x		
2 Laitteen pyörintänopeuden hallitsematon vaihtelu	x			Moottorin pyörimisnopeus pysyy vakiona	-	x		
3 Laitteen epäturvallinen hätäpysäyttäminen		x		Järjestelmään jää painetta	Pumppujen pysähtyessä paine purkautuu pumpun ja kuristusventtiilien kautta säiliöön. Painelminä tyhjenyt ohjausventtiilin kautta.	x		
4 Virheilanne vaikeasti tunnistettavissa		x		Venttiilien oikea asento	Hälytysvalot kertovat laitteen virhetilanteista. Vakava virheilanne pysäyttää koneen automaattisesti	x		
5 Virtakatkoksen aiheuttama vaaratilanne		x		Järjestelmään jää painetta	Paine purkautuu pumpun ja kuristusventtiilien kautta säiliöön. Painelminä tyhjenyt ohjausventtiilin kautta.	x		
6 Inhimillinen virhe laitteen käytössä		x		Useita hallintalaitteita/kuristusventtiilien oikea asento	Virhetilanteista varoitetaan varoitusvalolla ja mittareiden punaisiksi muuttuvilla luvuilla. Laitteen käyttö ohjeistetaan. Laitte suunniteltu mahdollisimman johdumukaiseksi käyttöä.		x	
Pisteet:	0,35	2	4	0		5	1	0
						0,13		

Pisteet: 0,35

Pisteet: 0,13

Purkiston aiheuttamat vaaratekijät

	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen	Selite vaarasta	Korjaava toimenpide	Epätodennäköinen	Mahdollinen	Todennäköinen
1 Sisäinen/ ulkoinen yli-/alipaine		x		Paineenrajotusten määrittely testelhin	Purkiston Ylipaine rajoitettu mekaanisella paineenrajotusventtiilillä. Käyttäjät perehdytetään kuristusventtiilien käyttöön	x		
2 Virheellinen toimintalämpötila	x			Laitte sammuu, kun lämpötila ylittyy	Varoitusvalo syttyy, kun järjestelmän lämpötila kasvaa tarpeeksi suureksi. Laitte sammuu kun lämpötila kasvaa tarpeeksi suureksi.	x		
3 Staattisen paineen/ massan aiheuttama vaaratilanne	x			Ei paineakkuja yms. järjestelmässä	-	x		
4 Reaktivoimien tai momenttien ylittyminen		x		Ei mekaanista rasitusta komponenttien välillä	Tärisivät komponentit eristetty letkuilla ja kumipalkkeilla	x		
5 Sulkulaitteiden virheellinen käsittely		x		Kuristusventtiilien ja sulkuventtiilien väärä asento	Sulkuventtiilit koneikossa suojan alla, virheellinen käyttö estetty toimintalukolla. Kuristusventtiilien käyttö ohjeistetaan		x	
6 Varolaitteen virheellinen toiminta	x			Lämpötila-anturin virheellinen lukema	Lämpötila-anturi kalibroidaan käyttöönnoton yhteydessä ja vuosittain	x		
7 Pintalämpötilojen virheellisyys käytössä	x			Järjestelmä sammuu, kun lämpötila ylitetään	-	x		
8 Virheellinen tyhjennys/ ilmaus	x			Järjestelmä tyhjenee automaattisesti	-	x		
9 Osien virheellinen asennus		x		Laitteessa testataan useita eri laitteita	Ohjeistetaan testattavien komponenttien kiinnitys laitteeseen		x	
10 Virheellinen täyttö tai purkaus		x		Komponentin purku paineellisena	Ohjeistetaan testattavien komponenttien purku laitteesta		x	
11 Varolaitteen vikaantuminen	x			Yksinkertaiset varolaitteet	Mekaaninen paineenrajotusventtiili	x		
12 Kemialliset reaktiot seinämateriaalin kanssa	x			Materiaalisen mukaisia, että ei synny kemiallisia reaktioita	-	x		
13 Sijoituksesta johtuvat vuodot, palotilanteet jms.		x		Putki/letku liitoksia	Valitaan liittimet ja letkut käyttökohteen mukaisesti ja rasituksen kestäviksi. Liitosten ja letkujen tarkistus kuuluu vuosihuoltoon ja se ohjeistetaan.		x	
14 Kiinnityksen riittämätön mitoitus		x	7	Painevaihteluita ja tärinää	Purkisto kiinnitetään rasituksen kestäväällä tavalla	x	3	0
Pisteet:	0,28	7	7	0		11	3	0
						0,15		

Pisteet: 0,28

Pisteet: 0,15

Liite 4. Vaatimustenmukaisuusvaatimus

Patria

Asiakirja nro: -

VAATIMUSTENMUKAISUUSVAKUUTUS

Valmistaja: Patria Aviation Oy
Lentokonehtaantie 3
35600 Halli
Finland
Tel. +358 (0)20 4691

Teknisen tiedoston kokoaja: Arto Jyvälä Patria Aviation Oy

Tuotenimi: Testipenkki

Kuvaus tuotteesta: Polttoaine-, öljy-, sähkö- ja pneumatiikkalaitteiden testipenkki

Tuotenumero: -

Valmistusvuosi: 2023

Vakuutamme, että yllä mainittu tuote täyttää seuraavat direktiivit:

Painelaitedirektiivi (2014/68/EU)
Painelaiteluokka: 1
Arviointimenettely: Moduuli A
ATEX-olosuhdedirektiivi (99/92/EY)

Lisäksi vakuutamme, että tuote täyttää seuraavat määräykset ja seuraavia yhdenmukaistettuja standardeja (tai niiden osia) on sovellettu:

Kemikaaliturvallisuuslaki (390/2005)
SFS-EN 764
SFS-EN 13480
SFS-EN 60079
PSK 2401

Nokialla . . .

NIMI
Tuotantopäällikkö

NIMI
Laadunvarmistuspäällikkö