

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Antti Sorsa

SIIRRELTÄVÄN KOEPONNISTUSYKSIKÖN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Antti Sorsa

Nimeke
Siirreltävän koeponnistusyksikön suunnittelu

Toimeksiantaja
Outotec Turula Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin siirreltävä koeponnistuslaitteisto, jolla on tarkoitus suorittaa vedellä tiiviyskokeet toimeksiantajan rikastepolttimen jäähdytysrungoille. Lisäksi laitetta pystytään käyttämään myös muiden tuotteiden testaukseen. Laitteen päätehtävä on ratkaista ongelma, joka liittyy kiinteään testauspisteen hankalaan sijaintiin. Suunniteltava laite piti saada lähelle hitsareiden kasaamia jäähdytysrunkoja, jolloin laitteen ansiosta säästetään runsaasti työntekijöiden aikaa ja vaivaa.

Työ aloitettiin selvittämällä toimeksiantajan kanssa projektin tavoitteet. Suunniteltavalle tuotteelle laadittiin lista vaadittavia toimintoja ja ominaisuuksia. Työ sisälsi prosessin ja runkorakenteen suunnittelua ja monipuolista osien valintaa. Tuotteen 3D -suunnitteluun käytettiin Creo Parametric 2.0 -ohjelmistoa. Tietoa kerättiin useista eri lähteistä, kuten osatoimittajien datalehdistä, kotimaisesta kirjallisuudesta ja Internetistä saatavilla olevista materiaaleista. Lisäksi tavaratoimittajilta kysyttiin tuotesuosituksia.

Lopputuloksena syntyi osaluettelo, toimintakuvaus ja piirustukset testauslaitteiston valmistamiseksi. Osien kokonaishinta asettui hieman alle 10 000 €:oon. Toimeksiantajan arvion mukaan laitteen takaisinmaksuaika on 5–8 vuotta.

Kieli

Suomi

Sivuja 46

Liitteet 11

Liitesivumäärä 22

Asiasanat

mekaniikkasuunnittelu, koeponnistus, hydrostatiikka, hydrodynamiikka



THESIS
April 2016
**Degree Programme in Mechanical
and Production Engineering**
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
p. +358 (0)13 260 6800

Author (s)
Antti Sorsa

Title
Designing of Mobile Pressure Test Unit

Commissioned by
Outotec Turula Oy

Abstract

The goal of this thesis was to design a mobile pressure test unit to perform tightness tests with water for the client's concentrate burner's cooling elements. The unit can be also used for testing other products. The unit's main objective is to solve the problem of the inconvenient location of the current fixed test point. The unit would be available close to the assembly point of the cooling elements, in which case the unit allows employees to save plenty of time and effort.

The project started by collecting requirements for the unit with the client. Next, a list of required functions and features for the unit was drafted. This project included process and structure design and diverse selection of components. In 3D design was made by using Creo Parametric 2.0 software. Information for the project was collected and studied from various of available materials. The used sources were data made by the components manufacturers, domestic literature and several information sources from Internet. In addition, recommendations from suppliers were also asked.

The result of this thesis was a list of parts, as well as a description and drawings of the testing unit. The total cost of the components was a bit below 10 000 €. The client estimates that the unit's payback period is 5–8 years.

Language

Finnish

Pages 46
Appendices 11
Pages of Appendices 22

Keywords

mechanical engineering, hydrostatic pressure test, hydro-statics, hydro-dynamics

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Työn rajaus ja sisältö	7
1.2	Outotec Oy	7
2	Tutkimustyö	8
2.1	Suunnitteluprosessi	8
2.2	Nesteiden fysiikka	9
2.2.1	Virtaus	9
2.2.2	Paine putkistossa	10
2.2.3	Bernoullin yhtälö	12
2.2.4	Virtaustyyppi ja Reynoldsin luku	13
2.2.5	Kitka- ja kertahäviöt putkistossa	13
2.3	Pumpputeoriaa	15
2.3.1	Keskipakopumppu	15
2.3.2	Monivöhykepumppu	17
2.3.3	Nostokorkeus	18
2.3.4	Imupuolen minimipaine	19
2.3.5	Pumpun tuoton yleisimmät säätötavat	20
2.4	Kavitaatio	20
2.5	Pyörre ilmiö	23
3	Suunnittelu ja toteutus	23
3.1	Tehtävän alustus	23
3.2	PI-kaavio	24
3.3	Komponenttien valinnat	25
3.3.1	Vesipumppu	26
3.3.2	Vesipumpun suojaus käytönaikana	29
3.3.3	Painekorotukseen optio	31
3.3.4	Vesisäiliö	32
3.3.5	Suodatus	34
3.3.6	Venttiilit	34
3.3.7	Magneettinen virtausmittari	35
3.3.8	Taajuusmuuttaja	35
3.4	Rungon suunnittelu	36
3.5	Putkiston lujuustarkastelu ja asennus	40
3.6	Käyttökuvaus ja testien toimintakuvaus	41
3.7	Osaluettelo ja takaisinmaksuaika	42
4	Pohdinta	43
	Lähteet	45

Liitteet

Liite 1	Mahdolliset säiliön imuputkigeometriat pyörteen laskentaan
Liite 2	PI-kaavio
Liite 3	Xylect-ohjelmistoratkaisut
Liite 4	Rikastepolttimen jäähdytysrunko
Liite 5	Paineenkorotuspumpun datalehti
Liite 6	Pumpun käyttöohjeesta poimittuja ohjeita pumpun käytöstä
Liite 7	Suodatusastegrafiikka

Liite 8	Pussisuodatinsäiliön datalehti
Liite 9	Fem-analyysi
Liite 10	Osaluettelo
Liite 11	Valmistuspiirustukset

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheen sain Karelia-ammattikorkeakoulusta valmistuneelta kone-tekniikan opiskelijalta, joka oli ilmoittanut mahdollisesta opinnäytetyöaiheesta häntä opettaneelle Karelia-ammattikorkeakoulun opettajalle. Opiskelija työskentelee Outotec Turulan tehtaalla Outokummussa, mikä myös toimii toimeksiantajaryhtymänä. Opettajalta sain tiedon tästä aiheesta ja kiinnostuin siitä niin, että päätin tehdä aiheesta opinnäytetyöni.

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella liikuteltava testauslaitteisto, jolla voidaan tehdä vedellä tiiviyskokeet yrityksen valmistamille rikastepolttimen jäähdytysrungoille. Testausmenetelminä ovat vedellä tehtävät virtaus- ja painekokeet. Testien tarkoituksena on varmistaa jäähdytysrungon tiiviys. Laitteen koko tuli olla kohtuullisen suuri, koska haluttu vesisäiliön kokoluokka on 1,5 m³. Tehtävänä oli suunnitella laitteisto kokonaisuudessaan, mikä sisältää laitteen toiminnan ja runkorakenteen suunnittelun sekä osien valintaa ja mitoitusta.

Turulan tehtaalla tilanne oli sellainen, että testauspistettä eli runkovesilinjaa ei ole hitsaushallissa, jossa jäähdytysrungot kasataan. Hitsaajat joutuvat siis kuljettamaan tuotteen asennushalliin, jossa sijaitsee lähin testauspiste. Asennushallissa jäähdytysrunkojen testausta haittaavat meneillään olevat asennustyöt. Tämän ongelman takia hitsareilta voi mennä pahimmillaan puolet työvuorosta.

Ongelman ratkaisuun on kaavailtu kahta vaihtoehtoa. Ensimmäinen on laajentaa runkovesilinjaa hitsaushalliin ja toinen vaihtoehto on, että rakennetaan erillinen testauslaitteisto. Kustannukset ovat tietysti keskeinen kriteeri valinnassa. Toimeksiantaja on arvioinut, että testauslaitteiston rakentaminen tulee olemaan edullisempi ratkaisu kuin runkovesilinjan rakentaminen hitsaushalliin. Lisäksi testauslaitteiston liikuteltavuus ja mahdollinen käyttö muihin tuotteisiin ovat laitteistoa tukevia seikkoja.

1.1 Työn rajaus ja sisältö

Laitteiston suunnitteluun vaaditaan monipuolista osaamista. Suunnittelussa huomioon otettavia yksityiskohtia kertyy runsaasti, joten olen joutunut rajamaan muutamia asioita raportin ulkopuolelle. Tässä opinnäytetyössä keskityn seuraaviin asioihin:

- laitteen toiminnan suunnittelu ja kuvaus
- osien valinta ja mitoitus
- runkorakenteen suunnittelu ja mitoitus
- putkiston suunnittelu ja mitoitus

Rajaan pois opinnäytetyöstäni seuraavia asioita:

- sähkökuvat
- hoito- ja huolto-ohjeet.

1.2 Outotec Oy

Outotec on maailmanlaajuisesti toimiva teknologiayhtiö, joka suunnittelee ja toimittaa mineraalirikastamoja ja metallurgisia laitoksia, prosesseja, erikoislaitteita ja elinkaari palveluja perusmetallien tuotantoon, rautamalmin, ferroseoksien ja titaanipitoisten raaka-aineiden prosessointiin, rikkihapon tuotantoon, sekä alumiinioksidin ja kevytmetallien tuotantoon. Yhtiön liiketoiminta on jaettu neljään liiketoiminta-alueeseen: Non-ferrous Solutions, Ferrous Solutions, Energy, Light Metals & Environmental Solutions ja Services. Outotec aloitti toimintansa vuonna 2006, kun Outokumpu Oyj muodosti teknologiatoimialastaan Outokumpu Technology Oyj -nimisen yhtiön. Samana vuonna yhtiö muutti nimensä Outotec Oyj:ksi. [1.]

Outotec tarjoaa edistyksellistä teknologiaa ja palveluja maapallon luonnonvarojen kestävään hyödyntämiseen. Maailman johtavana mineraalien- ja metallienjalostusteknologian toimittajana Outotec on kehittänyt vuosikymmenien aikana lukuisia urauurtavia teknologioita. Yritys tarjoaa myös innovatiivisia ratkaisuja teollisuusvesien käsittelyyn, vaihtoehtoisten energialähteiden hyödyntämiseen ja kemianteollisuuteen. Outotec on listattu NASDAQ OMX Helsingissä. [2.]

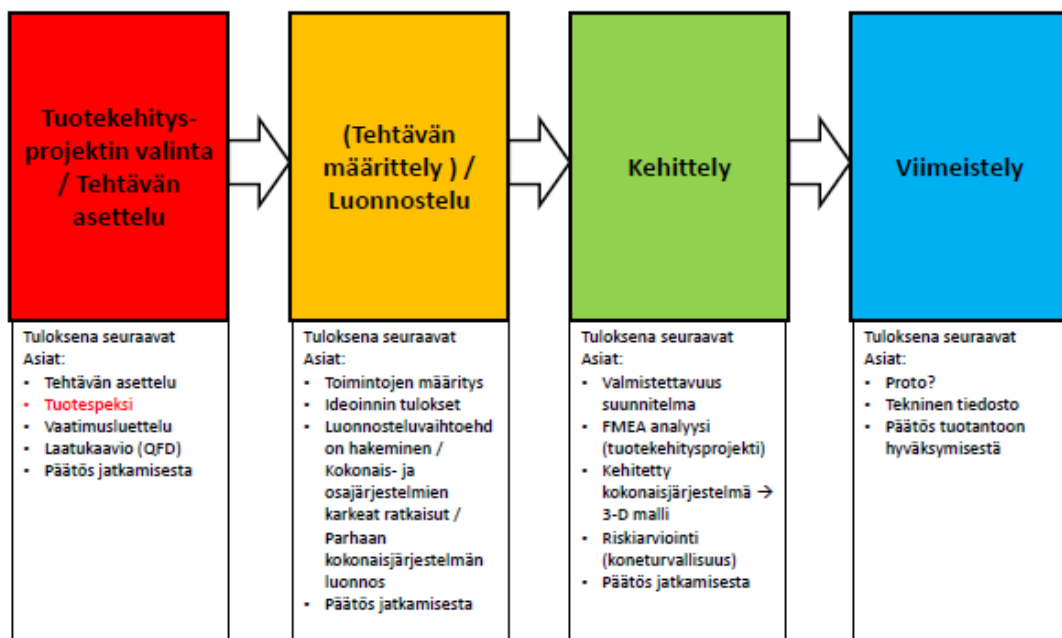
Outotec Turula on kokenut konepaja, joka valmistaa koneita, komponentteja, laitteita ja tuotantolinjoja tarkasti asiakkaan toiveiden, vaatimusten ja suunnitelmien mukaisesti. Yrityksellä on 17 500 neliötä tuo-

tantotilaa Outokummun teollisuuskylässä. Avarat hallit on suunniteltu mittavien laitekokonaisuuksien valmistamiseen ja kokoonpanoon. Sisäisiin kuljetuksiin on mm. kaksi 60 tn vetomestaria ja useita 10 - 50 tn siltanostureita. [3.]

2 Tutkimustyö

2.1 Suunnitteluprosessi

Tässä suunnittelutyössä hyödynsin sovellettuna systemaattista suunnitteluprosessia nimeltään VDI 2222, joka voidaan jakaa neljään vaiheeseen kuvion 1 mukaisesti. Mallia hyödyntäen saadaan määrätietoinen polku suunnitteluprosessille.



Kuvio 1. VDI 2222:n suunnitteluvaiheet sisältöineen [4].

Tehtävän asetteluvaiheen olennainen tehtävä on tavoitteen määrittäminen.

Laaditaan lähtötiedot tehtävästä, mikä sisältää mm. seuraavat asiat:

- kuvaus kehitettävästä tuotteesta
- tavoitteiden ja vaatimusten asettaminen. [4.]

Luonnosteluvaiheessa ideoidaan erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja laitteen rakenteesta ja toiminnasta käyttämällä parhaiksi havaittuja ideointimenetelmiä.

Kehittelyvaiheen lähtökohtana ovat luonnosteluvaiheen periaateratkaisut. Tuotteen rakenne konstruoidaan lopulliseksi, yksikäsitteiseksi ja täydelliseksi rakennemuodoksi lähtien vaikutusrakenteista ja periaateratkaisuista. Suunnitteluun kuuluvat seuraavat vaiheet:

- karkea suunnittelu
- hienosuunnittelu
- suunnitelman täydentäminen ja tarkastaminen. [4.]

Viimeistelyvaiheessa suunnitellaan osat loppuun ja suoritetaan rakenteen optimointia. Seuraavana tehdään suunnitteludokumentit ja suoritetaan prototyypin valmistus ja testaus. [4.]

2.2 Nesteiden fysiikka

2.2.1 Virtaus

Virtaus tarkoittaa ainemäärää, minkä esimerkiksi pumppu siirtää aikayksikköä kohden. Virtauslajit jaetaan kahteen osaan; tilavuusvirtaus ja massavirtaus. Tilavuusvirtaus on riippumaton nesteen tiheydestä, kun taas massavirtaus on riippuvainen. [5, s. 83.] Taulukossa 1 on havainnollistettu, että suurilla lämpötilaeroilla on vaikutusta veden tiheyteen. Tilavuusvirtauksen pysyessä samana massavirtaus muuttuu. Tämä asia pitää mahdollisesti ottaa huomioon järjestelmää suunniteltaessa. Tämän opinnäytetyön suunnittelussa on käytetty tilavuusvirtaa, koska nesteen lämpötila on aina lähes huoneenlämpöinen.

Taulukko 1. Ero tilavuus- ja massavirtauksien välillä [5, s. 83].

Examples	Unit	Water	
		at 20°C	at 120°C
Volume flow Q	m ³ /h	10	
Density	kg/m ³	998	943
Mass flow Q _m	kg/h	9980	9403
	kg/s	2.77	2.62

Tilavuusvirtaus saadaan määritettyä yhtälöllä 1.

$$q_v = Av \quad (1)$$

jossa q_v = tilavuusvirta (m³/s)

A = putken poikkileikkauksen pinta-ala (m²)

v = nesteen keskimääräinen virtausnopeus (m/s)

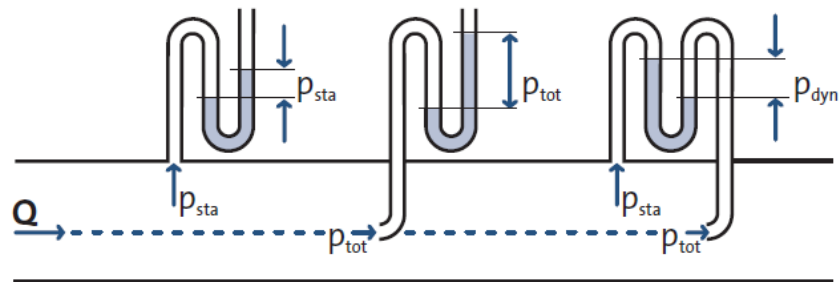
2.2.2 Paine putkistossa

Paine on suure, mikä ilmaisee pinta-alalle kohdistuvaa voimaa. Nesteen virtauksessa putkistossa kokonaispaine muodostuu kolmesta osasta: ympäristön staattisesta eli ilmanpaineesta, nesteen hydrostaattisesta ja nesteen dynaamisesta eli kineettisestä paineesta [6, s. 114]. Staattista painetta voidaan mitata kohtisuoraan virtaukseen nähden asennetulla painemittarilla. Dynaamisen paineen aiheuttaa nesteen virtausnopeus, jota ei saada mitattua normaalilla painemittarilla, vaan se saadaan määritettyä esimerkiksi yhtälöllä 2 [5, s. 84]. Kuviossa 2 esitetään, kuinka nämä kolme painekomponenttia voidaan määrittää putkistossa.

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2)$$

jossa ρ = nesteen tiheys (kg/m³)

$v =$ nesteen virtausnopeus (m/s)

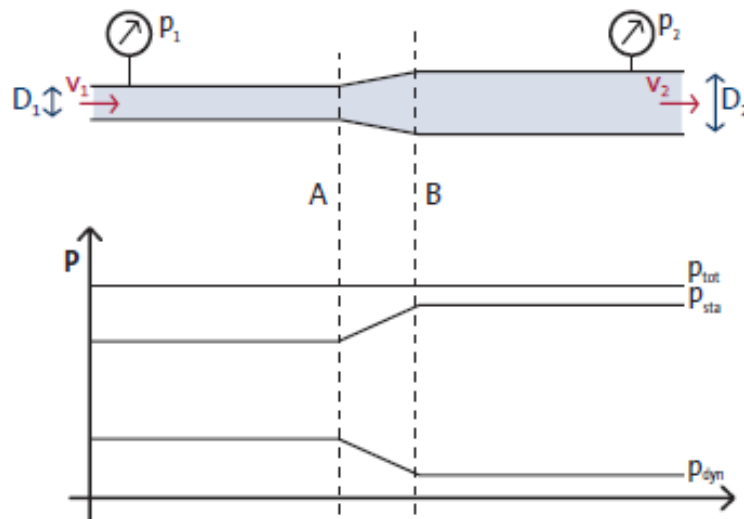


Kuvio 2. Putkiston kolme painekomponenttia [5, s. 84].

Dynaaminen paine on riippuvainen staattisesta paineesta, joka saadaan määritettyä yhtälöllä 3. Kuviossa 3 on esimerkki tilanteesta, jolloin putkessa on laajennus. Silloin dynaamisen ja staattisen paineen välinen suhde muuttuu. Tämä johtuu virtausnopeuden muutoksesta. Virtauksen energia eli kokonaispaine säilyy kuitenkin Bernoullin yhtälön mukaisesti. Paineesta puhuttaessa on myös tärkeää määrittää puhutaanko absoluuttisesta paineesta vai ylipaineesta eli paine-erosta systeemin ja ympäristön välillä.

$$p_h = \rho g h \quad (3)$$

jossa $g =$ gravitaatiokiihtyvyys (m/s^2)
 $h =$ korkeus valitusta nollapisteestä (m)



Kuvio 3. Staattisen ja dynaamisen paineen yhteys. Kitkahäviöitä ei ole huomioitu. [5, s. 84.]

2.2.3 Bernoullin yhtälö

Bernoullin yhtälö on keskeinen yhtälö, kun ratkaistaan putkiston nesteen virtauksia ja paineita. Yhtälön mukaan putkistossa virtaavan nesteen energia säilyy. Yhtälössä 4 esitetään laskentakaavan rakenne, jossa kokonaispaine muodostuu aikaisemmin mainituista kolmesta painekomponentista. Todenmukaisuuden lisäämiseksi yhtälöön on lisätty vielä pumpun tuottama painelisäys yhtälön ensimmäiselle puolelle ja kitka- ja kertahäviöistä aiheutuvat painehäviöt toiselle puolelle [6, s. 128].

$$p_1 + \frac{\epsilon}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + p_{tf} = p_2 + \frac{\epsilon}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + p_f \quad (4)$$

jossa ϵ = virtaustyyppi, 1 (turbulentille) tai 2 (laminaariselle)

p_{tf} = pumpun tuottama painelisäys (Pa)

p_f = painehäviöt (Pa)

2.2.4 Virtaustyyppi ja Reynoldsin luku

Nesteen virtaus voi olla laminaarista tai turbulenttista. Laminaarisessa virtauksessa neste virtaa yhdensuuntaisesti pyörteilemättä. Virtausnopeuden kasvaessa virtaus muuttuu turbulentiksi, jossa virtaus pyörteilee. Nestehiukkaset eivät noudata samaa rataa, vaan liikkuvat välillä jopa virtaussuuntaa vastaan. Laminaarisessa virtauksessa häviöt kasvavat virtausnopeuden funktiona. Turbulenttissa virtauksessa virtausnopeuden kasvu kasvattaa häviötä hyvin jyrkästi eli eksponentiaalisesti. [7, s. 107.] Teorian keksijä Reynolds totesi kokeillaan, että virtaus on laminaarista, jos $Re < 2100$ ja turbulenttia > 3000 . Näiden välillä se voi olla kumpaa tahansa. [6, s. 126.] Yhtälössä 5 esitetään laskentakaava Reynoldsin luvun määrittämiseen.

$$R_e = \frac{\rho v D}{\eta} \quad (5)$$

jossa ρ = tiheys (kg/m^3)
 v = virtausnopeus (m/s)
 D = putken halkaisija (m)
 η = dynaaminen viskositeetti ($\text{Pa} \times \text{s}$)

2.2.5 Kitka- ja kertahäviöt putkistossa

Laminaarisessa virtauksessa kitkavastus riippuu ainoastaan Reynoldsin luvusta. Turbulenttissa virtauksessa kitkavastukseen vaikuttavat myös putken sisäpinnan karkeus ja halkaisija. [7, s. 110.]

Kertavastukset syntyvät järjestelmässä olevissa putkimutkissa ja -haaroissa, liittimissä, erilaisissa kuristuksissa ja venttiileissä [7, s. 110].

Yhtälössä 6 esitetään laskentakaava suoran putken putkistohäviölle.

$$p_f = \lambda \frac{1}{2} \rho v^2 \frac{L}{d} \quad (6)$$

jossa λ = kitkavastuskerroin

ρ = tiheys (kg/m³)
 v = virtausnopeus (m/s)
 L = putken pituus (m)
 d = putken halkaisija (m)

Kitkavastuskerroin saadaan laminaariselle virtaukselle määritettyä yhtälöllä 7.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

Turbulentille virtaukselle löytyy useita likiarvokaavoja kitkavastuskertoimen määrittämiseen, joista esimerkkinä yhtälössä 8 esitetään Colebrook-White -laskentakaava.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (8)$$

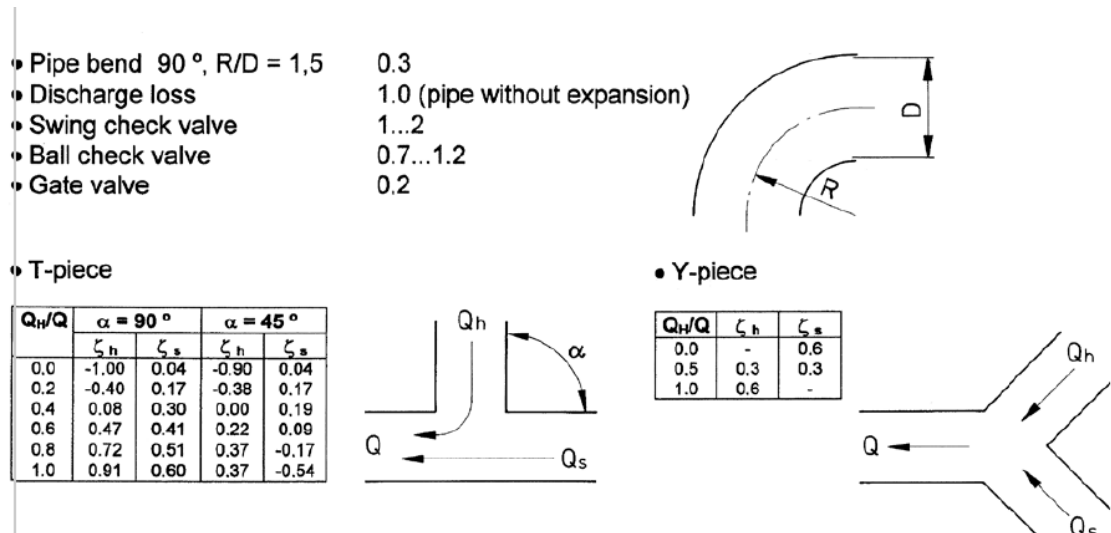
jossa ε = putken karkeus (mm)
 D = putken halkaisija (mm)
 Re = Reynoldsin luku

Kitkavastuskerroin voidaan myös määrittää käyttämällä Moodyn diagrammia, josta graafiseen määrittämiseen tarvitaan Reynoldsin luku, putken karkeus ja putken halkaisija.

Paikallishäviöiden eli kertavastusten laskentaan käytetään yhtälöä 9, jossa paikallisvastuskerroin on taulukoitu vakio. Esimerkkejä kertoimista on esitetty kuviossa 4.

$$p_f = \zeta \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (9)$$

jossa ζ = paikallisvastuskerroin, taulukot esim. kuviossa 4, on putken taivutus 90°, R/D = 1,5, ζ = 0,3.

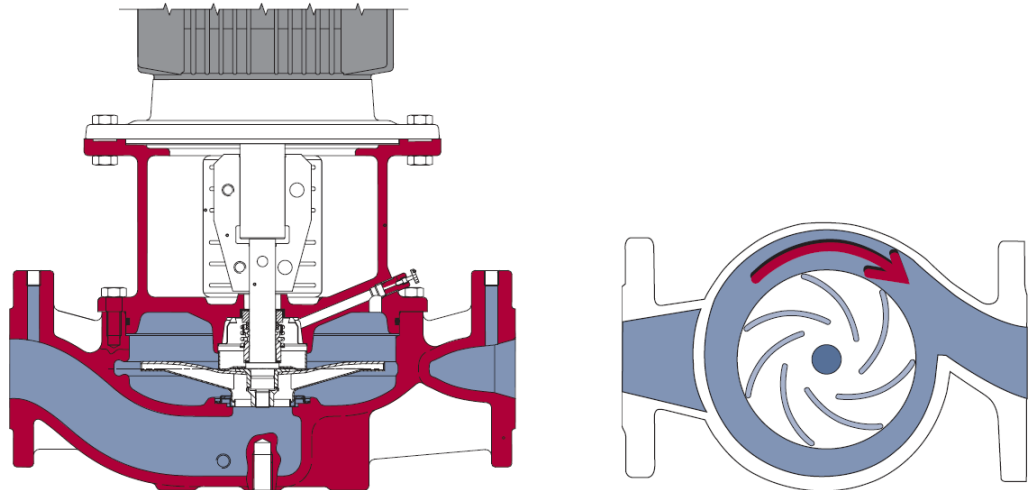


Kuvio 4. Paikallisvastuskertoimia [5, s. 136].

2.3 Pumpputeoriaa

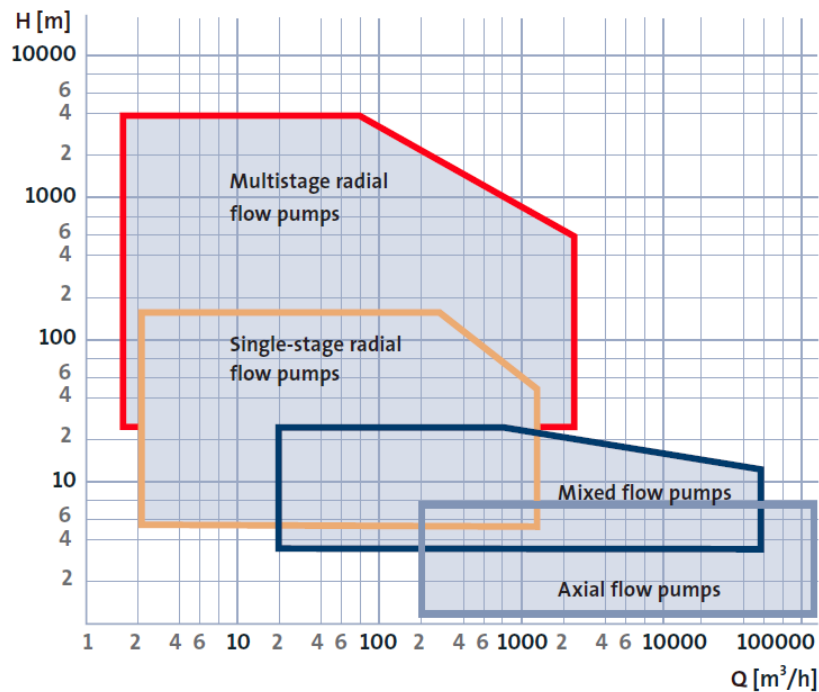
2.3.1 Keskipakopumppu

Vuonna 1689 fyysikko Denis Papin keksi keskipakopumpun ja tällä periaatteella toimiva pumppu on yhä edelleen käytetyin maailmassa. Keskipakopumpun periaate on yksinkertainen: Neste johdetaan pyörivän siipipyörän silmästä ja keskipakovoiman pakottamana neste siirtyy kiihtyvällä nopeudella ulkokehälle. Rakenne on yksinkertainen ja edullinen valmistaa. Keskipakopumppu tarjoaa tasaisen nestevirtauksen ja virtausta voidaan säätää kuristamalla painepuolella aiheuttamatta vahinkoa pumpulle. [5, s. 8.] Pumpun rakenne on avoin, joten sen ollessa pysähdyksissä neste pääsee virtaamaan takaperin, minkä takia pumpun jälkeen on yleensä asennettu vastavirtaventtiili. Kuviossa 5 on esitetty keskipakopumpun rakenne.



Kuvio 5. Keskipakopumpun rakenne [5, s. 8].

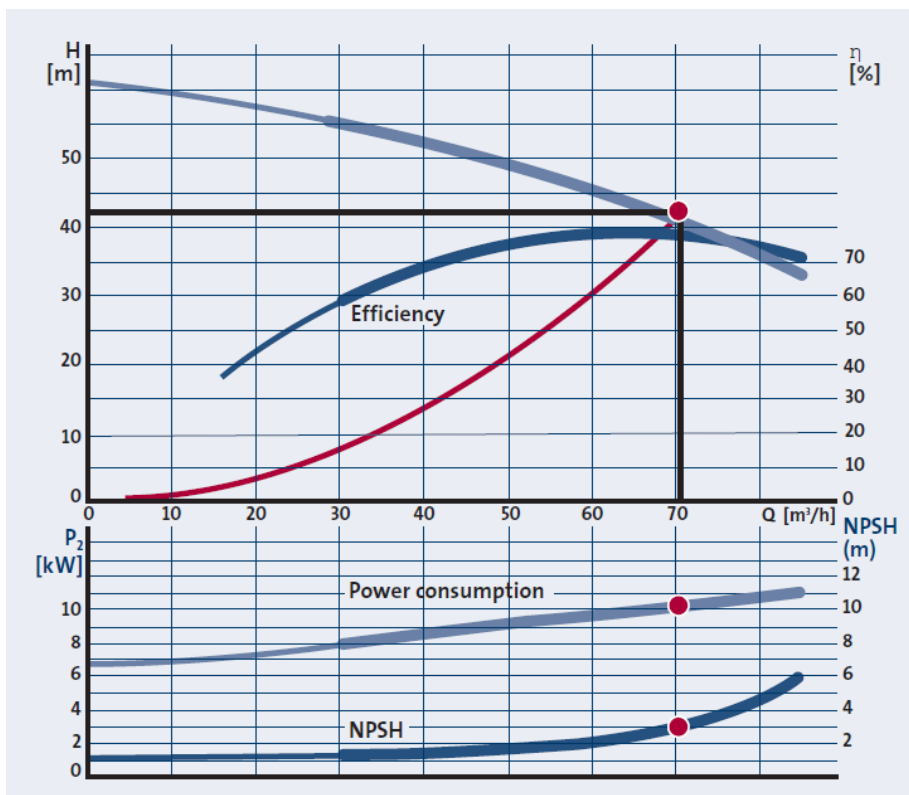
Pumppujen valmistajilla on määritetty pumpeille ominaiskäyrät, joita voidaan hyödyntää valittaessa sopivaa pumppua omaan projektiin. Kuviossa 6 esitetään erilaisten keskipakopumpputyypin virtaus- ja nostokykyskaaloja.



Kuvio 6. Virtaus- ja nostokykyskaalat erilaisilla keskipakopumpputyypeillä [5, s. 8].

Kuvio 7 kuvastaa tyyppillistä keskipakopumpun ominaiskäyriä, jossa vaakakselilla ilmoitetaan virtausnopeus ja pystyakselilla nostokorkeus. Lisäksi valmistajalta saadaan kaavioon lisättyä kuvioon ominaissuorat hyötysuhteelle, te-

honkulutukselle ja NPSH:lle. Punainen systeemikäyrä määräytyy systeemin kokonaisvastuksen mukaan. Systeemikäyrän ja pumpun virtaus-nostokykykäyrän leikkauskohta on pumpun toimintapiste. Lisää kuvioon liittyvistä termeistä kerrotaan seuraavissa luvuissa.



Kuvio 7. Tyypillisen keskipakopumpun toimintakäyrä [5, s. 9].

Jokaiselle pumpulle on laadittu ominaiskäyrät standardin ISO 9906 Annex A -mukaan, mikä määrää toleranssit ominaiskäyrille:

- $Q \pm 9 \%$
- $H \pm 7 \%$
- $P \pm 9 \%$
- $\eta -7 \%$. [5, s. 9.]

2.3.2 Monivöhykepumppu

Monivöhykepumppu on suosittu malli paineenkorotustarpeisiin ja yksi sen huomattavimmista eduista muihin nähden on, että se vaatii vähän asennuspinta-alaa. Pumpussa on kaksi tai useampi siipipyörää sarjassa, jolloin vedelle voi-

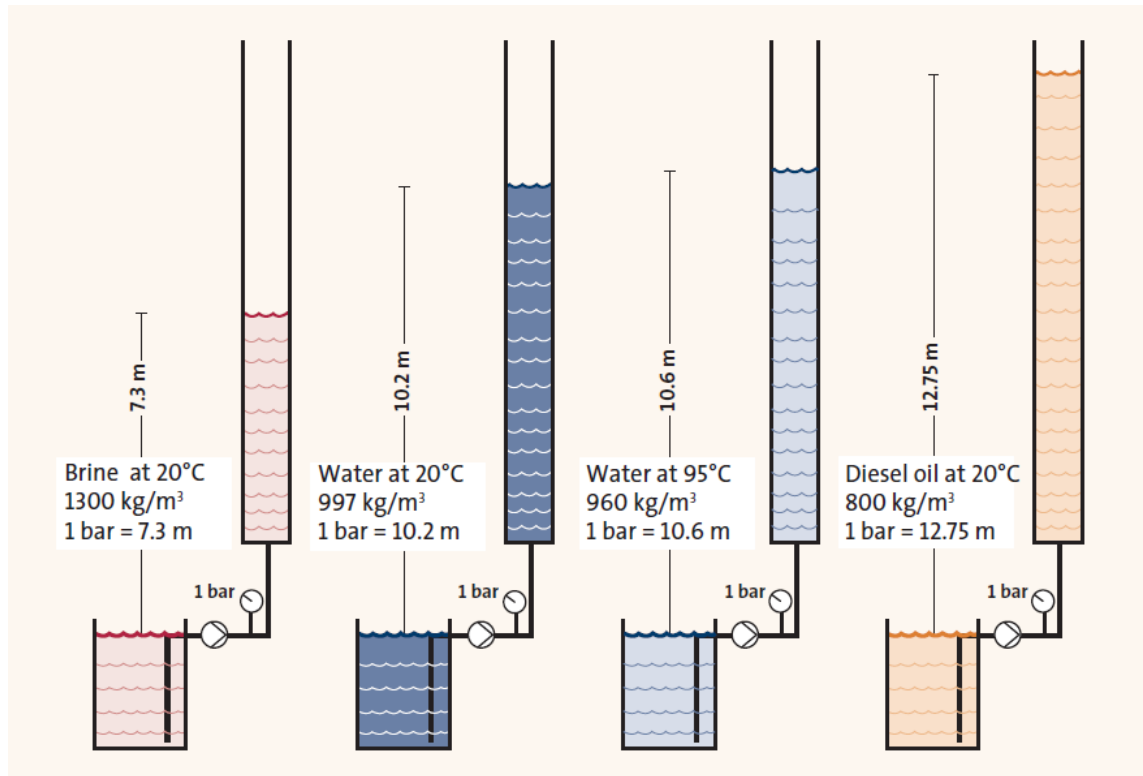
daan saada aikaan suuri dynaaminen paine. Monivöhykepumpulla saadaan aikaan korkeita nostokorkeuksia kohtuullisella virtauksella. Tavallisia käyttöalueita ovat veden pumppaus ja kierto kunnissa, teollisuudessa ja maataloudessa, paineenkorotus ja vesihuolto, kastelujärjestelmät maataloudessa ja urheilukentillä, pesujärjestelmät ja suihkulähteet, vedenpuhdistusjärjestelmät ja käänteis-osmoosi [8].

2.3.3 Nostokorkeus

Pumpun ominaiskäyrässä on yleensä vaaka-akselilla tilavuusvirta ja pystyakselilla nostokorkeus. Nostokorkeus on suure, joka ilmaisee, kuinka korkealle pumppu kykenee nostamaan nestettä. Yksikkönä käytetään metriä. Yhtälöllä 10 saadaan laskettua nostokorkeus. Kuviossa 8 esitetään nesteen tiheyden vaikutus nostokorkeuteen.

$$H = \frac{\Delta p_p}{\rho g} \quad (10)$$

jossa Δp_p = Pumpun kehittämä painelisäys (Pa)



Kuvio 8. Neljän erilaisen tiheyden omaavan aineen nostokorkeus pumpun painelisäyksen ollessa 100 000 Pa [5, s. 85].

2.3.4 Imupuolen minimipaine

Imupuolen minimipaine tunnetaan parhaiten englanninkielisestä lyhenteestä NPSH (Net Positive Suction Head), mikä siis tarkoittaa pumpun imupuolen minimi absoluuttista painetta. NPSH -termistä on olemassa monenlaisia lyhenteitä:

- NPSH_a (available) tarkoittaa systeemin imuputkistossa syntyvää imupainetta
- NPSH_r (required) tarkoittaa vaadittua imupainetta pumpulle
- NPSH 3 % ilmoitetaan joskus NPSH_r:n sijasta, mikä tarkoittaa sitä, että pumpun tuottama nostokorkeuskyky laskee 3 %, kun imuputkiston paine on laskenut pumpun vaatimaan minimiin eli NPSH 3 % -arvoon. Tällöin pumpun toiminta alkaa häiriintyä, mistä johtuu suorituskyvyn heikentyminen. [9.]

Systeemin imupaine voidaan määrittää yhtälöllä 11. Laskentakaavasta saatua tulosta verrataan pumpun valmistajan määrittämään $NPSH_r$ tai $NPSH_3\%$ - lukuun. Pumpun vaatimaa imupainetta ei saa alittaa eli sen täytyy olla pienempi kuin yhtälön 11 oikean puolen termien summa, jotta vältetään kavitaatio. [10, s. 19.]

$$NPSH_r < p + h - h_{suction} - p_h \quad (11)$$

$$NPSH_r < NPSH_a$$

jossa p = staattinen paine eli ilmanpaine (m)
 p_h = nesteen absoluuttinen höyrystymispaine (m)
 h = hydrostaattinen paine (m)
 $h_{suction}$ = painehäviöt imuputkessa (m)
 $p_{suction}$ = absoluuttinen imupaine (m)

2.3.5 Pumpun tuoton yleisimmät säätötavat

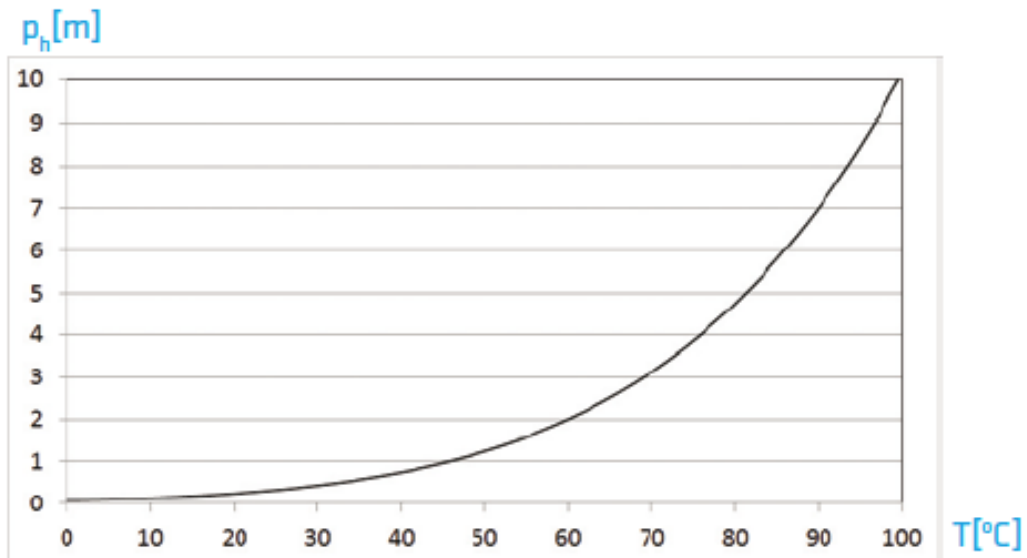
Monesti joudutaan säätämään pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa systeemin tarpeiden muuttuessa. Yleisimmin käytetyt säätötavat ovat seuraavat:

- kuristusventtiili pumpun jälkeen
- ohivirtauslinja
- pumpun siipipyörän halkaisijan muuttaminen
- pumpun pyörimisnopeuden säätö taajuusmuuttajalla. [5, s. 107.]

2.4 Kavitaatio

Kavitaatio on ilmiö, jossa nesteen paine käy alle kylläisen höyrystymispaineen, jolloin neste kiehuu. Paineen noustessa takaisin yli höyrystymispaineen höyrykuplat romahtavat kasaan, jolloin syntyy osia kuluttavia ja lopulta vaurioittavia paineiskuja. Kavitaatiossa syntyvät kuplat kuluttavat metallisia osia tehokkaasti. Kavitaatio synnyttää ylimääräistä melua, joka kuulostaa ropinalta putkistossa, aivan kuin nesteen mukana olisi pieni kiviä. Nesteen virtausnopeus ja paine ovat riippuvaisia toisistaan Bernoullin yhtälön mukaisesti. Tämä paineen ja vir-

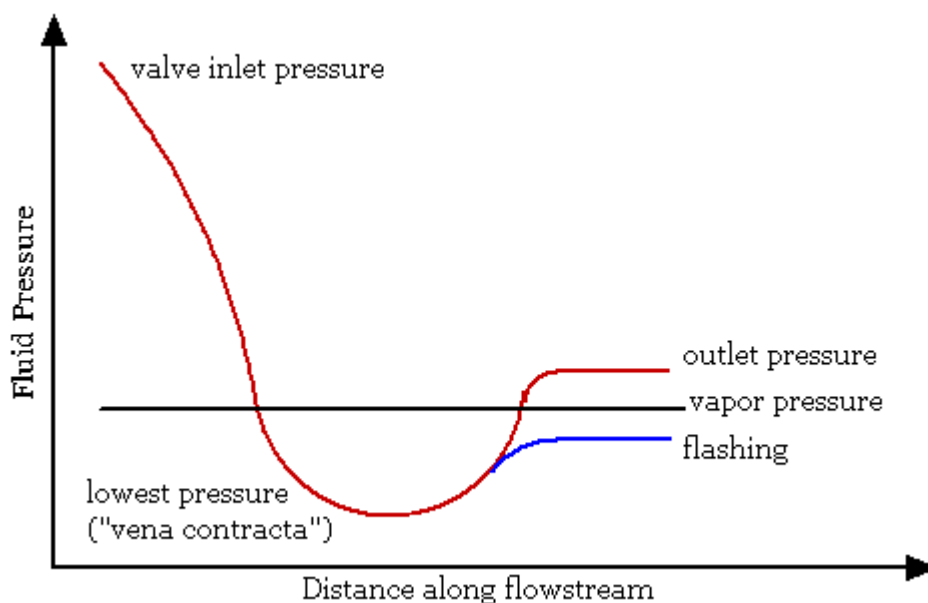
tausnopeuden yhteys on keskeinen ymmärrettävä asia kavitaation riskiä pohdittaessa. Kuviossa 9 voidaan tehdä esimerkki vedestä, joka on 0,2 Bar:n (2 m) absoluuttisessa paineessa, jolloin vesi kiehuu jo 60 °C:ssa.



Kuvio 9. Veden höyrystymispaine [10, s. 19].

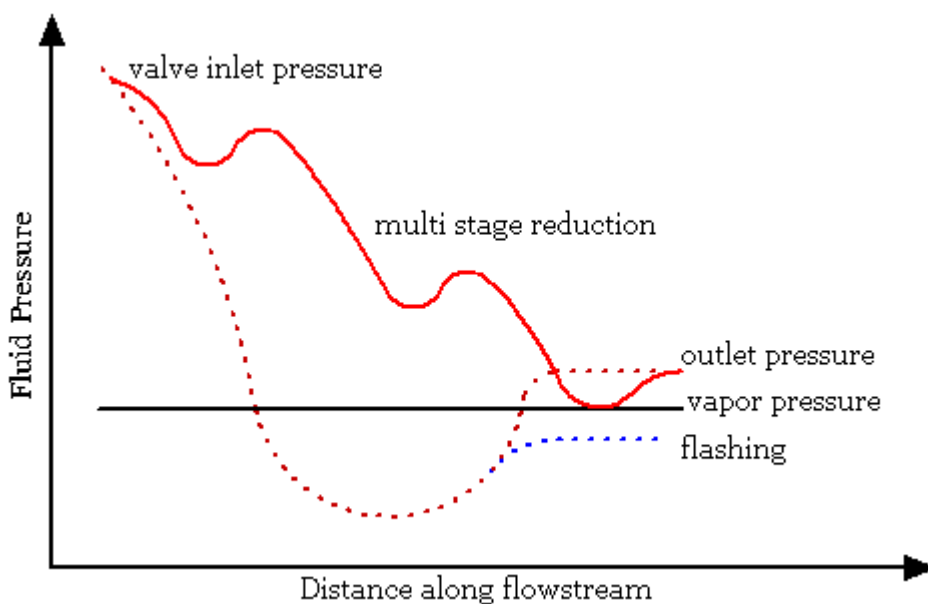
Keskipakopumpussa kavitaatiota tapahtuu todennäköisesti kahdella eri tavalla pumpun toimiessa ominaiskäyränsä ääripäissä. Ensimmäisessä tapauksessa pumppu on nostanut nestettä nostokykynsä verran. Jos neste ei pääse kiertämään pumpussa, on virtaus nolla pumpussa. Tämä johtaa pumpun tärinään ja kuumenemiseen sekä pumpussa olevan nesteen kuumenemiseen. Toisessa tapauksessa nesteen virtausnopeus kasvaa liian suureksi pumpulta ulos, johtuen liian pienestä virtausvastuksesta painepuolella. Silloin nestettä siirtyy pumpusta nopeammin ulos kuin sisään, mikä johtaa imupuolen paineen laskemiseen, ja mahdollisesti alle kylläisen höyrinpaineen. [11.]

Venttiilillä tai äkkinäisillä kuristuksilla voidaan aiheuttaa kavitaatiota. Esimerkiksi pumpun painepuolella rajusti rajoitettaessa nesteen virtausta venttiilillä voidaan saada aikaan riittävän suuri paineen lasku, jolloin virtausnopeus nousee samassa kohdassa, jolloin neste voi alittaa kylläisen höyrinpaineen. Kuviossa 10 esitetään tätä äkkinäistä paineen laskua paikallisessa ahtaumassa.



Kuvio 10. Äkillinen paineen putoaminen paikallisessa ahtaumassa [12].

Yksi tapa välttää kavitaatio säätöventtiilissä on käyttää useampaa venttiiliä sarjassa. Kuviossa 11 on esimerkki tapauksesta, jolloin virtausta ei ole kuristettu liian paljon kerralla ja näin on vältetty höyrystymispaineen alittuminen.



Kuvio 11. Monivaiheinen paineen pudotus [12].

2.5 Pyörreilmiö

Pumpulla imettäessä nestettä paineettomasta säiliöstä on huolehdittava riittävästä vedenpinnan tasosta eli hydrostaattisesta paineesta. Säiliön nestepinnassa voi nähdä pyörreilmiön nestetason ollessa liian alhainen ja virtauksen ollessa riittävän suuri. Tämän ilmiön sattuessa voi pumpun imuun päätyä nesteen lisäksi ilmaa. Silloin pumpun toiminta häiriintyy. [13.]

Seuraavalla yhtälöllä voidaan määrittää systeemin säiliön imuputken ja säiliön nestepinnan välinen minimitaso, jotta pyörre ilmiöltä vältyttäisiin. Liitteessä 1 esitetään erilaiset imuputken sijainnit laskentaa varten.

$$S = D + 0,574 * q * \frac{1}{D^{1,5}} \quad (12)$$

jossa S = vaadittu matka nestepinnan ja imuputken välillä (tuuma)

D = putken halkaisija (tuuma)

q = tilavuusvirta (USgpm)

3 Suunnittelu ja toteutus

3.1 Tehtävän alustus

Tässä vaiheessa toteutettiin projektille aikataulu ja alustava tehtävälista eri sessivaiheille. Aikataulu on jaettu neljään osaan.

1. Tehtävän asettelu (marras-joulukuu)
 - a. toimeksiantajan tarpeiden selvittäminen
 - b. aikataulun laatiminen
 - c. vaatimuslistan laatiminen
2. Tehtävän luonnostelu (joulu-tammikuu)
 - a. toimintorakenteen laatiminen
 - b. järjestelmän suunnitteleminen

- c. PI-kaavion (putkitus ja instrumentointi) laatiminen
 - d. runkorakenteen ideoiminen
 - e. osalistan hahmottaminen
 - f. pääosien toimittajien selvittäminen
3. Kehittely (tammi-helmikuu)
- a. 3D-mallintaminen
 - b. osien sovittaminen kokoonpanoon
 - c. osien mitoittaminen ja valitseminen
 - d. kustannustarkastelu
4. Viimeistely (helmi-maaliskuu)
- a. kokonaisuuden optimoiminen
 - b. osaluettelon laatiminen
 - c. kokoonpanopiirustuksien tekeminen

Projektin alussa käytiin läpi millaisesta tehtävästä on kysymys. Toimeksiantajan kanssa laadimme listan ominaisuuksista. Projektin aikana osa arvoista muuttui hieman. Esimerkiksi säiliö kokoa ja testausarvoja pienennettiin. Laitteelle asetettiin seuraavat lähtöarvot:

- käytetty neste: vesi 20 °C
- vesisäiliö 1,5 m³
- virtauskoe 2-15 m³/h
- painekoe 4 Bar
- suljetun kierron järjestelmä, paluuedelle suodatin
- tarvittavat mittarit paineelle ja virtaukselle
- 3 m letkut laitteen ja testattavan väliin
- siirreltävässä haarukkavaunulla ($m_{\max} = 2500$ kg) sekä trukilla

3.2 PI-kaavio

Kaiken suunnittelun perustana toimii PI-kaavio eli putkisto- ja instrumentointikaavio, jossa on laitteen toiminnan kannalta keskeisimmät komponentit ja siitä voi nähdä miten neste voi virrata testilaitteessa. PI-kaavio jalostui projektin aikana, koska esimerkiksi painekokeen suorittamiseen haettiin eri vaihtoehtoja. Vaihto-

ehdoksi oli monia. Yksi tapa olisi täyttää testattava vedellä ja nostaa paine erillisellä käsipumpulla. Tätä menetelmää hyödynnetään tulevassa laitteessa ainakin 4 Bar korkeammissa paineissa. Toinen vaihtoehto olisi käyttää paineenpitoventtiiliä, joka pitäisi asetetun paineen venttiiliä edeltävällä puolella. Venttiili avautuu vasta, kun asetettu paine ylitetään. Tässä pitäisi kuitenkin varmistaa minimivirtaus pumpulla. Kolmantena vaihtoehtona on käyttää mekaanista säätöä eli käsiventtiileitä ohivirtauslinjassa, jossa olisi suositeltavaa olla ainakin kaksi venttiiliä sarjassa. Silloin paineenalennus tai virtauksenrajoitus ei ole liian raju yhden venttiili yli. Toinen venttiili luo hieman takapainetta ensimmäiselle venttiilille, jolloin testaus tapahtuu hallitummin ja pienemmällä kavitaatio riskillä. Tässä vaihtoehdossa käyttäjän täytyy pitää huolta jatkuvasta virtauksesta.

PI-kaavion ensimmäiseksi asetettavat komponentit olivat säiliö, pumppu, testatavalaitte ja suodatin. Seuraavana tehtävänä oli sovittaa kaavioon putkisto ja virtauksen ohjaus. Tässä täytyi miettiä tarvittavat venttiilit ja niiden sijainnit testien suorittamista ja laitteiden huoltoa varten. Esimerkiksi pumpun molemmin puolin asennetaan venttiilit, jolloin se voidaan saada tarvittaessa irti järjestelmästä huoltoa varten. Pumpun toiminnan ohjaus ja suojaus oli yksi keskeisimpiä tehtäviä, joista kerrotaan lisää luvuissa 3.3.1 ja 3.3.2. Myös tarvittavat mittarit ja niiden paikat asetettiin kaavioon. Haastavin vaihe oli suunnitella kuinka toteutetaan painekoe laitteella. Päädyttiin ohivirtauslinjaan, jossa painetta nostetaan vastustamalla virtausta venttiilikulmaa muuttamalla. PI-kaaviosta poiketen virtausta on tarkoitus rajoittaa kahdella venttiilillä sarjassa. PI-kaavio löytyy liitteenä 2.

3.3 Komponenttien valinnat

Kun laitteen PI-kaavio on selvillä, pystytään aloittamaan vaatimusten pohjalta komponenttien seulonta ja niiden alustava valinta. Ensimmäisenä keskityin pääosien ja samalla myös suurimpien osien valintaan, kuten vesipumppu, säiliö ja suodatin. Keskeisten osien selvittyä, pystyin aloittamaan myös rungon ja pääkomponenttien sijaintien suunnittelua laitteessa. Lopuksi suunnitelin putkiston ja laitteen käyttöön liittyvien toimilaitteiden sijaintien paikat.

Onnistunut suunnittelu vaatii kokemusta ja "hyvää makua". Monet toteutukset ovat kompromisseja eri vaihtoehtojen välillä. Harvoin suunnittelu voi edetä täysin suoraviivaisesti, vaan yleensä joudutaan välillä palaamaan takaisin ja pyritään iteroiden parhaaseen mahdolliseen ratkaisuun. Ratkaisussa on aina otettava huomioon myös kustannustekijät ja pyrittävä taloudelliseen ratkaisuun. [14, s. 187.]

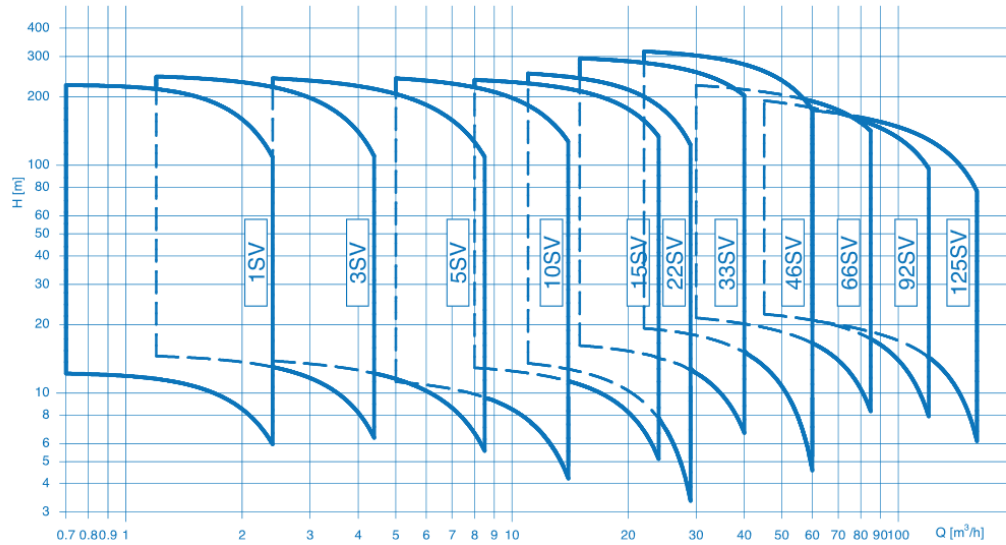
Halvimmat komponentit eivät aina ole paras ratkaisu. Usein tärkeämpiä valintatekijöitä ovat: tekniset ominaisuudet, luotettavuus ja saatavuus. Toimittajien määrää osissa pyritään pitämään mahdollisimman suppeana, koska usein se on taloudellisempaa kuin, että hajautettaisiin tilaukset useammalle eri toimittajalle halvimman hinnan toivossa. Tarjouspyyntöjä kuitenkin kannattaa tiedustella usealta mahdolliselta toimittajalta eikä suosia vain yhtä toimijaa. Keskittämällä osien tilausta joillekin toimittajille voidaan myös parantaa eri osien yhteensopivuutta. [14, s. 203.] Esimerkiksi sähköosat keskitettiin yhdelle toimittajalle.

3.3.1 Vesipumppu

Vesipumppujen seulonnassa tutkin pääasiassa kolmen pumppu valmistajan tuotteiden esitteitä. Valmistajia olivat Xylem, Kolmeks ja Grundfos. Pumppumalliksi päätyi monivyöhykepumppu, koska tällä voitaisiin suorittaa sekä paine- että virtauskokeet. Pumppu malliksi valittiin Xylem:n Lowara e-SV paineenkorotuspumppu, johon vaikutti oleellisesti valmistajan erittäin informatiiviset esitteet sekä paikallisten jälleenmyyjien suositukset.

Testaukseen virtausvaatimus oli 15 m³/h ja erilaisille testattaville kappaleille oli tarpeen voida käyttää myös pienempiä virtauksia. Tätä varten pumpun tuoton säätämiseen tarvitaan toimenpiteitä. Pääsäättäminen tapahtuu taajuusmuuttajalla, jolla saadaan säädettyä pumpun pyörimisnopeutta. Tämä säätötapa on energiatehokkain menetelmä säätää virtausta. Toinen toteutettava säätötapa on ohivirtauslinja, jolloin osa pumpun tuotosta ohjataan takaisin säiliöön. Kolmas säätötapa on pumpun jälkeisen venttiilin säätäminen eli kuristaminen painepuolella. Tätä menetelmää virtauksensäätöön tullaan tarvitsemaan todennäköisesti vähiten. Kuvioista 12 voidaan nähdä pumppumallin eri kokoluokkien vir-

tausskaalat, joista parhaiten vaatimukset täytti malli 15SV, jonka virtausskaala on 8–24 m³/h. Virtausskaalaa alempiin virtausmääriin päästään käyttämällä aikaisemmin mainittuja eri säätötapoja.



Kuvio 12. Xylem Lowara monivyöhykepumpppujen toimintaskaalat [8].

Pumppuja on saatavilla eri nostokorkeuksille, joten systeemille optimaalinen nostokorkeuskyky täytyi määrittää. Tämä tapahtui kahdessa testausmenetelmässä vaaditun nostokorkeuden määrittämisellä, joista suurempi arvo on määrittävä valintaa tehdessä. Lasketaan ensiksi painekokeessa tarvittava nostokorkeus, jolloin pumpun täytyy kyetä nostamaan paine tavoiteltuun paineeseen. Tämä paine voidaan määrittää nostokorkeutena yhtälöllä 13, kun testauspaine on 4 Bar.

$$H = \frac{\Delta p_p}{\rho g} = \frac{400\,000 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 41 \text{ m} \quad (13)$$

Toisessa testissä eli virtauskokeessa tarvittavan nostokorkeuskyvyn määrittämiseen täytyi laskea ja arvioida millaiset kokonaispainehäviöt syntyvät systeemisessä testauksessa käytettävällä tilavuusvirralla. Mitä suurempi tilavuusvirtaus on, niin sitä suurempi on myös virtausvastus, joten arvioinnissa käytettiin korkeinta testivirtausta 15 m³/h. Veden maksimi virtausnopeudeksi painepuolelle asetettiin tavoitteeksi 1,5–3 m/s ja imu puolella vaatimus on 0,5–1,5 m/s [15, s. 24].

Pumpulla asennusyhde on kooltaan DN50. Seuraavissa yhtälöissä on laskettu virtausnopeudet imu- ja painepuolelle, kun putkikoot ovat imupuolella DN80 ja painepuolella DN50.

$$v_{\text{imu}} = \frac{q_v}{A} = \frac{\left(\frac{15 \text{ m}^3/\text{h}}{3600}\right) \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0,040 \text{ m}^2 (\text{DN80})} = 0,8 \text{ m/s} \quad (14)$$

$$v_{\text{paine}} = \frac{q_v}{A} = \frac{\left(\frac{15 \text{ m}^3/\text{h}}{3600}\right) \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0,025 \text{ m}^2 (\text{DN50})} = 2,1 \text{ m/s} \quad (15)$$

Laskujen perusteella putkikoot ovat sopivat tilavuusvirtaukselle. Imupuolella käytetään suurempaa putkikokoa useasta eri syystä: varmistetaan veden tasainen saanti pumpulle, vähennetään kitkahäviöitä ja lasketaan virtausnopeutta imuputkessa, jolloin myös pyörteen muodostumisen riski vesisäiliöön on vähäisempi.

Yhtälöllä 16 on laskettu virtaukselle Reynoldsin luku, jolla määritetään virtaus-tyyppi.

$$R_s = \frac{\rho v D}{\eta} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ m/s} \times 0,05 \text{ m}}{1000 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 1\,000\,000 \quad (16)$$

Virtaus on täysin turbulenttista. Painehäviöiden laskennan yksinkertaistamiseksi käytettiin pumpun valmistajan kehittämää Xylect-mitoitusohjelmistoa, joka käyttää turbulenttisten painehäviöiden laskentaan aikaisemmin mainittua Colebrook-White -menetelmää. Syöttöarvoiksi tarvittiin putkiston koko (DN50), putkiston materiaali (uusi teräs, putken karkeus 0,1 mm), putkiston arvioitu pituus (15 m) nesteen laatu (vesi, 20 °C), virtausmäärä (4,2 l/s eli 15 m³/h) ja staattinen nostokorkeus (1,5 m). Staattinen nostokorkeus arvo tulee säiliöön palaavaan putkiston korkeus erosta pumpun imupäähän. Putkiston lisäksi häviöitä aiheuttaa putkiston muut osat. Vastustusta mitattiin ohjelmiston oletus paikallisvastuskertoimilla. Muita osia ovat mm. venttiilit, putkiston mutkat, suodatin ja testattava laite. Testattavan laitteen ja suodattimen kertavastuskertoimet ovat omia arvioita. Laskelmasta on kuvankaappaus liitteessä 3 osassa 1. Kokonaishäviöiksi ohjelmiston mukaan muodostui noin 14 m.

Suodattimen valinnasta kerrotaan lisää osassa 3.3.5, mutta voidaan mainita, että siinä päädyttiin suodattimeen, jonka veden läpäisykyky on 40 m³/h. Voidaan siis todeta, että suodatin ei merkittävästi vastusta virtausta.

Testattavassa jäähdytysrungossa merkittävimmän virtausvastuksen riskin aiheutti paikallinen ahtauma rungon päädyssä. Liitteestä 4 löytyy kuvat toimeksiantajan jäähdytysrungosta, missä osassa 3 on kuva paikallisesta ahtaumasta. Seuraavassa yhtälössä on laskettu ahtauman pinta-ala ja se muutettuna putken halkaisijaksi.

$$A = \pi r_1^2 - \pi r_2^2 = \pi \times \left(\frac{450 \text{ mm}}{2}\right)^2 - \pi \times \left(\frac{450 \text{ mm} - 2 \times 3,4 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 4770 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4770 \text{ mm}^2}{\pi}} = 39 \text{ mm} \rightarrow d = 78 \text{ mm} \quad (17)$$

Tämän jäähdytysrunгон paikallinen ahtauma vastaa kokonaispinta-alaltaan reilusti suurempaa putkea kuin putkistossa käytetty, jolloin merkittävää virtausvastuksen riskiä ei ole. Lisäksi laitteen virtauskäytävät ovat virtaukselle edullisesti suunniteltuja. Esimerkiksi laite ei sisällä äkkinäisiä ahtaumia tai karkeita materiaaleja.

Pumpun nostokorkeuden määrääväksi arvoksi saatiin painekokeessa vaadittu nostokorkeus, joka on 41 m. Pumpuksi valittiin malli 15SV04F040T. Pumpussa on neljä siipipyörää sarjassa ja siinä on 4 kw sähkömoottori. Pumpun tarkat tiedot löytyvät liitteestä 5. Vesipumpun käyttöohjeesta poimittuja ohjeita löytyy liitteestä 6.

3.3.2 Vesipumpun suojaus käytönaikana

Pumpun pitkäikäisen käytön varmistamiseksi oli tärkeää toteuttaa eräitä toimenpiteitä pumpun varman toiminnan kannalta. Ensimmäisenä tarkastettiin riittävä systeemin imupuolen paine. Tarkastellaan tilannetta maksimi virtauksella

eli 24 m³/h. Painehäviöt on laskettu Xylect-mitoitusohjelmistolla, josta löytyy kuva liitteestä 3 osasta 2.

Lasketaan järjestelmän NPSH_a. Ilmanpaine on 1 Bar eli 10 m ja veden pinnan korkeus on säiliön nestepinnan alaraja eli noin 0,5 m säiliön pohjasta. Imuputken painehäviöt ovat 2,4 m. Putken kokona on käytetty kokoa DN50, vaikka imuputki on todellisuudessa lähes kokonaan kokoa DN80. Veden höyrystymispaine on 0,5 m huoneenlämpötilassa. Lopuksi yhtälössä huomioidaan vielä 0,5 m:n varmuuslisä.

$$NPSH_r < p + h - h_{suction} - p_h - 0,5m \quad (18)$$

$$Ehto: NPSH_r < NPSH_a$$

$$NPSH_r < 10m + 0,5m - 2,4m - 0,5m - 0,5m \rightarrow 7,1m$$

Pumpun NPSH_r katsotaan pumpun data lehdeltä liitteestä 5 sivulta 1, jossa se on ilmoitettu NPSH_{3%}, joka on 1,5 m. Toisena vaihtoehtona on katsoa pumpun datalehdeltä liitteestä 5 sivulta 2 NPSH-diagrammista maksimivirtauksen kohdalta arvo, joka on noin 3,75 m. Käytetään vertaukseen suurempaa arvoa. Systemin imupaine on 7,1 m. Ehto täyttyy, joten kavitaation vaaraa ei ole kaikkein epäedullisimmassakaan tapauksessa.

Toisena asiana varmistettiin, että vesisäiliö ei koskaan pääse tyhjenemään tyhjäksi asti, jolloin pumppu pääsisi pyörimään kuivana. Tätä kutsutaan kuivakäyntisuojuukseksi. Tämä toteutetaan kytkemällä pintakytkin säiliöön, joka antaa virrankatkaisu signaalin taajuusmuuttajalle, kun asetettu alaraja vesisäiliössä on saavutettu.

Kolmas asia liittyy painepuolen suojuukseen, jonne asetetaan painelähetin. Painelähettimen tehtävänä on, että pumpun toiminta katkaistaan, kun asetettu rajapaine on saavutettu. Lisäksi taajuusmuuttajassa on ylivirtasuojaus, joka pysäyttää pumpun, kun se ylikuormittuu esimerkiksi silloin, kun virtausta ei ole tarpeeksi.

3.3.3 Paineerotukseen optio

Toimeksiantajalta ilmeni myös mahdollisia tarpeita korkeammille testauspaineille toisissa tuotteissa kuin mitä vesipumpulla voidaan aikaansaada. Paineekorotuspumpun kokoa ei ole järkevää suurentaa, koska sen käyttö olisi silloin haasteellista pienen virtausvastuksen takia. Optiona korkeampien testauspaineiden aikaansaamiseksi on käsikäyttöinen koeponnistuspumppu (kuvio 13). Laitteella voidaan korottaa vedenpainetta noin 30 Bar:n asti.



Kuvio 13. Käsikäyttöinen koeponnistuspumppu [16].

Käsipumppu on helppo ja tehokas paineen nostossa, koska nesteet ovat lähes kokoon puristumattomia. Lasketaan esimerkki kuinka nopeasti saadaan nostettua 500 l vettä täynnä oleva umpinainen säiliö 10 Bar:n ylipaineeseen.

$$\kappa_{\text{vesi},20^{\circ}\text{C}} = 0,459 \text{ 1/GPa} \quad (19)$$

$$\kappa = - \frac{\Delta V}{V \Delta p}$$

jossa κ = puristuvuus (1/Pa)
 V = tilavuus (m^3)
 ΔV = tilavuuden muutos (m^3)
 Δp = paineen muutos (Pa)

Lasketaan seuraavaksi tilavuuden muutos eli kuinka paljon vesi puristuu 10 Bar:n ylipaineessa.

$$\Delta V = (-)\kappa \times V \times \Delta p = (-)0,459 \times 10^{-9} \frac{1}{Pa} \times 0,5m^3 \times 1\,000\,000Pa = -0,000\,23m^3$$
(20)

Pumpulla yksi pumppaus siirtää vettä noin 62 cm³. Lasketaan kuinka monella pumppauksella saadaan paine nostettua tavoite paineeseen.

$$iskuja(kpl) = \frac{\Delta V}{\Delta V_{käsi\,pumppu}} = \frac{0,23\,dm^3}{0,062\,dm^3} = 3,7$$
(21)

Vaadittu ylipaine saadaan nostettua neljällä pumppaus iskulla.

3.3.4 Vesisäiliö

Veden varastointisäiliön vaihtoehtoina oli joko hankkia ostosäiliö tai valmistaa se itse. Mahdollisen ostosäiliön seulonnassa haasteeksi muodostui löytää riittävän suurella alayhteellä olemassa olevaa säiliömallia, koska runsaalle virtaukselle tarvittiin sisähalkaisijaltaan vähintään pumpun yhteen kokoinen alayhde (DN50). Dimensioiden täytyi olla sopivat kokonaisuutta ajatellen sekä kustannuksien täytyi olla itse tehtyä alemmat. Kriteerit täyttävä ostosäiliö löytyi Liplast oy:lta (kuvio 14). Tilavuudeksi valittiin 1500 litraa ja kirkasmuovinen versio, jolloin vedenpinnan tason voi myös erottaa ulkoapäin.

Dehous-varastosäiliöt valmistetaan korkealuokkaisesta polyeteenistä ja ne soveltuvat paineettomaan säilytykseen sekä lukuisille nesteille aina 1,15 g/cm³ ominaispainoon asti. Polyeteeni on fysiologisesti muuttumaton materiaali, jota voidaan turvallisesti käyttää kylmien käyttö- ja juomavesien varastointiin eri asennus- ja säilytyskohteissa. Mustat säiliöt ovat tarkoitettuja juomavedelle ja puhtaalle käyttövedelle. [17.]



Kuvio 14. Dehoust-juomavesi- ja varastosäiliö [17].

Dehoust-vesisäiliöiden ominaisuudet:

- Useimmille vesiliukoisille kemikaaleille
- Suuri (400 mm) huoltoluukku
- 2" kierrelähdöt ylhäällä (1100 ja 1500 2 kpl, 2000–4000 3 kpl)
- Valmiit asennusosat sarjakytkentään alayhteistä
- Mustat säiliöt juomavesikäyttöön. [17.]

Tässä vaiheessa voidaan määrittää tarkasti pintakytkimen asetettava alaraja. Virtauksena käytetään pumpun maksimi tilavuusvirtausta eli 24 m³/h. Alayhde ja imuputkisto on kooltaan DN80. Lasketaan vaadittava nestepinnan korkeus.

$$S(in) = D(in) + 0,574 \times q(USgpm) \times \frac{1}{D(in)^{4,5}} \quad (22)$$

$$S = 3 + 0,574 \times 105,7 \times \frac{1}{3^{4,5}} = 23,45 \text{ in} = 37,28 \text{ cm}$$

Pintakytkimen alarajaksi asetetaan kohta, joka on 40 cm alayhteen keskipisteestä ylöspäin.

3.3.5 Suodatus

Vesisuodatinmalleja on useita mm. automaattisesti puhdistuvia, puoliautomaattisesti puhdistuvia, kalvo-, patruuna-, pussi- ja korisuodattimia [18]. Suodattimen valintaan vaikuttivat eniten tilavuusvirran läpäisykyky, paineen kestävyys ja fyysinen koko. Vartenotettavia vaihtoehtoja oli tarjottavana usealla toimittajalla ja valmistajalla. Tarkoitukseen sopivimmaksi suodatinmalliksi osoittautui pussisuodatinsäiliö, minkä suodatus perustuu erilliseen pussi- tai korisuodattimeen. Muovisissa pussisuodattimissa on parempi suodatusaste kuin karkeammin suodattavissa metallisissa korisuodattimissa. Suodatinpussi on nopeaa ja vaivatonta puhdistaa tai vaihtaa.

Toimittajaksi valikoitui Filterit Oy, osittain johtuen aikaisemmasta yhteistyöstä Outotecin kanssa. Suodattimen runkomateriaaliksi on useita eri vaihtoehtoja, mutta veden takia sen täytyy olla vähintään ruostumatonta terästä (AISI 304) tai muovia. Rungon materiaaliksi valittiin ruostumaton teräs. Suodatinpussi on erillinen osa, jota on saatavana eri suodatusasteilla. Suodatusasteet ovat 1 µm - 100 µm. Suodatusvaatimus on, että vedestä saadaan poistettua hiomapöly ja karkeampi aines. 10 µm - 50 µm on mielestäni riittävä suodatusaste. Laitteen käytön aikana suodatusastetta voidaan muuttaa helposti, koska suodatinpussit ovat edullisia. Liitteessä 7 on grafiikka suodatustasoista. Suodatinsäiliön ja suodatinpussien tarkemmat tiedot ovat liitteessä 8.

3.3.6 Venttiilit

Laitteeseen tarvittiin venttiileitä virtauksien ohjaamiseen ja estämiseen. Painepuolella käytetään palloventtiilejä. Testattavan eristävien kahden palloventtiilin nimellisenpainekeston täytyy olla vähintään painekokeessa käytettävä paine. Painekestoksi on valittu PN40 eli 40 Bar. Muissa venttiileissä ja toimilaitteissa systeemissä riittää PN16 nimellinenpaineenkesto. Venttiileitä asennetaan seuraaviin paikkoihin:

- pumpun ja säiliön väliin 1 kpl (säiliön eristys järjestelmästä)
- pumpun jälkeen 1 kpl (kuristus)

- ohivirtauslinjaan 2 kpl
- testattavaa ennen ja jälkeen, yhteensä 2 kpl
- putkilinjaston tyhjennykseen 2 kpl (optio)
- takaisku/vastavirtaventtiili heti pumpun jälkeen 1 kpl.

Imupuolelle tulee DN80 putkenkoolle venttiili, johon on alustavasti valittu läppäventtiili, koska se on paljon edullisempi kuin saman kokoluokan palloventtiili. Tyhjennys venttiilit tulevat laitteen alaosaan, joita kautta voidaan tarvittaessa poistaa putkistoon ja suodattimeen varastoitunut vesi.

3.3.7 Magneettinen virtausmittari

Virtausmittareita on toimintaperiaatteeltaan monenlaisia. Magneettiseen virtausmittariin päädyttiin sen erinomaisten ominaisuuksien ja kohtuullisen hinnan takia (kuvio 15). Magneettisen virtausmittarin toiminnan kannalta vedellä täytyy olla riittävä johtokyky.



Kuvio 15. Magneettien virtausmittari, malli Comac Cal Flow 38 [19].

3.3.8 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on valittu, koska se soveltuu parhaiten pumpun tuoton säätöön. Toimittajan suosituksesta taajuusmuuttajaksi valittiin Vaconin valmistama

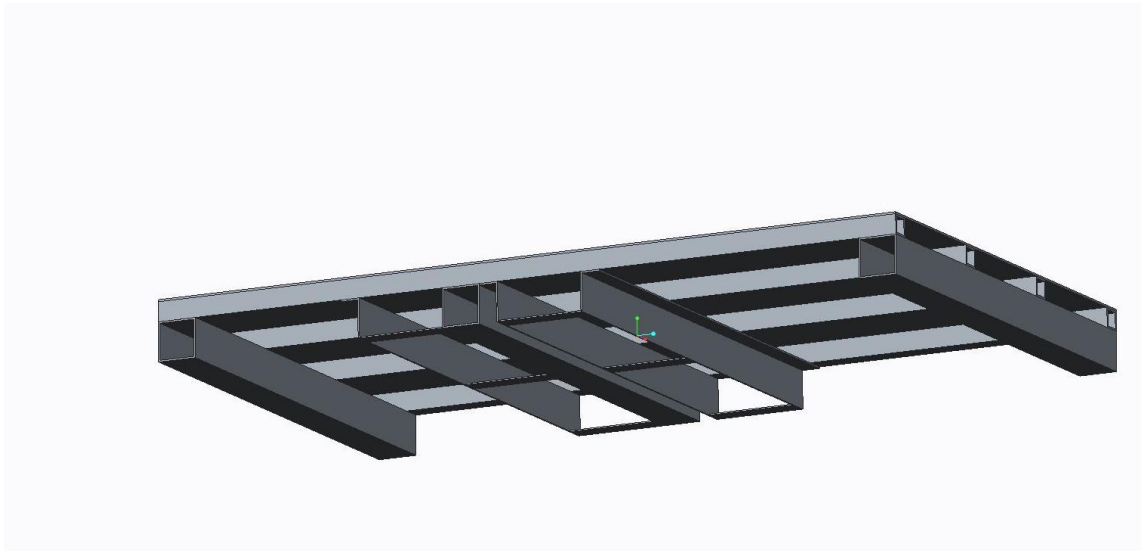
perusmalli nimeltään Vacon 10 (kuvio 16). Taajuusmuuttajaan on tarkoitus kytkeä anturitiedot painelähttimeltä painepuolelta ja pintakytkimeltä imupuolelta.



Kuvio 16. Vacon 10 taajuusmuuttaja [20].

3.4 Rungon suunnittelu

Runkorakenteen suunnittelun lähtökohtana oli yksinkertainen ja kestävä ratkaisu. Kuviossa 17 on suunniteltu malli, jossa rakenne koostuu helposti saatavilla olevista neliöprofiiliputkista. Pohjan mittoihin ja nosto uriin hyödynnettiin euro-lavan mittoja, jolloin haarukkavaunuilla siirto onnistuu. Laitetta on myös tarkoitus siirrellä trukilla, jolloin laitetta kuljetetaan korkeammalla maan pinnasta kuin haarukkavaunulla. Tämän takia suunniteltiin nostokohtiin kaatumista ja nostopiikkien liukumista estävät urat. Ylärunkoon toteutettiin säiliön ja putkiston tuenta sekä muut tarvittavien osien tuennat, jotka eivät ole vielä esillä kuviossa 17.

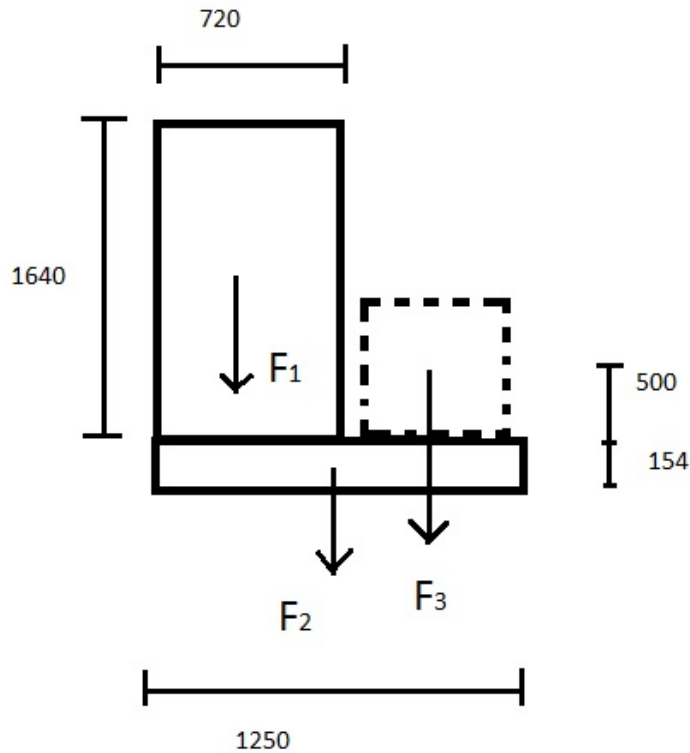


Kuvio 17. Pohjarakenne

Rakenteen riittävä jäykkyys ja kestävyys varmistettiin Creo-ohjelmiston fem-analyysillä, joka löytyy liitteestä 9. Analyysissä massat ovat samat kuin painopistettä ja kaatumiskulmaa käsittelevässä osassa. Tilanteessa on tarkasteltu ra-situksia, kun laite on nostettu ilmaan nostokohdista. Suurimmillaan vertailujännitys on noin 140 MPa, joten myötörajan ollessa 235 MPa voidaan todeta rakenteen kestävä noston.

Nostopiste on pyritty asettamaan painopisteen kohdalle. Tarkka nostokohta on haastavaa arvioida tarkkaan, koska kaikkien osien massoja ei ole tiedossa. Arvioiden suurimpien massojen perusteella keskipiste asettuu hieman säiliön painopisteestä oikealle. Vesisäiliön tulee olemaan toisella reunalla pohjaa. Säiliön ollessa muodoltaan kapea ja korkea, painopisteen sijainti on melko korkealla. Tarkistetaan siksi seuraavaksi riski sille kuinka suurella kallistuskulmalla laite voi kaatua kyljelleen.

Määritetään kuviosta 18 kaikki kolme voimaa seuraavaksi. Rungon massa ja säiliön massa ovat tarkkuudeltaan hyvät, mutta m_{muut} on arvio.



Kuvio 18. Vapaakappalekuva laitteesta.

$$F_1 = (m_{\text{säiliön}} + m_{\text{vesi}}) \times g = (70 + 1500) \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 15400 \text{ N} \quad (23)$$

$$F_2 = m_{\text{pohjarunko}} \times g = 160 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 1600 \text{ N} \quad (24)$$

$$F_3 = m_{\text{muut}} \times g = 150 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 1500 \text{ N} \quad (25)$$

Määritetään eri osien painopisteen sijainnit, kun nollapisteenä käytetään laitteen vasenta alakulmaa kuviosta 18.

$$\begin{aligned} \text{pp}_{x1} &= 360 \text{ mm} & \text{pp}_{y1} &= 974 \text{ mm} \\ \text{pp}_{x2} &= 625 \text{ mm} & \text{pp}_{y2} &= 77,5 \text{ mm} \\ \text{pp}_{x3} &= 850 \text{ mm} & \text{pp}_{y3} &= 654 \text{ mm} \end{aligned}$$

Määritetään seuraavaksi osien yhteinen painopiste vaaka- ja pystyakselilla.

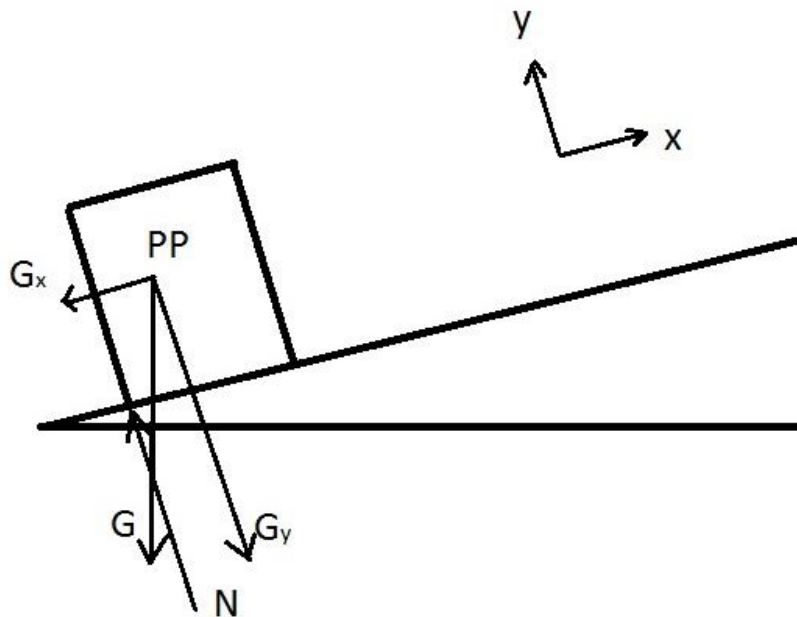
$$\Sigma M_o = mgx_0 - (m_1gx_1 + m_2gx_2 + m_3gx_3) = 0 \quad (26)$$

$$x_0 = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m} = \frac{1670 \text{ kg} \times 360 \text{ mm} + 160 \text{ kg} \times 625 \text{ mm} + 150 \text{ kg} \times 850 \text{ mm}}{(1670 + 160 + 150) \text{ kg}} = 419 \text{ mm}$$

$$\Sigma M_o = mgy_0 - (m_1gy_1 + m_2gy_2 + m_3gy_3) = 0 \quad (27)$$

$$y_0 = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m} = \frac{1670\text{kg} \times 974\text{mm} + 160\text{kg} \times 77,5\text{mm} + 150\text{kg} \times 654\text{mm}}{(1670+160+150)\text{kg}} = 877\text{mm}$$

Kuvio 19 kuvastaa tilannetta, josta ratkaistaan kaatumiskulma. G_x on yhtäsuuri kuin G_y , jolloin laite on pisteessä, jossa se pysyy tasapainossa särmällään. Tämän piste ylitettäessä laite kaatuu. Käytännössä tietenkin täytyy huomioida, että m_{muut} ei ole tarkka vaan arvio. Lisäksi säilön vesimassa voi lainehtiessaan aiheuttaa hetkellistä muutosta kaatumisriskiin. Tuloksista saadaan kuitenkin suuntaa antava tieto.



Kuvio 19. Vapaakappalekuva kaatumiskulmassa.

Lasketaan kaatumiskulma laskennallisesti seuraavaksi.

$$\cos x = \frac{G_y}{G} \quad \sin x = \frac{G_x}{G} \quad (28)$$

$$\sin^{-1} x \times G \times y_0 = \cos^{-1} x \times G \times x_0 \quad (29)$$

$$\frac{\sin^{-1} x}{\cos^{-1} x} = \frac{x_0}{y_0} \rightarrow \tan^{-1} x = \frac{x_0}{y_0} = \frac{419}{877} = 25,5^\circ$$

Laite kaatuu siis noin 25° kallistuskulmassa, josta voidaan tehdä päätelmä, että laite ei tule kaatumaan normaalissa käytössä.

3.5 Putkiston lujuustarkastelu ja asennus

Mitoituspainena käytettiin testattavan ja venttiileiden välillä 40 Bar:n (PN40) painetta, johtuen mahdollisesta käsikäyttöisen koeponnistuspumpun käytöstä. Tämä aiheuttaa toisaalta vain lisävaatimuksia kahdelle venttiilille, paineilmaletkuille ja liittimille. Muille osille riittää 16 Bar (PN16) vaatimus. Tarkistetaan teräsputkiston osalta paineenkesto.

$$\sigma_1 = \frac{p \times r_k}{t}, \sigma_2 = \frac{p \times r_k}{2 \times t}, \sigma_3 = 0 \quad (30)$$

jossa p = paine (MPa)
 r_k = keskisäde (mm)
 t = putken seinämänpaksuus (mm)

Paineastia periaatteella laskettaessa jännityselementtejä on kolme, jossa oletetaan $\sigma_3 = 0$. Lasketaan jännityselementin osat.

$$\sigma_1 = \frac{4 \text{ MPa} \times 27,5 \text{ mm}}{1,6 \text{ mm}} = 69 \text{ MPa} = \sigma_I \quad (31)$$

$$\sigma_2 = \frac{4 \text{ MPa} \times 27,5 \text{ mm}}{2 \times 1,6 \text{ mm}} = 34,5 \text{ MPa} = \sigma_{II} \quad (32)$$

$$\sigma_3 = 0 \text{ MPa} = \sigma_{III} \quad (33)$$

Käytetään Tresca-lujuushypoteesia lujuustarkasteluun. Vertailujännitys saadaan laskettua seuraavalla yhtälöllä.

$$\sigma_{vert} = \sigma_I - \sigma_{III} = 69 \text{ MPa} \quad (34)$$

Varmuusluku saadaan laskettua seuraavalla yhtälöllä. Putken materiaalina on ruostumattoman teräs (AISI 304 tai 304L). Myötörajaksi oletetaan vähintään 200 MPa, joka on hieman alakanttiin todellisesta arvosta.

$$n = \frac{R_e}{\sigma_{vert}} = \frac{200 \text{ MPa}}{69 \text{ MPa}} = 2,9 \quad (35)$$

Varmuusluku osoittaa, että putkisto tulee kestävänsä rasituksen. Testattavan ja laitteen väliin tuleviksi letkuiksi on valittu alustavasti Montreal 20 paineletkut, jonka työpaine on 20 Bar ja räjähdyspaine 60 Bar.

Seuraavat asiat täytyy huomioida putkiston asennuksessa:

- kaikki putkisto on tuettu itsenäisesti
- joustavia putkia ja liitoksia käytetään, jotta värinät eivät siirry pumpusta putkiin ja putkista pumppuun
- imuputkisto on täysin tiivistetty ja ilmatiivis
- jos imuputkiston täytyy olla suurempi kuin pumpun imupuoli, asennetaan putken epäkeskinen supistuskappale. [21, s. 84.]

3.6 Käyttökuvaus ja testien toimintakuvaus

Ensiksi pumppu täytetään vedellä, jonka jälkeen se käynnistetään. Aloitetaan putkiston täyttäminen vedellä. Pumpun kierrokset pidetään kohtuullisina taajuusmuuttajalla. Ohivirtauslinjaa pidetään hieman raollaan, jolloin sekin putkisto täyttyy vedellä. Täytetään testattava laite vedellä ja koko muu laitteisto. Odotetaan, että kaikki ilma lähtee pois laitteistosta ja käyntiääni tasaantuu.

Seuraavaksi voidaan aloittaa testien suorittaminen. Virtauskokeessa sovitetaan tilavuusvirtaus halutuksi eri säätötapoja käyttämällä. Virtausmäärää seurataan virtausmittarista.

Virtauskokeen jälkeen voidaan suorittaa painekoe, jonka suorittaminen tapahtuu teoriassa seuraavan ohjeen mukaan:

- tärkeää on, että pumpussa on jatkuva virtaus

- hidastetaan pumpun kierroksia
- raotetaan ohivirtauslinjan venttiileitä noin 45-asteen kulmaan
- suljetaan testattavan jälkeinen venttiili
- lisätään ohivirtauslinjan virtausvastusta kääntämällä hitaasti molempia venttiileillä pienemmälle.
- jos paine ei nouse tarpeeksi, aukaistaan hieman ohivirtausventtiileitä ja lisätään pumpun kierroksia taajuusmuuttajalla.
- lisätään ohivirtauslinjan virtausvastusta kääntämällä hitaasti molempia venttiileitä pienemmälle.
- kun haluttu paine on saavutettu, suljetaan testattavaa edeltävä venttiili
- pienennä pumpun kierrokset tai/ja sammuta se

Testauksen jälkeen testattavaan jäänyt vesi on tarkoitus poistaa paineilmalla. Kaikkea vettä ei saada pois, joten ajoittain säiliöön joudutaan lisäämään vettä.

3.7 Osaluettelo ja takaisinmaksuaika

Osien hintatiedot on saatu tarjouspyynnöillä tai Internetistä saaduilla hintatiedoilla. Onniselta hankittavien osien hinnat on katsottu ohjehinnastosta [22]. Osien hinnat ovat ilman arvonlisäveroa. Osaluettelosta puuttuu kasausvaiheessa mahdollisesti tarvittavat pienet osat, kuten ruuvit, mutterit ja aluslevyt. Osaluettelon hintoja on pyöristetty luettelon selkeyttämiseksi. Osaluettelo löytyy liitteestä 10.

Kaikkineen kuluineen yksi koeponnistuskerta tulisi kustantamaan noin 150 € pitäen sisällään vesimaksut ja työtunnit. Vesivaippojen osalta tämä tekisi noin 450 - 750 €/vuosi. Lisäksi on ilmennyt, että laitteella olisi myös mahdollista suorittaa kuparielementtien koeponnistus, joissa kustannukset ovat samaa luokkaa kuin vesivaipoissa. Kuparielementeissä olisi kuitenkin suuremmat testausmäärät kuin vesivaipoissa. On arvioitu, että takaisinmaksuaika olisi 5–8 vuotta. [23.]

4 Pohdinta

Laitteen suunnittelutyö oli pitkä, haastava ja mielenkiintoinen projekti, jossa pääsin hyödyntämään koulussa opiskeltuja aiheita laajasti. Projektia varten minun täytyi myös opiskella runsaasti uusia asioita. Haastavinta oli mielestäni painekokeen suunnittelu. Keskipakopumpun vaatiessa jatkuvaa virtausta on paineenkorotus haastavaa. Teoriassa kuitenkin pumppu kykenee nostamaan paineen vaaditulle 4 Bar:n tasolle. Samalla pohdintaa aiheutti se, että kuinka ohivirtauslinjaan toteutetaan paineensäätö, jotta saadaan painekokeessa paine kasvamaan testattavaan laitteeseen.

Onnistuin mielestäni täyttämään toimeksiantajan asettamat tavoitteet hyvin. Alun perin oli suunnitelmassa mahdollista opinnäytetyöhön myös laitteen valmistus ja käyttäjien mielipiteet laitteen toimivuudesta, mutta nämä rajattiin ulos opinnäytetyöstä, koska rakennusvaihe viivästyi. Toimeksiantaja oli tyytyväinen laitteeseen tarvittavien osien noin 10 000 € hintaluokasta. Laite on tarkoitus rakentaa tehtaalla myöhemmin.

Laitteen valmistaminen ja sen toiminnan analysointi olisi mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe, josta voisi syntyä mahdollisesti kehittämissideoita laitteelle. Lisäksi tutkimuksessa voisi analysoida tämän suunnittelutyön onnistumisia ja puutteita.

Jos saisi päättää mitä olisi tehty mahdollisesti toisin, niin opinnäytetyön olisi voinut esimerkiksi jakaa kahdelle opiskelijalle. Toinen opiskelija olisi voinut olla esimerkiksi sähköalan opiskelija, joka olisi suunnitellut kaikki laitteeseen liittyvät sähkötyöt yhteistyössä mekaniikkasuunnittelijan kanssa.

Työtulokseeni olen tyytyväinen. Opinnäytetyöaiheen sain hyvissä ajoin syksyllä, joten ehdin tekemään runsaasti alustavaa työtä ennen kevät lukukaudella tapahtuvaa päätoimista työvaihetta. Suunnittelutyön aikana sain toimeksiantajalta hyvin kommentteja ja ideoita työhön liittyvissä kysymyksissäni. Työtä tehdessäni opin paljon uusia asioita mm. pumppujen toiminnasta ja mitoituksesta, virtauksien laskennasta, suodatimista, kavitaatiosta ja venttiilien ominaisuuksista.

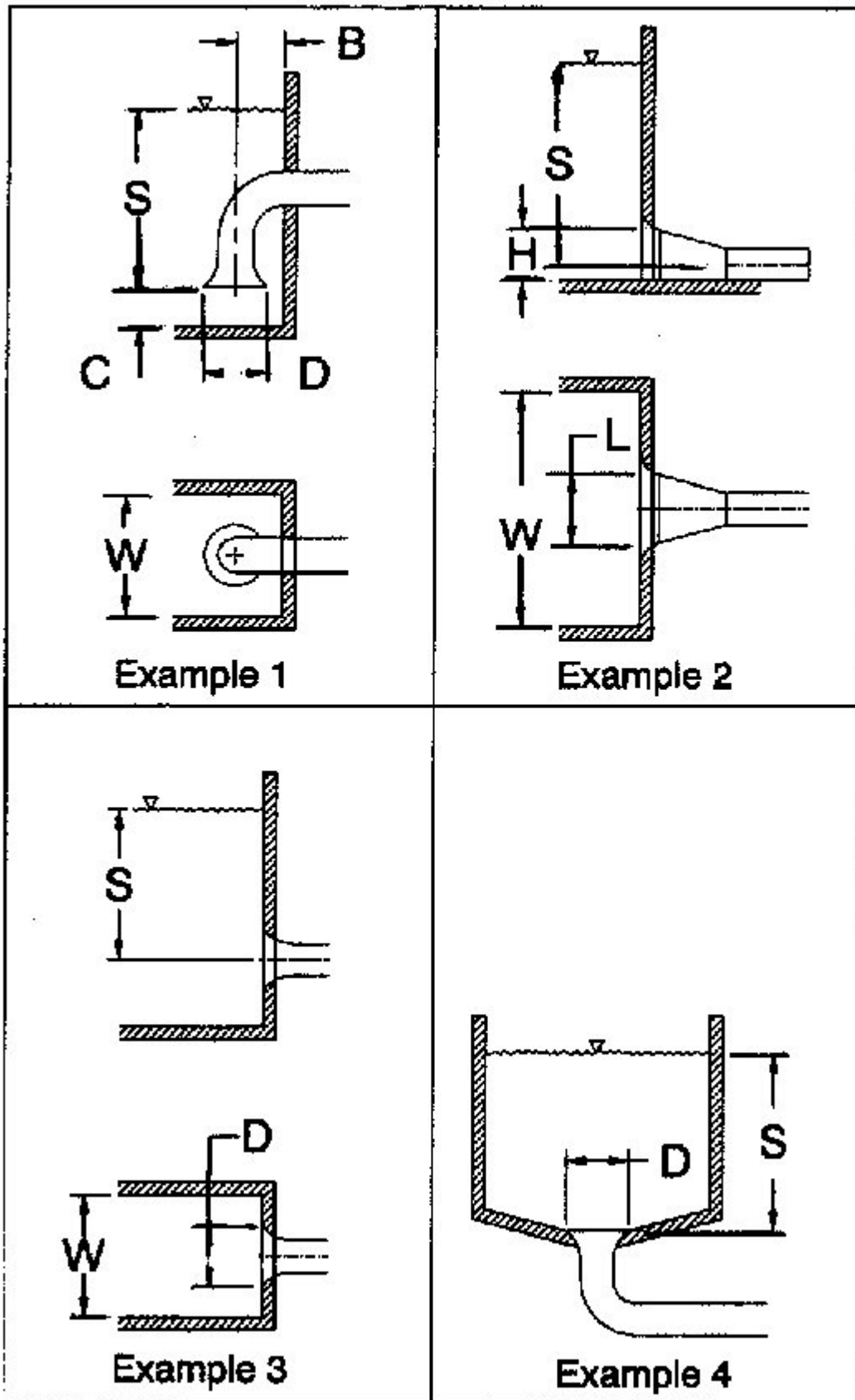
sista. Projektissa kehityin myös aikataulutuksessa, suunnitelmallisessa ja johdonmukaisessa työskentelyssä.

Lähteet

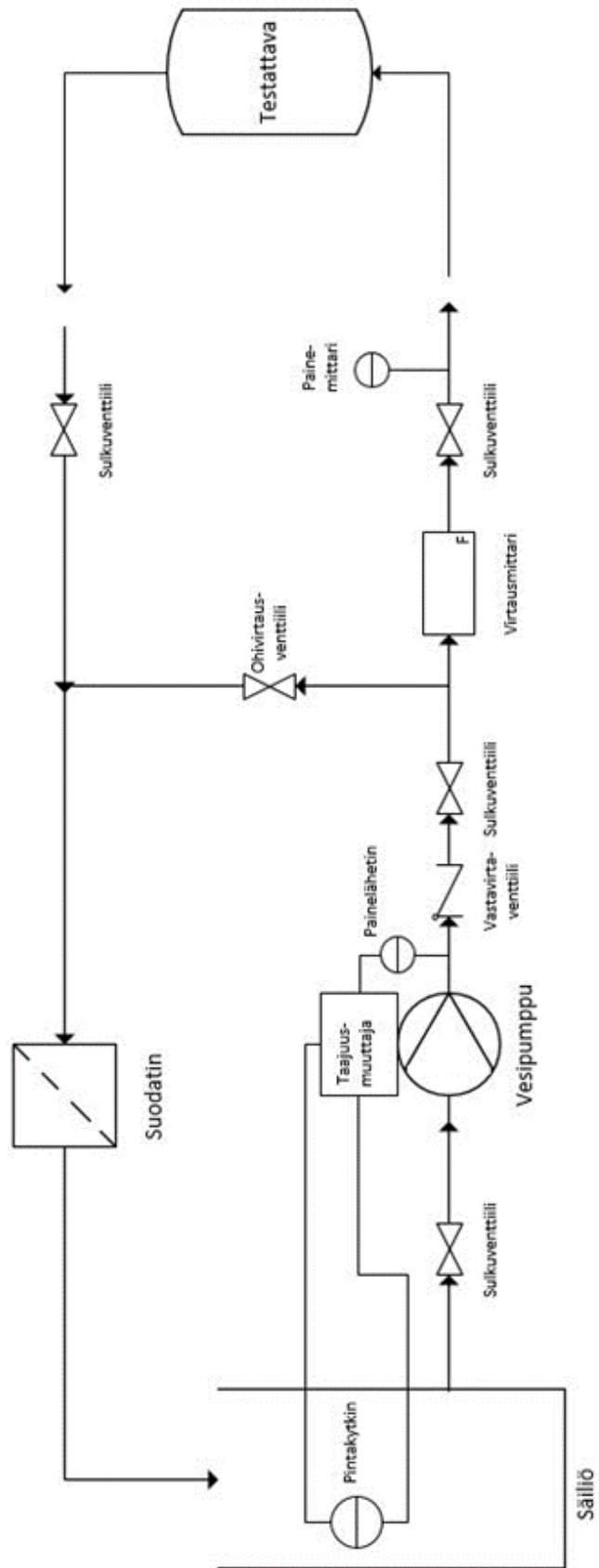
1. Kauppalehti. Outotec Oy yrityksen perustiedot. 2016. [Viitattu 15.2.2016]
Saataavissa: <http://www.kauppalehti.fi/5/i/porssi/porssikurssit/osake/?klid=1934>.
2. Outotec Oy. Yrityskuvaus. 2016. [Viitattu 14.2.2016] Saataavissa: <http://www.outotec.com/fi/Media/Yrityskuvaus/>.
3. Outotec Oy. Turulan konepajan laitevalmistus. 2016. [Viitattu 13.2.2016]
Saataavissa: <http://www.outotec.com/fi/Tuotteet-ja-palvelut/Services/Turulan-konepajan-laitevalmistus/#tabid-1>.
4. Nupponen, E. Tuotekehitys 1. Karelia-amk. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opetusmateriaali 2014.
5. Grundfos Pumps Corporation. Grundfos Industry Pump Handbook. 2015. [Viitattu 15.2.2016] Saataavissa: https://dk.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20&%20solutions/Industry/pdf/Pump_handbook.pdf.
6. Hautala, M. & Peltonen, H. P. 2009. Insinöörin fysiikka osa 1. Lahden Teho-Opetus Oy. Saarijärvi. ISBN 978-952-5191-20-2.
7. Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. P. 1997. Koneautomaatio 1. Hydrauliiikka ja pneumatiikka. WSOY. Porvoo. ISBN 951-0-21572-4.
8. Xylem water solutions. Esv-Paineenkorotuspumppu. 2016 [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/finland/fi/products/paineenkorotuspumput/Documents/Xylem%20eSV-esite.pdf>.
9. Pumps & Systems. NPSHR & Booster Pumps. 2014. [Viitattu 16.1.2016] Saataavissa: <http://www.pumpsandsystems.com/pumps/may-2014-npsr-booster-pumps>.
10. Kolmeks Oy. Catalogue Inline pumps with fixed speed motor. 2015. [Viitattu 16.1.2016] Saataavissa: <http://www.kolmeks.fi/en/materials/pump-catalogue-inline-pumps-with-fixed-speed-motor>.
11. University of Florida. Pump additional info. 2016. [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: <http://www.che.ufl.edu/unit-ops-lab/experiments/pump/pump-additional-info.pdf>.
12. The Engineering Toolbox. Control Valves and Cavitation. 2016. [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: http://www.engineeringtoolbox.com/control-valves-cavitation-d_490.html.
13. Pumpfundamentals. Help for calculating the minimum submersion to avoid vortex formation at the pump suction tank. 2016. [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: <http://www.pumpfundamentals.com/help11.html>.
14. Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. P. 1995. Koneautomaatio Hydrauliiikka 2. Opetushallitus. Helsinki. ISBN 951-719-153-7.
15. Piipponen, A. Pumppausprosessin suunnittelu koulutuskäyttöön. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2013.
16. E.M. Leino Oy. Kevyt käsikäyttöinen koeponnistuspumppu HP140. 2016. [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: <http://emleino.fi/tuotteet/hp140>.
17. Liplast Oy. Li-plast juomavesi- ja varastosäiliöt. 2016. [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: <http://www.liplast.fi/vesisailiot.html>.
18. Aquator Oy. Suodatus. 2016. [Viitattu 12.3.2016] Saataavissa: <http://www.aquator.fi/suodatus>.

19. Sääto Oy. Magneettinen virtausmittari. 2016. [Viitattu 13.3.2016] Saatavissa: <http://www.saato.fi/fi/Tuotteet/Virtausanturit%20nesteille/Magneettiset%20virtausmittarit/?cat=159&page=0&ws=&prod=1016>.
20. Vacon Oy. Vacon 10. 2016. [Viitattu 15.3.2016] Saatavissa: <http://www.vacon.com/fi-FI/tuotteet/Taajuusmuuttajat/vacon-10/>.
21. Xylem applied water. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. 2012. [Viitattu 13.3.2016] Saatavissa: http://documentlibrary.xylemappliedwater.com/wp-content/blogs.dir/22/files/2012/07/001076090_D_04_2012_eSV_gecm_web.pdf.
22. Onninen Oy. Excel-ohjehinnastot. 2016. [Viitattu 15.3.2016]. Saatavissa: <http://www.onninen.com/finland/Palvelut/Hinnastot/OVT/Pages/Excel-hinnastot.aspx>.
23. Peinola P. Takaisinmaksuaika [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: antti.sorsa@edu.karelia.fi. Lähetetty 17.3.2016.
24. Xylem. Xylect-mitoitusohjelma. 2016. [Viitattu 15.3.2016] Saatavissa: http://xylect.com/bin/Xylect.dll?IS__NEXTPAGE=startup&IS__NEXTPAGE=BDYHOME&IS__AREA=SUOMI&IS__COUNTRY=FINLAND&IS__BROWSER=%23%231.5%231920%23945.
25. Peinola P. Kuvat rikastepolttimen jäähdytysrungosta [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: antti.sorsa@edu.karelia.fi. Lähetetty 1.2.2016.
26. Osmonics inc. The Filtration Spectrum. 2015. [Viitattu 16.3.2016] <http://radontestingdallas.com/wp-content/uploads/2015/12/Water-Filtration-vs-Particle-Size.gif>.
27. Säynevirta O. Pussisuodatinsäiliö datalehti [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: antti.sorsa@edu.karelia.fi. Lähetetty 30.12.2015.

Mahdolliset säiliön imuputkigeometriat pyörteen laskentaan [13].



PI-kaavio.



Xylect-ohjelmistoratkaisu painepuolelle [24].

KÄYTTÖTIEDOT

CALCULATION TYPE
LAYOUT AND FLOW

LAYOUT: Dry well installation

ASEMAN TYYPI: Vakiopumppu

NUMBER OF PUMPS: 1

VIRTausMÄÄRÄ: 4,2 l/s

STAATTINEN NOSTOKORKEUS: 1,5 m

AINEEN TIEDOT

AMBIENT CONDITIONS

COMMON DISCHARGE SIDE PIPE

Putki: 1 (22)

PUTKEN MATERIAALI: Steel New

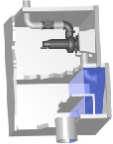
STANDARDI: Standardi DN 50

PUTKEN PITUUS: 1,749 m

PUTKEN SISÄMÄÄRÄ: 50 mm

PUTKEN KÄRKI: 0,1 mm

Virtausnopeus: 2,139 m/s



LASKENNAN TULOKSET

Aseman NPSH - arvo	0 m
Päämehäviö	12,73 m
Staattinen nostokorkeus	1,5 m
Kokonaisnostokorkeus	14,23 m

Peruuta Käse PDF OK

COMMON SUCTION SIDE PIPE

NIMIYTY	Di (mm)	R (mm)	δ	ζ	LKM.	Päämehäviö(m)
Discharge connection: DN 50	50			0,3	3	0,2099
Elbow: DN 50	50			0,3	9	0,6297
Inlet: DN 50	50			1	0	
Yksisuuntaventtiili: DN 50	50			0,9	2	0,4198
Other: DN 50	50			20	2	9,328
Outlet: DN 50	50			1	0	
T-piece: DN 50	50			0,4	2	0,1866
Venttiili: DN 50	50			0,3	3	0,2099

[+ Lisää Kiinnikkeet](#)

YHTEENSÄ

47,1	22	12,73
------	----	-------

Xylect-ohjelmistoratkaisu imupuolelle [24].

KÄYTTÖTIEDOT

CALCULATION TYPE +

LAYOUT AND FLOW -

LAYOUT: Dry well installatio

ASEMAN TYPPI: Vakiopumppu

NUMBER OF PUMPS: 1

VIRTAUSMÄÄRÄ: 6,6 l/s

STAATTINEN NOSTOKORKEUS: 0 m

AINEEN TIEDOT +

AMBIENT CONDITIONS +



COMMON DISCHARGE SIDE PIPE

Putki 1 (6)

PUTKEN MATERIAALI: Steel New

PUTKEN SISÄHÄLKÄISIJÄ: 50 mm

PUTKEN PITUUS: 2,5 m

PUTKEN KÄRKEYS: 0,1 mm

PUTKEN KÄRKEYS: Guide

Virtausnopeus: 3,361 m/s

LASKENNAN TULOKSET

Aseman NPSH - arvo: 0 m

Päänehäviö: 2,374 m

Staattinen nostokorkeus: 0 m

Kokonaisnostokorkeus: 2,374 m

Peruuta | Katso PDF | OK

COMMON SUCTION SIDE PIPE

PUTKEN MATERIAALI: Standardi

PUTKEN SISÄHÄLKÄISIJÄ: DN 50

PUTKEN PITUUS: 0,1 mm

Virtausnopeus: 3,361 m/s

NIMITYS

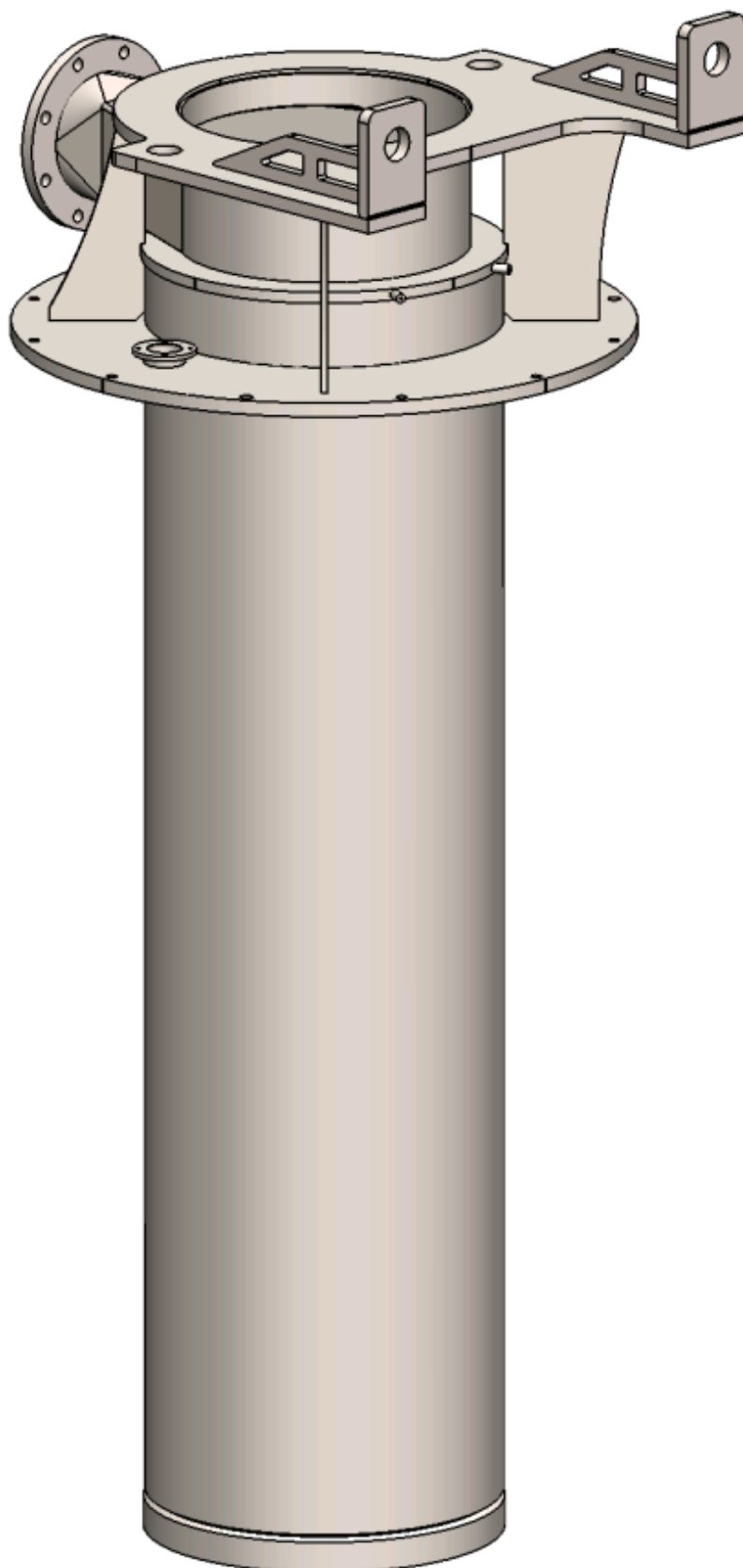
	Di (mm)	R (mm)	δ	ζ	LKM.	Päänehäviö(m)
Discharge connection: DN 50	50			0,3	0	
Elbow: DN 50	50			0,3	2	0,3455
Inlet: DN 50	50			1	1	0,5759
Yläsuuntaventtiili: DN 50	50			0,9	0	
Other: DN 50	50			0	0	
Outlet: DN 50	50			1	1	0,5759
T-piece: DN 50	50			0,4	0	
Venttiili: DN 50	50			0,3	1	0,1728

YHTEENSÄ

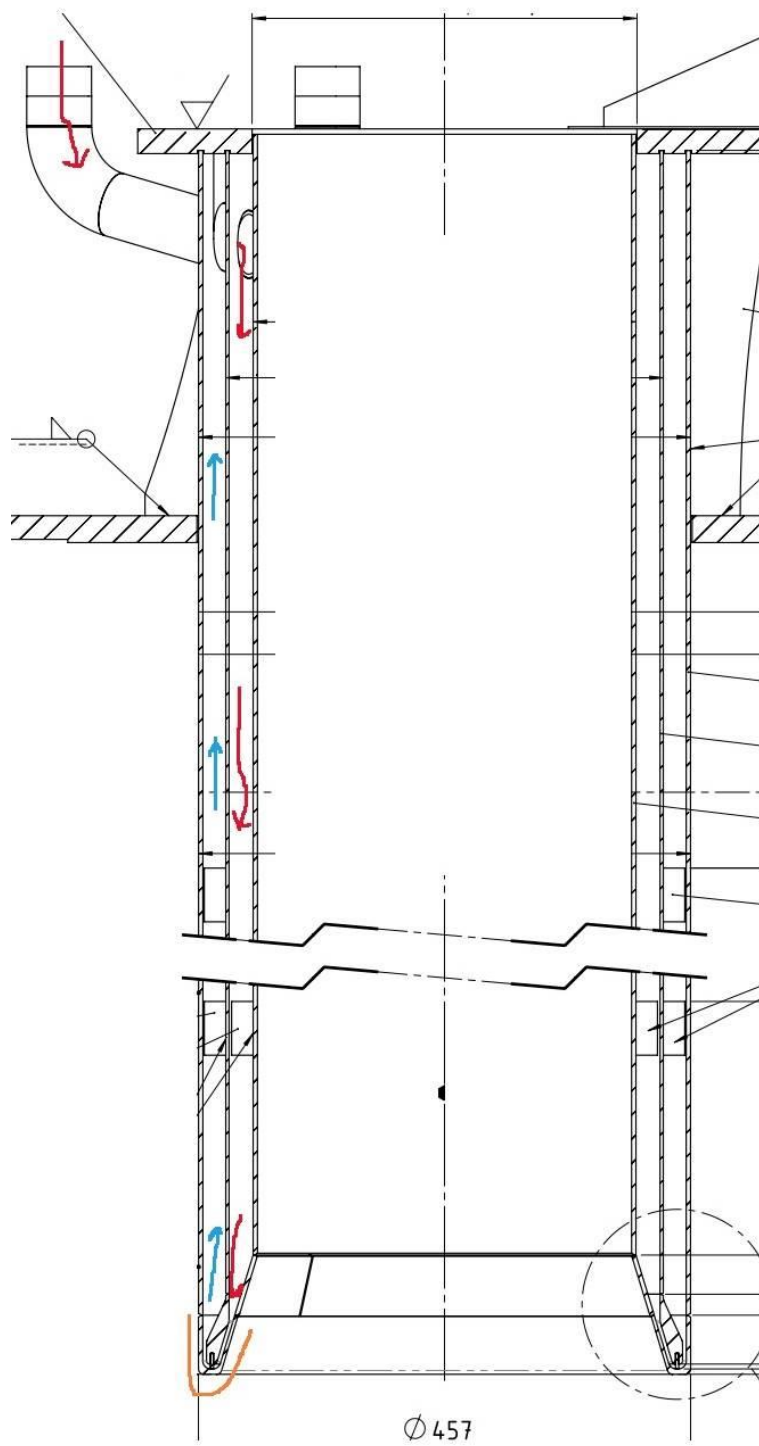
+ Lisää Kiinnikkeet

Yhteensä: 2,9 | 6 | 2,374

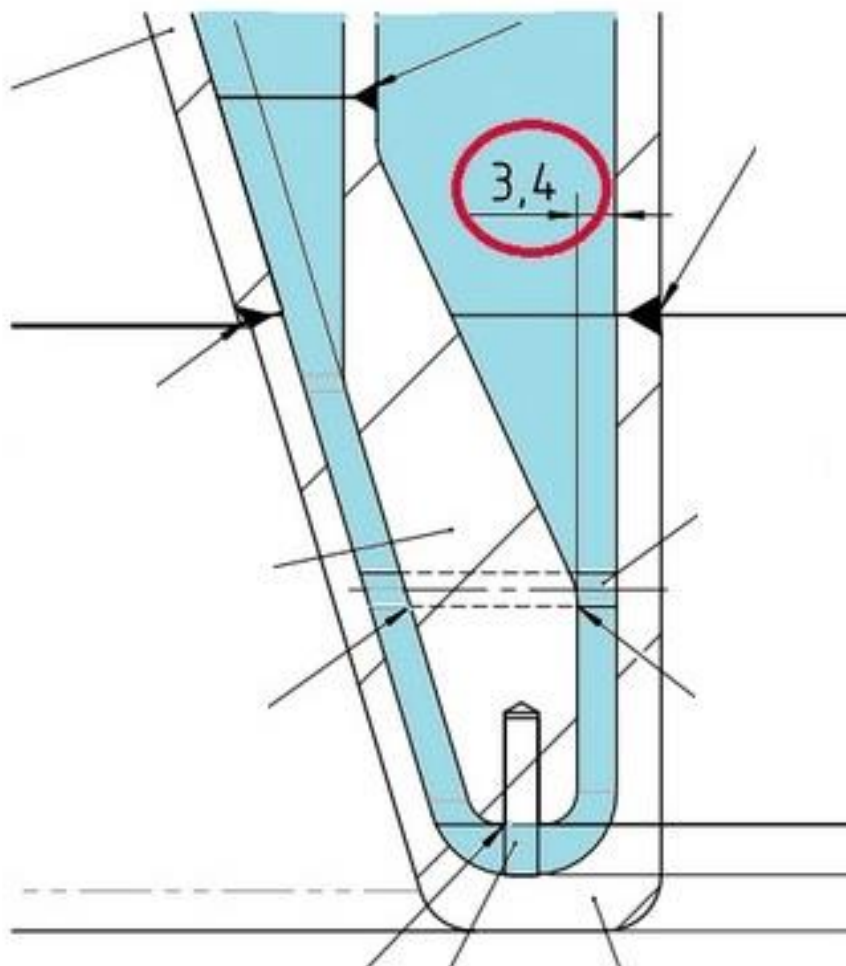
Rikastepolttimen jäähdytsrunko [25].



Rikastepolttimen jäähdytysrungan poikkileikkaus [25].



Rikastepolttimen jäähdytysrungon pohjan ahtauma [25].



Paineenkorotuspumpun datalehti osa 1 [24].



Customer	Date 2016-02-03 16:17:55
Contact	Projekti
Phone number	Projekti nro:
Email	

15SV04F040T

1016LD431

Käyttötieto

Pumpun tyyppi	Vakio pumpu	Neste	Vesi, puhdas
Pumppujen määrä Varas	1 / 0	Käyttölämpötila t A	K 277
Nimellinen virtaus	m ³ /h 14	pH-value at t A	7
Nimellinen nostokorkeus	m 40	Density at t A	kg/m ³ 1000
Staatinnainen paine	m 0	Kin. viscosity at t A	mm ² /s 1,569
Inlet pressure	kPa 0	Höyrypainelä.lla	kPa 100
Ympäristön lämpötila	K 293	Partikkeilit	0
Saatavilla oleva NPSH	m 0	Korkeus	m 1000

Pumpputiedot

Valmistaja	Lowara	Nimellinen	m ³ /h 15,3 (15,3)
Kierrosluku	1/min 2900	Max-	m ³ /h 24
Jaksojen lukumäärä	4	Min-	m ³ /h
Max. Pesänpaine	kPa	Nimellinen	m 47,5
Max. Työskentely paine	kPa 572,7	Nostokorkeus	Max. Virtauksella m 28,6
Nostokorkeus H(Q=0)	m 58	M. Virtauksella	m 58,4
Paino	kg 47	Akseliteho	kW 2,8 (2,8)
	Max. mm 105	Max. akseliteho	kW 3,1
Impeller R	Suunnitellut mm 105	Hyötysuhde	% 71,57
	Min. mm 105	NPSH 3%	m 1,4

Pumppumateriaalit

Pumppumateriaalit	Akseliviviste		
Pumppupesä	Stainless steel / AISI 304	Single seal	Roten
Juoksupeäri	Stainless steel / AISI 304	SV - Uintien	
Diffuseri	Stainless steel / AISI 304	Rotating Assembly	Q1-Silicon carbide
Outer sleeve	Stainless steel / AISI 304	Fixed Assembly	B-Resin impregnated carbon
Akseli	Stainless steel / AISI 304	Elastomers	E - EPDM
Moottorisovitin	Cast iron	Springs	G-AISI 316
Coupling	Aluminium	Other Components	G-AISI 316
Seal plate	Stainless steel / AISI 304		
Coupling protection	Stainless steel / AISI 304		
Shaft sleeve and bushing	Tungsten carbide		
Fill / drain plugs	Stainless steel / AISI 304		
Tie rods	Ruostumaton teräs		
Base	Aluminium		
Seal gland	Stainless steel / AISI 304		
Kulutusrengas	Technopolymer PPS		

Mootorin tiedot

Valmistaja	Lowara	Jännite	400 V	Kierrosluku	2900 1/min	Eristysluokka	F
Erikoisrakenne	IE3 Three phase surface motor			Koko	112	Väri	RAL 5010
Tyyppi	PLM112.../340 E3	Sähkövirta	7,56 A				
Nimellisteho	4 kW	Kotelointiluokka	IP 55				

Huomautukset

Paineenkorotuspumpun datalehti osa 2 [24].



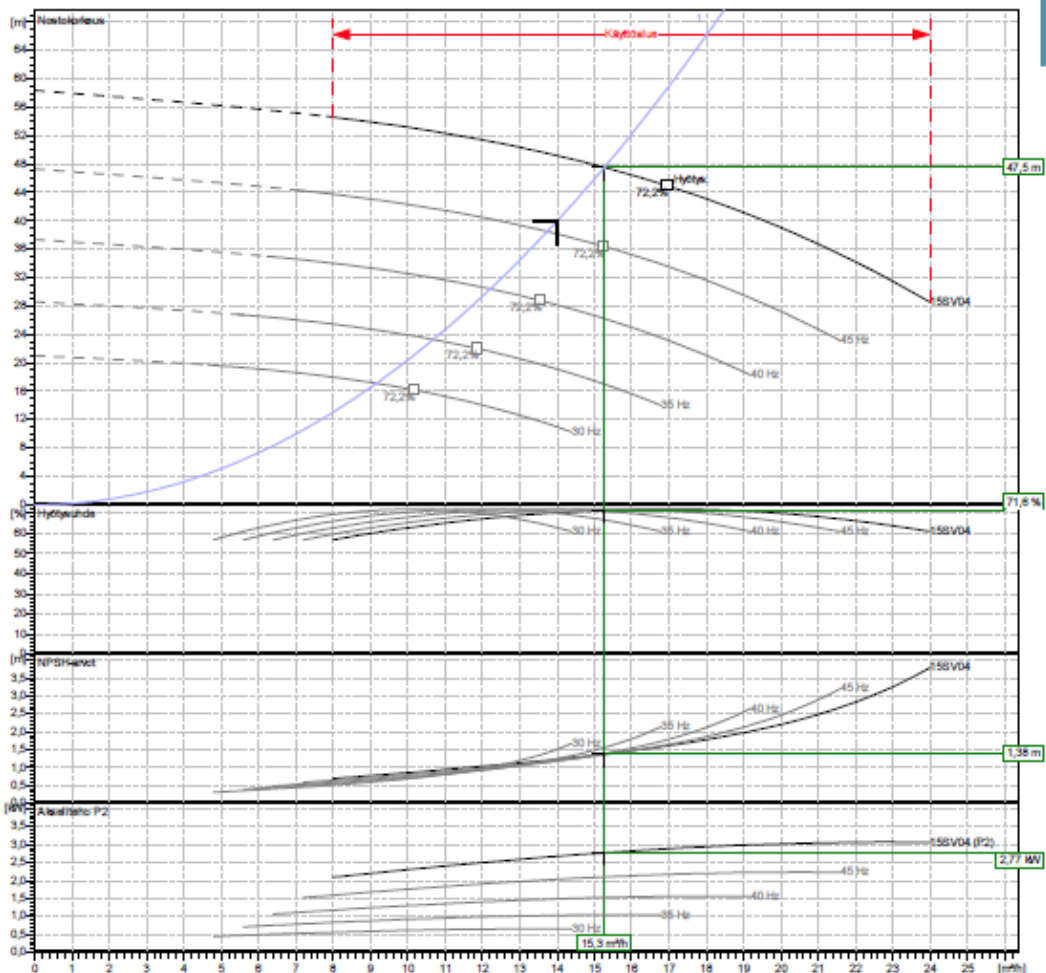
Customer	Date	2016-02-03 16:17:55
Contact	Projekti	
Phone number	Projekti nro:	
Email		

15SV04F040T
1016LD431

Hydraulic data

Mitoitus tiedot	Hydrauliset tiedot (toimintapiste)	Juoksupyörän versio
Virtaus 14 m ³ /h	Virtaus 15,3 m ³ /h	Impeller R 105 mm
Nostokorkeus 40 m	Nostokorkeus 47,5 m	Taajuus 50 Hz
Staatillinen paine 0 m	MEI \Rightarrow 0,7	Kierrosluku 2900 1/min

Tehotiedot viilittaavat:
Vecl, puhdas [100%]; 277K; 1000kg/m³; 1,67mm²/c
Performance according to ISO 9906 - Annex A



Paineenkorotuspumpun datalehti osa 3 [24].

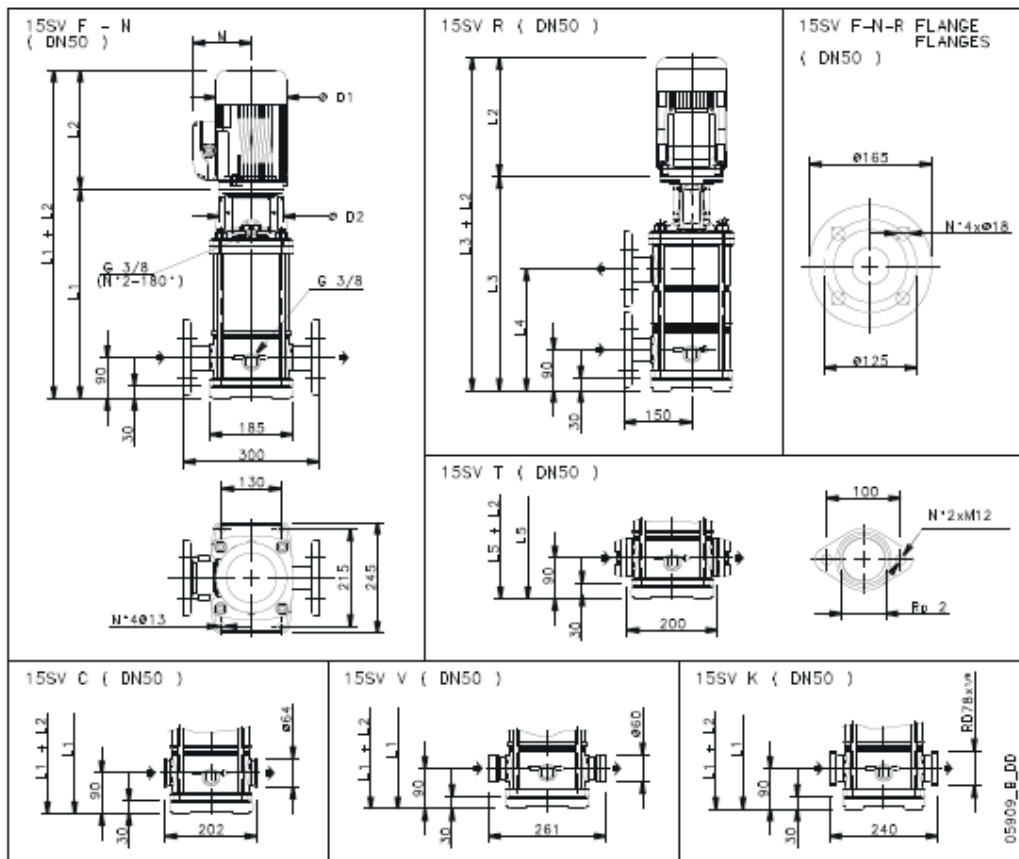


Customer	Date	2016-02-03 16:17:55
Contact	Projekti	
Phone number	Projekti nro:	
Email		

15SV04F040T
1016LD431

Piirustus

Dimensional Data



Mitat mm

D1	197					Paino	
D2	160					46,8	kg
L1	515						
L2	319						
L3	515						
L4	301						
L5	515						
M	154						

05909_B_DD

Pumpun käyttöohjeesta poimittuja ohjeita pumpun käytöstä [21].

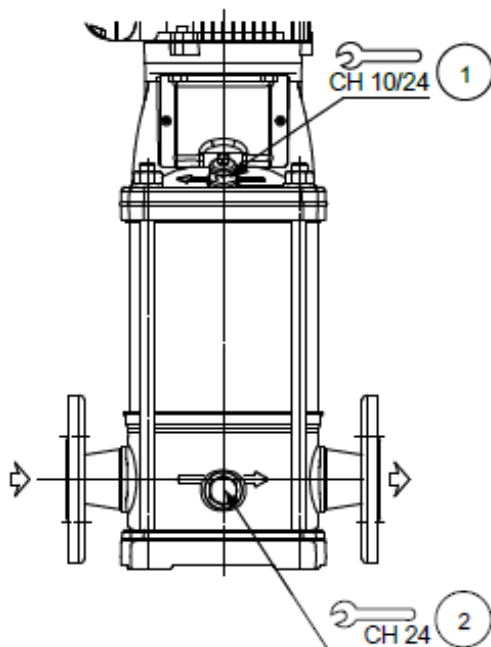
Vesipumpun käyttöön liittyviä huomautuksia:

- Älä koskaan käytä pumpua alle pienimmän sallitun nimellisvir-
tausnopeuden, kuivana tai ilman esitäyttöä.
- Älä koskaan käytä pumpua ON-OFF-päästöventtiili suljettuna
muutamaa sekuntia pidempään.
- Älä koskaan käytä pumpua, jos ON-OFF-imuventtiili on suljet-
tu.

Ennen pumpun käynnistämistä on aina tehtävä pumpun esitäyttö eli täyttää pumpu vedellä.

Pumpun esitäytön teko ohje:

- sulje pumpun painepuolen sulkuventtiili
- avaa tyhjennystulpan tappia (2)
- Irrota täyttö- ja kennotulppa (1) ja avaa imupuolen sulkuventtii-
liä, kunnes reiästä virtaa vettä
- kiristä tyhjennystulpan tappi (2)
- asenna täyttö- ja kennotulppa (1) takaisin
- kuivakäynti on erittäin haitallista pumpulle. Huolehdi, että pump-
pupesässä on aina vettä.



Pumpun käyttöohjeesta poimittuja ohjeita pumpun käytöstä [21].

Ennen pumpun käynnistämistä tehtävät varmistukset:

- Pumppu on kytketty oikein virtalähteeseen.
- Pumppu on esitäytetty.
- Pumpun painepuolen sulkuventtiili on suljettu.

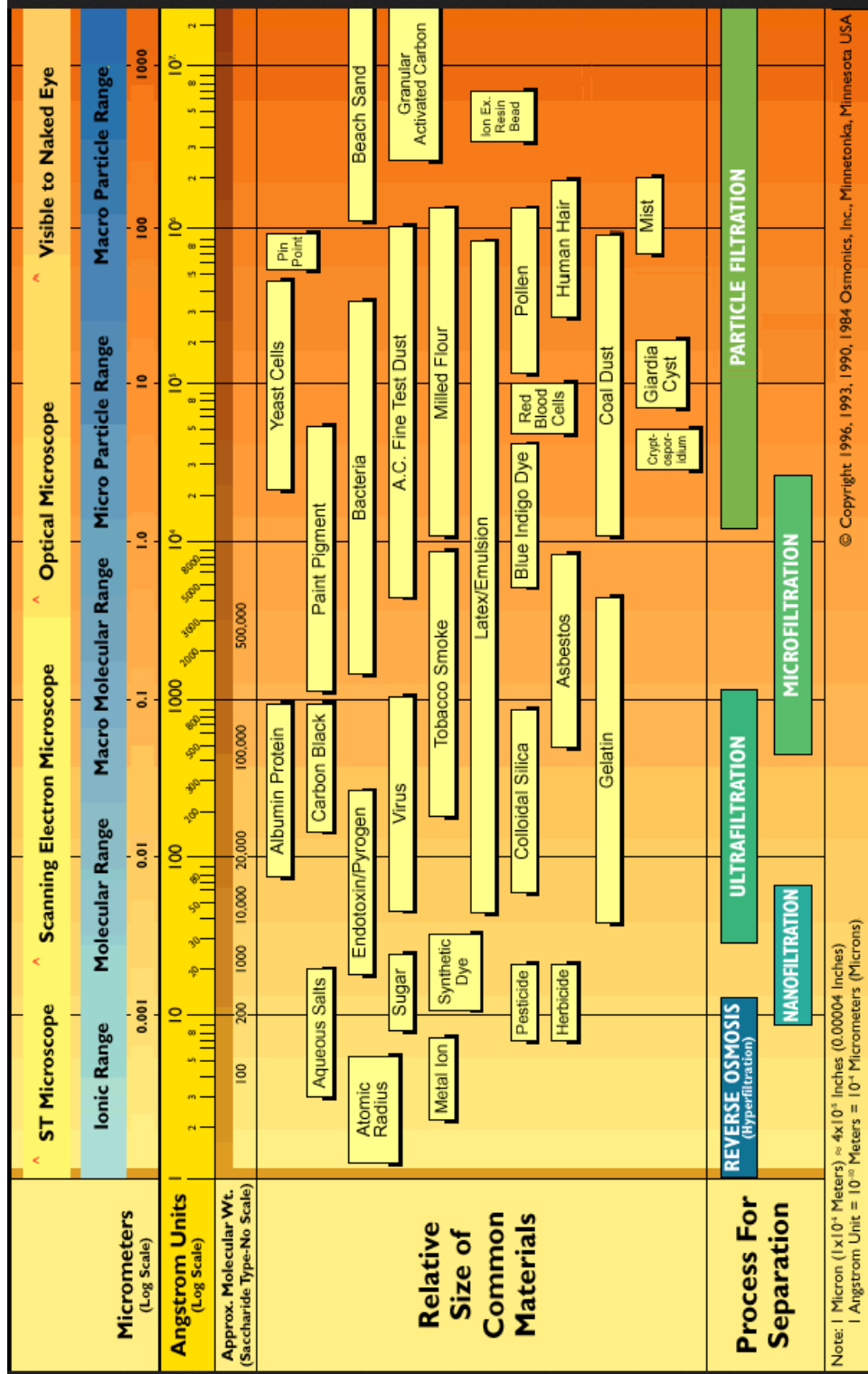
Pumpun käynnistäminen:

- Avaa pumpun painepuolen sulkuventtiiliä vähän kerrallaan.
Pumpun täytyy käydä tasaisesti ja hiljaisesti.

Minimivirtausmäärä saadaan seuraavalla laskentakaavalla pumpattaessa 20°-60° vettä.

$$Q_{min} = NN \times k \left[\frac{m^3}{h} \right] = 15 \times 0,15 = 2,25 \frac{m^3}{h} = 0,625 \frac{l}{s}$$

Suodatusastegrafiikka [26].



Pussisuodatinsäiliö datalehti osa 1 [27].

R Pussisuodatinsäiliö

R suodatinsäiliö on nesteiden suodatukseen tarkoitettu pussisuodatinsäiliö.

Suodatinsäiliö on valmistettu sähkökiillotetusta ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä. Sähkökiillotus tasoittaa säiliön pinnan ja tekee säiliön pinnasta likaa hylkivän sekä helposti puhdistettavan.

Säiliössä on pika-avattava panta, joka tekee säiliön avaamisen ja sulkemisen helpoksi.

FSI Polyloc® muovikauluksiset suodatinpussit tiivistyvät säiliöön täydellisesti. Asettaessa FSI Polyloc® suodatinpussi suodatinsäiliöön kuluu "klik" ja suodatinpussi on tiivistynyt suodatinsäiliöön. Tiivistymiseen ei tarvita jousia tai muita hankalia kiinnittimiä. Polyloc® suodatinpussi on mahdoton asettaa suodatinsäiliöön siten, ettei suodatinpussi tiivisty. Säiliössä voidaan myös käyttää teräsrenkaallisia suodatinpusseja.



Tuotetiedot

Materiaalit	sähkökiillotettu AISI 304 tai AISI 316
Käyttöpaine	max 8 bar (100 °C)
Yhteet	R-kierre tai DIN-laippa
Yhdekoot	DN25 – DN100
Ilmausyhde	R 3/4" sisäkierre
Tilavuusvirroille	1 – 40 m ³ /h

Ominaisuudet ja edut

- Säiliössä on tukeva pika-avattava panta, joka on helppo avata ja sulkea – nopea ja vaivaton suodatinpussin vaihto
- FSI Polyloc® muovikauluksiset suodatinpussit tiivistyvät säiliöön itsestään, jolloin suodatinpussin tiivistymiseen säiliöön ei tarvita jousia tai muita hankalia kiinnittimiä – helppokäyttöisyys ja varma suodatus
- Suodatinsäiliö on sähkökiillotettua ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Sähkökiillotus tasoittaa säiliön pinnan ja tekee säiliön pinnasta likaa hylkivän sekä helposti puhdistettavan – hygieeninen suodatus

Käyttökohteet

Emäkset	Kosmetiikka	Sivuvirtasuodatus
Hapot	Kostutusvedet	Suihkuvedet
Juomavesi	Maalit	Tiivistevedet
Kaukolämpövedet	Olut	UV-desinfioinnin esisuodatus
Kaukokylmävedet		

FILTERIT®

Pussisuodatinsäiliö datalehti osa 2 [27].

BPONG suodatinpussi

BPONG on polypropyleeninen, FDA-hyväksytty, syväsuodattava suodatinpussi. Suodatinpussissa on patentoitu polypropyleeninen Polyloc® kaulus ja vahvat hitsatut saumat. Polyloc® kaulus tiivistyy itsestään suodatinsäiliöön. Tiivistymiseen ei tarvita jousia tai muita hankalia kiinnittimiä. Lisäksi kauluksessa on pussinvaihtoa helpottavat muoviset kahvat. Vahvat hitsatut saumat varmistavat tarkan suodatustuloksen sekä saumojen repeämättömyyden pussinvaihdossa. BPONG suodatinpussi soveltuu käytettäväksi jo olemassa olevissa suodatinsäiliöissä.

Pussisuodatuksessa epäpuhtaudet jäävät suodatinmateriaaliin tai suodattimen sisäpuolelle. Ne eivät missään tapauksessa putoa suodatinsäiliön puhtaalle puolelle (vrt. patruunasuodatus). Suodatinpussi on käsitelty niin, ettei siitä irtoa kuitua, eikä se murene. Voidaan hävittää polttamalla.

Tuotetiedot

Suodatusasteet	1, 3, 5, 10, 25, 50, 75 100 µm
Materiaali	polypropyleeni
Käyttölämpötila	max 93 °C
Paine-eronkesto	max 2,5 bar
Tilavuusvirta	max 40 m ³ /h (koko 2)
Koot	1 (178 x 406 mm) 2 (178 x 813 mm) 3 (102 x 209 mm) 4 (102 x 355 mm) X01 (152 x 508 mm)

Ominaisuudet ja edut

- Polyloc® muovikaulus tiivistyy itsestään suodatinsäiliöön – varma suodatus ja helppokäyttöisyys
- Suodatinpussissa on vahvat hitsatut saumat – tarkka suodatus sekä varma pussinvaihto
- Epäpuhtaudet jäävät suodatinpussin sisäpuolelle – varma suodatus ja helppokäyttöisyys
- Suodatin on syväsuodattava, jolloin se suodattaa tehokkaasti kovia ja pehmeitä partikkeleita – tehokas suodatus

**Käyttökohteet**

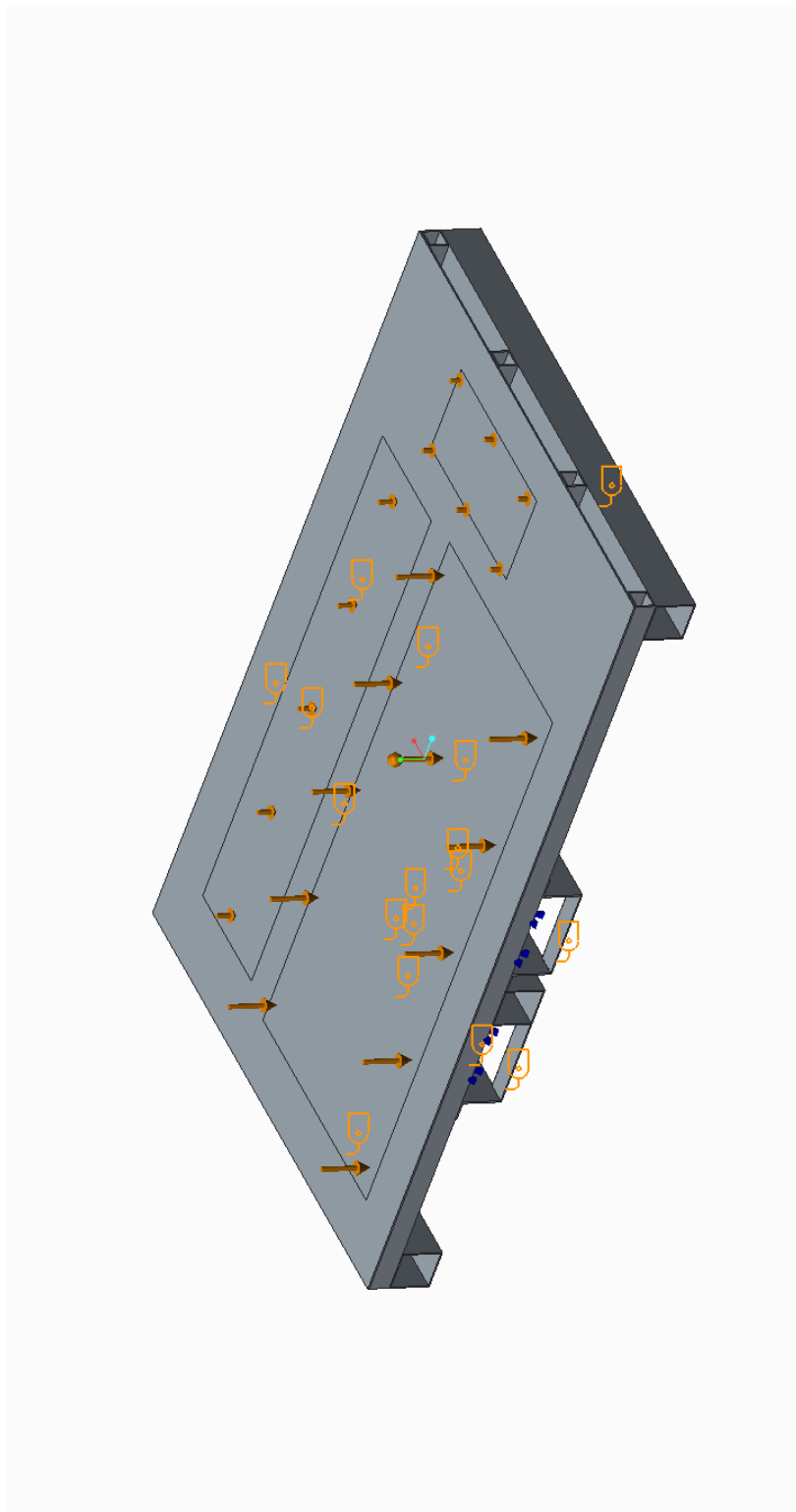
Elintarviketeollisuus
Emäkset
Hapot
Kaukokylmävedet
Kaukolämpövedet

Kemikaalit
Kosmetiikka
Liimat
Maalit
Painovärit

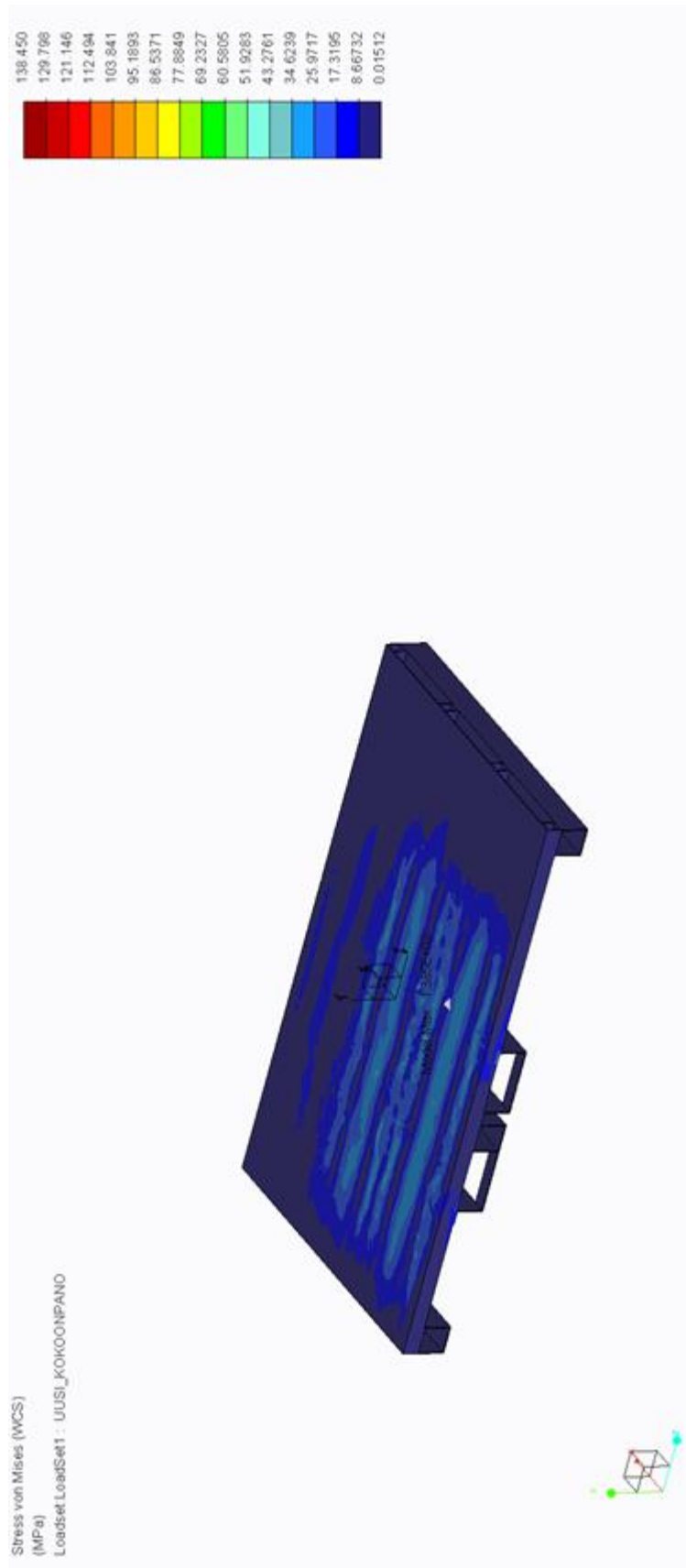
Petrokemian tuotteet
Pinnoitteet
Prosessivedet
UV-suodatuksen esisuodatus

FILTER IT[®]

Fem-analysi osa 1.



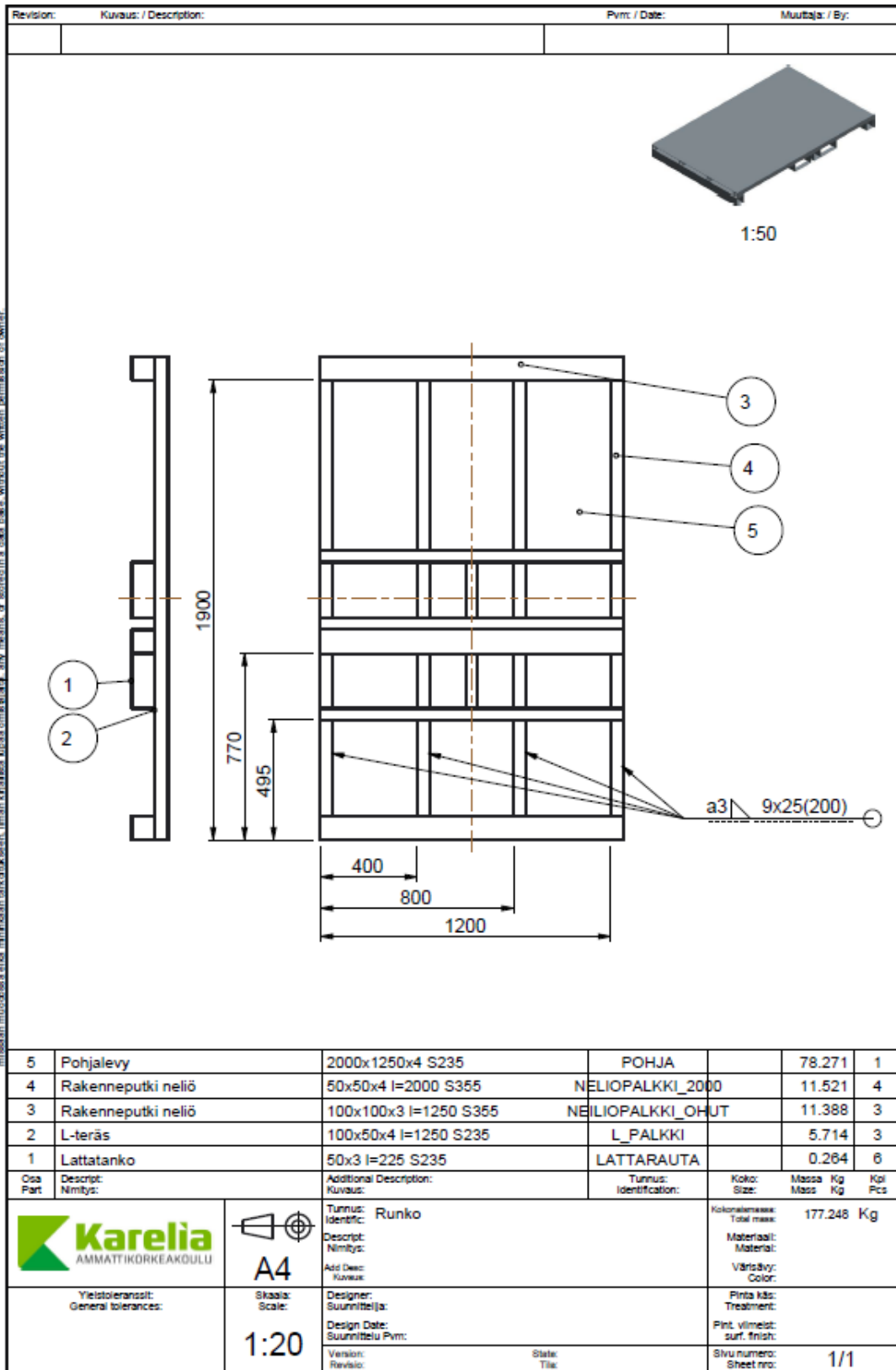
Fem-analyysi osa 2.



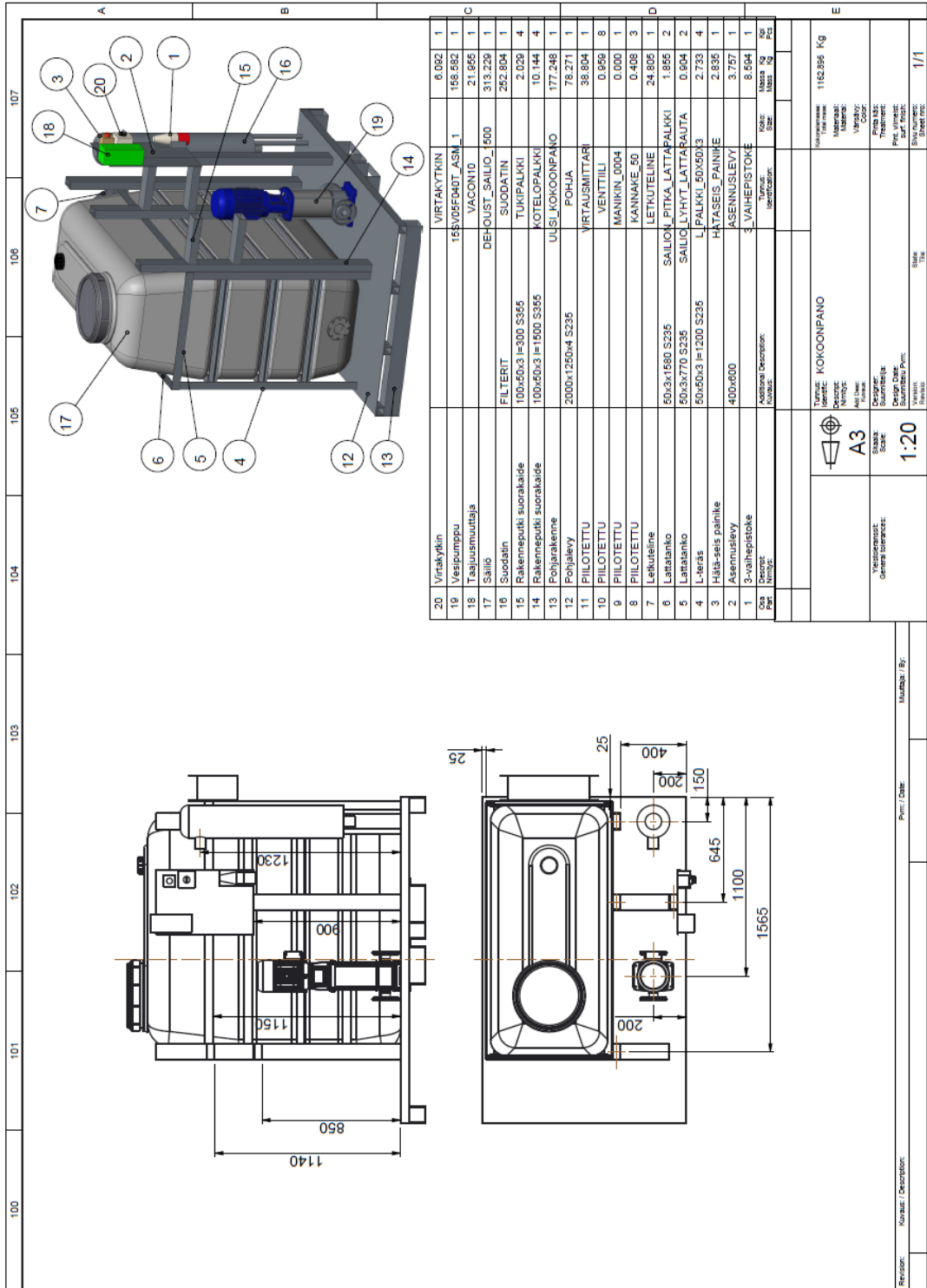
Osaluettelo.

PÄÄOSAT	Hinta/kpl	Määrä	Hinta	TOIMITTAJA
Dehoust 1500l säiliö(vaalea)+3" PP kierrelaippa	1 000,00 €	1,00	1 000,00 €	LIPLAST
Pussisuodatin säiliö+5um suodatinpussi(R012SL02T)	1 500,00 €	1,00	1 500,00 €	FILTERIT
Lowara paineenkorotuspumppu (15SV04F040T)	1 500,00 €	1,00	1 500,00 €	Savo-karjalan sähkökone
ENC-IN01-MI3 IP21 asennussarja pumpulle	60,00 €	1,00	60,00 €	Savo-karjalan sähkökone
Holkki pumpulle	18,50 €	1,00	18,50 €	Savo-karjalan sähkökone
ANTURIT				
Magneettinen virtausmittari FLOW 38 (laippa tai kierre)	1 000,00 €	1,00	1 000,00 €	Säätö oy
painemittari wika 0-10bar vaimennettu	35,00 €	1,00	35,00 €	Onninen
Magneettinen pintakytkin, Kobold M04-E1R8WWXX00, 1 uimuri	200,00 €	1,00	200,00 €	Säätö oy
SÄHKÖTARVIKKEET				
Taajuusmuuttaja Vacon 10	385,00 €	1,00	385,00 €	Savo-karjalan sähkökone
Painelähetin(PT5403), pistokeliittimellä	145,00 €	1,00	145,00 €	Savo-karjalan sähkökone
HÄTÄ-SEIS kotelo NO+2NC	80,00 €	1,00	80,00 €	Savo-karjalan sähkökone
Turvakytkin 3x16 sis. Holkit	92,00 €	1,00	92,00 €	Savo-karjalan sähkökone
3-Vaihe virtapistoke	8,00 €	1,00	8,00 €	Savo-karjalan sähkökone
Virtapiuha moottorille 3m	15,00 €	1,00	15,00 €	Savo-karjalan sähkökone
PAINEPUTKISTO (304 tai 304L)				
60,3;1,6(DN50) putkea 11m EN 10217-7 (hitsattu)	18,20 €	2,00	36,40 €	Onninen
Mutkat DN50 R=1,5 90° t=2mm	7,00 €	14,00	98,00 €	Onninen
T-haarat EN 10253-3	25,00 €	2,00	50,00 €	Onninen
irtolaippa PN16	45,00 €	4,00	180,00 €	Onninen
Putken kannake	12,00 €	9,00	108,00 €	Onninen
Tärinävaimennin, paljetasain DN50	46,00 €	1,00	46,00 €	Onninen
IMUPUTKISTO (304 tai 304L)				
88,9;2(DN80) putkea 1,5m EN 10217-7 (2m)	27,00 €	2,00	54,00 €	Onninen
Supistuskartio EN 10253-3 epäkesko 88,9-> 60,3	12,00 €	1,00	12,00 €	Onninen
Tärinävaimennin, paljetasain DN80	77,00 €	1,00	77,00 €	Onninen
kauluslaippa PN16	53,50 €	2,00	107,00 €	Onninen
Mutkat DN80 R=1,5 90°	10,00 €	2,00	20,00 €	Onninen
POHJARUNKO				
Rakenneputki neliö 50x50x4 S355 (12m)	10,00 €	12,00	120,00 €	Onninen
Rakenneputki neliö 100x100x3 S355 (6m)	15,50 €	6,00	93,00 €	Onninen
Pohjalevy 4x1250x2500 S235	1,50 €	100,00	150,00 €	Onninen
L-teräs 100x50x4 s235 (4m)	11,00 €	4,00	44,00 €	Onninen
Lattatanko 50x3 s235 (2m) (Hinta yhd. ylärunko)				Onninen
YLÄRUNKO				
L-teräs 50x50x3 s235 (6m)	5,50 €	6,00	33,00 €	Onninen
Rakenneputki suorakaide 100x50x3 s355 (6m)	12,00 €	6,00	72,00 €	Onninen
Lattatanko 50x3 s235 (6m)	1,90 €	6,00	11,40 €	Onninen
MUUT				
ALBA -letkuteline	25,00 €	1,00	65,00 €	Wurth
Paineletkut Montreal 20, työpaine 20 Bar, 63x75,5mm 6m	40,00 €	6,00	240,00 €	Wurth
Liittimet	0,00 €	0,00	0,00 €	Outotec
Käsiumpu HP140 OPTIO	540,00 €	1,00	540,00 €	E.M. Leino
Varustelaatikko	50,00 €	1,00	50,00 €	?
VENTTIILIT				
Palloventtiili 1" HST 2017K (tyhjennys)	27,00 €	2,00	54,00 €	Onninen
Läppäventtiili EPDM DN80 (imupuolelle)	118,00 €	1,00	118,00 €	Onninen
Palloventtiili DN50 HST 2017K (painepuolelle)	77,00 €	5,00	385,00 €	Onninen
Läppätakaiskuventtiili DN50 HST (laippojen väliin asennus)	85,00 €	1,00	85,00 €	Onninen
YHTEENSÄ			8 887,30 €	

Valmistuspiirustukset. Pohjarakenne.



Valmistuspiirustukset. Komponenttien sijainnit.



Valmistuspiirustukset. Tuotos.

100	101	102	103	104	105	106	107
A	B	C	D	E			
Transmittance: 99.99%				Scale: 1:10			
Number / Description: 1161.017				Title: KOKOONPANO			
Date: 14.03.2016				Drawing Reference: TUOTO8			
Designer: Suurimäe Pärtel				Weight: 1161.017 Kg			
Design Date: 14.03.2016				Material: Polypropylene			
Design: Suurimäe Pärtel				Method: 3D Model			
Project: 1161.017				Finish: Smooth			
Sheet: 1/1				Drawing Date: 14.03.2016			
Print / Date: /				Number / By: /			

Maat ja mitat on antud juhul, kui on nähtav. Kui on nähtav, et mõni osa on võetud välja, siis on see nähtav. Kui on nähtav, et mõni osa on võetud välja, siis on see nähtav.