

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Kimmo Rummukainen

KAVITAATIODEMONSTRAATTORI

Opinnäytetyö
Elokuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2019
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutus
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Kimmo Rummukainen

Nimeke
Kavitaatiodemonstraattori

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on Karelia-ammattikorkeakoulun tilaama työ. Tässä opinnäytetyössä tarkastelin kavitaatioilmiötä fluiditekniikan osa-alueilla, hydraulikan, hydrostaatiikan ja hydrodynamiikan näkökulmasta.

Suunniteltu, opetuskäyttöön tuleva pumppuprosessi sisältää VDI 2222 tuotesuunnitteluprosessin, alkaen asiakkaan tarpeista ja edeten valmiiseen kavitaatiodemonstraattorin konesuunnitelmaan, josta voidaan rakentaa turvallinen laboratoriokäyttöön toimiva laite.

Kieli
suomi

Sivuja 47
Liitteet 2
Liitesivumäärä 58

Asiasanat

kavitaatio, koneensuunnittelu, pumppu, VDI 2222



THESIS
August 2019
Degree Programme in Mechanical Engineering
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author
Kimmo Rummukainen

Title
Cavitation demonstrator

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

This thesis is a work commissioned by Karelia University of Applied Sciences. In this thesis, the cavitation phenomenon in the areas of fluid technology was looked at from the point of view of hydraulics, hydrostatics and hydrodynamics.

The planned pump-to-use pump process includes the VDI 2222 product design process, starting from the customer's needs, and proceeding to a complete cavitation demonstrator machine design that can be used to build a device for safe laboratory operation.

Language

Finnish

Pages 47

Appendices 2

Pages of Appendices 58

Keywords

cavitation, mechanical engineering, pumps, VDI 2222

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyö ja tavoite	5
1.2	Työn teettäjän esittely	5
2	Pumpun toiminta	6
2.1	Keskipakopumppu	6
2.2	Juoksupyörä	7
2.3	Peruskäsitteet	8
3	Hydromekaniikan perusteet	9
3.1	Hydrostaatiikka	9
3.2	Hydrodynamiikka	10
3.3	Virtaustyytit	10
3.4	Reynoldsin luku	11
3.5	Bernoullin yhtälö	12
3.6	Laskuesimerkki 1	13
3.7	Laskuesimerkki 2	15
4	Kavitaatio	16
5	Pumpun suunnittelu	18
5.1	Suunnitteluprosessi VDI 2222	18
5.2	Vaatimusten käsittely	19
5.3	Vaatimusluettelo	20
5.4	Laatukaavio QFD	21
5.5	QFD-kaavion täyttäminen	22
5.6	Toimintorakenne	24
5.7	Ideointi	25
5.8	Luonnostelu	26
5.9	Kavitaatiodemonstraattorin laskelmat	27
5.10	ISO31000-toimintatapa ja ISO31010-menetelmät (FMEA)	28
5.11	F.M.E.A riskiarviointi ja suunnitteluriski kavitaatiodemonstraattorista	30
5.12	Koneturvallisuus	31
5.13	Kavitaatiodemonstraattorin turvallisuus- ja käyttösuunnitelma	32
5.14	Osaluettelo kavitaatiodemonstraattorista	32
5.15	Kuvat (Creo)	41
6	Pohdinta, johtopäätökset ja yhteenveto	44
7	Lähteet	46

Liitteet

Liite 1	CPC-Line. Stainless steel centrifugal pumps
Liite 2	User manual CPC Centrifugal pumps

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyö ja tavoite

Karelia-ammattikorkeakoulu antoi toimeksiannon opinnäytetyöhön, koulun fysiikan laboratorioon tarvitaan opetuskäyttöön vesipumppu, joka tuottaa kavitaatioilmiön. Tarkastelen kavitaatioilmiötä fluiditekniiikan eri osa-alueilla, hydrauliiikan, hydrostatiikan ja hydrodynamiikan näkökulmasta. Opetuskäyttöön tulevan pumpun esimerkkilaskelmat ja suunniteltavan pumpun rakenne pohjautuvat täysin hydrodynamiikkaan, josta esittelen työhön liittyvät kaavat, joita käytännön osuudessa tarvitaan. Käytännön osuus sisältää VDI 2222 tuotesuunnitteluprosessin, jonka avulla etenen systemaattisesti kavitaatiopumpun suunnittelussa ottaen huomioon tilaajamääräykset ja toivomukset tuotteesta. Opinnäytetyö sisältää valmistuspiirustukset valmistettaviin osiin ja tehdastekojen osien luettelon.

1.2 Työn teettäjän esittely

Karelia-ammattikorkeakoulun toiminta alkoi vuonna 1992. Ammattikorkeakoululla on kaksi kampusta Tikkarinteellä ja Wärtsilässä. Opetusta järjestetään myös Tiedepuistossa. Karelia-amk huomioi työelämän ja työelämäyhteisöjen näkökulmia ja on sitä myötä tullut tärkeäksi tekijäksi yhteiskunnallisessa aluekehitystyössä. Karelia-ammattikorkeakoulu tuottaa monipuolisia palveluja yritysten tarpeisiin. Opetuksen lisäksi Karelia-amk on kehittänyt laboratorioita tarkkuustekniikan, rakennus- ja talotekniikan, tieto- ja viestintätekniiikan sekä kone- ja tuotantotekniikan tutkimusympäristöissä. Lean & Six Sigma-tuoteperhe, koulutus- ja asiantuntijapalvelut ovat tarjolla maakunnan yrityksille ja julkisille organisaatioille. Karelia-ammattikorkeakoulu tekee kumppanuusyhteistyötä maakunnan yritysten kesken. Karelia-ammattikorkeakoulu on Joensuun kaupungin omistama osakeyhtiö. Karelia-ammattikorkeakoululla on vuosittain opiskelijoita noin 4000, henkilökuntaa 320, tutkintoja suoritetaan vuodessa noin 660, liikevaihtoa Karelia-amk:lla 32 miljoonaa euroa. [7, 14-17.]

2 Pumpun toiminta

Pumpun toiminta perustuu pumpun tuottamaan tilavuusvirtaan ja imuun, joka synnytetään sähkömoottorilla. Pumppu tuottaa tilavuusvirtaa, ei painetta. Paine saadaan rajoittamalla tilavuusvirtaa esimerkiksi kuristimilla ja venttiileillä. Pumppu ylläpitää komponenteilla saatua painetta.

Boyle-Mariotten lain määritelmä, paine kertaa tilavuus on vakio. Kaavassa vaikuttaa myös lämpötila. Paineen noustessa tilavuus pienenee ja tilavuuden kasvaessa paine pienenee, laki toimii kaasuissa ja nesteissä. [3, 5.]

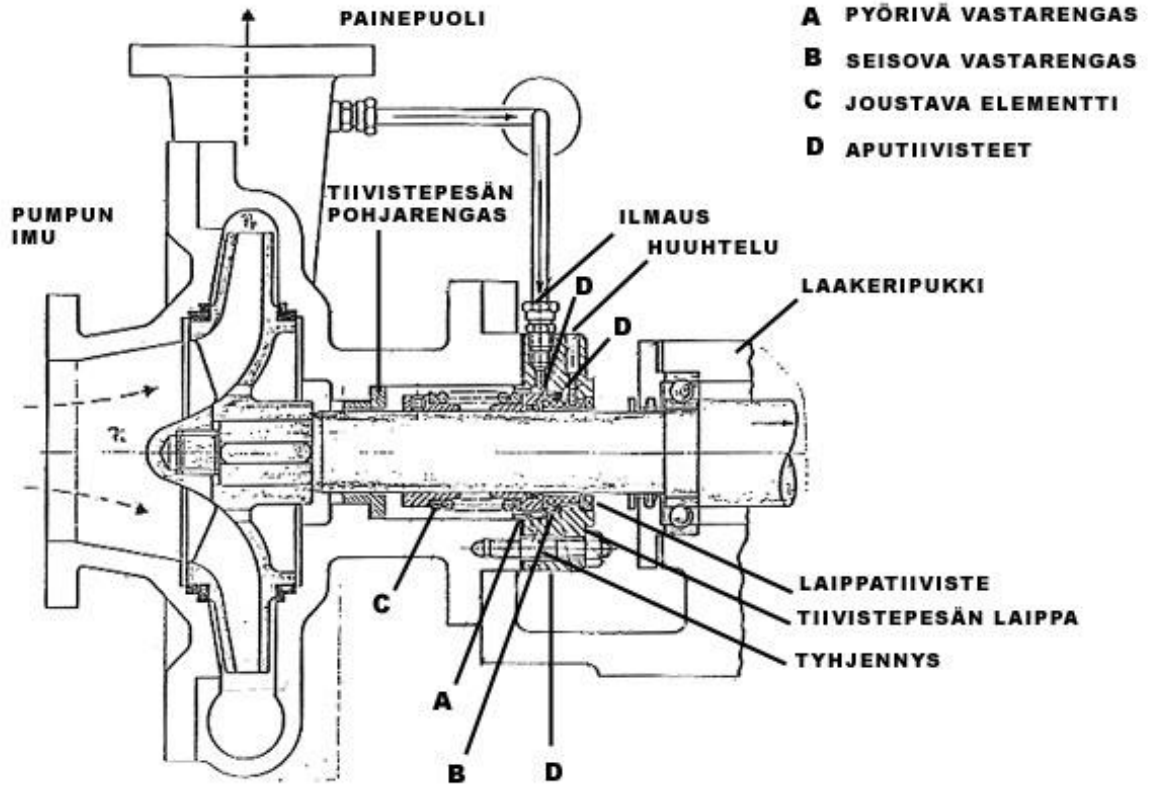
Boyle-Mariotten laki

$$pV = \text{vakio}$$

Pumpputyypit jaetaan kahteen ryhmään toimintatavan mukaisesti, syrjäytyspumput ja dynaamiset pumput. Syrjäytyspumpeissa nestettä siirretään pumpun osan liikkeellä, esim. siipi, mäntä, kalvo tai ruuvi. Dynaamisissa pumpeissa nesteen siirto perustuu liike-energian käyttöön. [13, 2-8.]

2.1 Keskipakopumppu

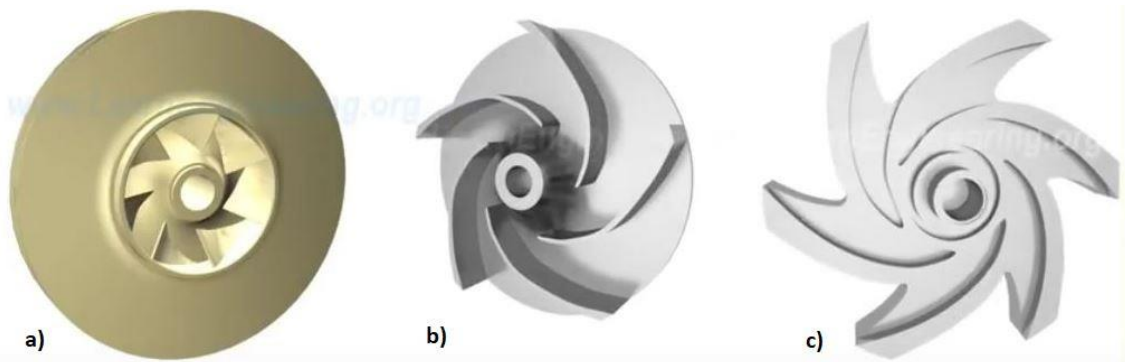
Teollisuuden yleisin käytössä oleva pumpputyyppejä on keskipakopumppu. Keskipakopumpussa juoksupyörämuoto saa nesteen pyörivään liikkeeseen, keskipakovoima vie nesteen kehälle, pumpun pesän rakenne ja muoto ohjaavat nesteen paineaukkoon. Keskipakopumppu on jatkuvatoiminen, nesteen virtaus kehälle saa aikaan juoksupyörän keskelle alipaineen, jolloin pumppu imee uutta nestettä juoksupyörän keskelle. [13, 8.] Pumpun rakenne esitellään kuvassa yksi ja juoksupyörä mallit esitellään kuvassa kaksi.



Kuva 1. Keskipakopumpun rakenne [10].

2.2 Juoksupyörä

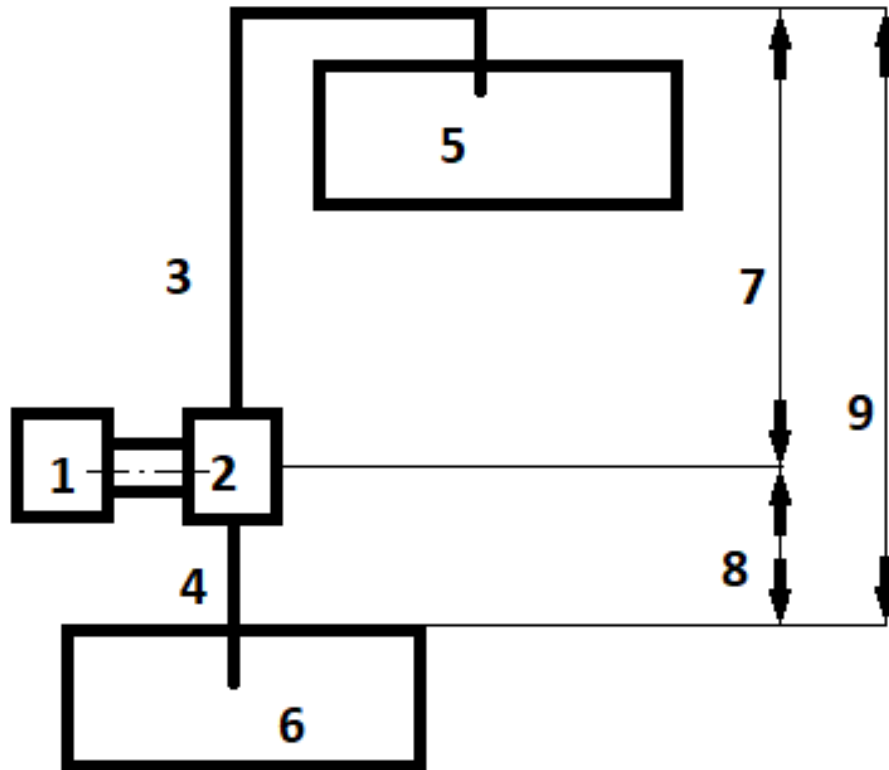
Yleisimmät keskipakopumpun juoksupyörät.



Kuva 2. a) Suljettu juoksupyörä b) Puoliavoin juoksupyörä c) Avoin juoksupyörä [12].

2.3 Peruskäsitteet

Pumppun peruskäsitteet esitellään kuvassa 3. Toiminnalliset komponentit ja termit.



Kuva 3. Pumppun peruskäsitteet [13, 1].

1. Moottori
2. Pumppu
3. Paineputki
4. Imuputki
5. Ylätason säiliö
6. Alatason säiliö
7. Nostokorkeus painepuolella
8. Nostokorkeus imupuolella
9. Staattinen nostokorkeus

Nostokorkeus

Staattisella nostokorkeudella tarkoitetaan imu- ja painepuolen korkeutta yhteensä. Pumpun staattinen kokonaisnostokorkeus saadaan lisäämällä vielä virtausvastukset. [13, 1.]

Pumpun tuotto, hyötösuhde ja hyötyteho

Pumpun tuotto on, mitä pumppu siirtää säiliöstä toiselle jossain aikayksikössä. Hyötysuhde on pumppuun tuodun ja siitä saadun tehon suhde. Hyötyteho on tuotto kertaa nostokorkeus kertaa nesteen ominaispaino. [13,1-2.]

Tilavuusvirta

Tilavuusvirta tarkoittaa, kuinka monta litraa nestettä virtaa minuutin aikana. [3.]

3 Hydromekaniikan perusteet

Hydromekaniikka on virtausopin osa-alue, johon kuuluu hydrostatiikka ja hydrodynamiikka. Hydrostatiikassa tarkastellaan nesteiden tasapainotiloja eli levossa olevia fluideja ja hydrodynamiikassa nesteen virtauslakeja. [9,13.]

3.1 Hydrostatiikka

Hydrostatiikan peruslaki on Pascalin määritelmä:

”Voiman vaikutus levossa olevaan nesteeseen leviää tasaisesti kaikkiin suuntiin nesteen sisällä. Vallitsevan paineen suuruus nesteessä riippuu vaikuttavasta voimasta ja sen vaikutuspinta-alasta. Paine vaikuttaa kohtisuoraan säiliön seinämiä vastaan” [9,13.]

$$p = \frac{F}{A}$$

Missä, p = paine [N/m^2], F = voima [N] ja A = pinta-ala [m^2]

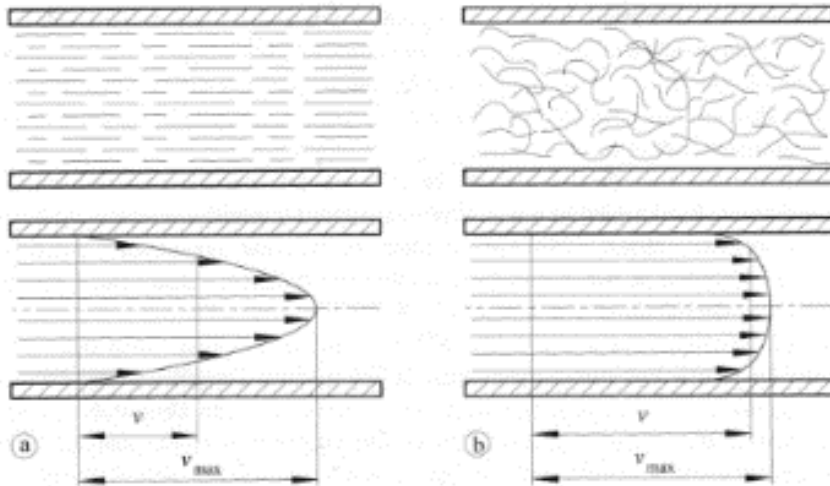
Hydrostatiikassa käytettävät yhtälöt olettavat nesteiden olevan idealinesteitä: kokoon puristumattomia, kitkattomia ja massattomia. Massattomuutensa vuoksi neste ei ota vastaan kineettistä energiaa, jolloin nesteen siirto ei tarvitse työtä. Kitkattomalla nesteellä ei ole virtausvastusta, eli viskositeettia. Kokoon puristumattoman nesteen tilavuus ei muutu, vaikka paine vaihtelee. Käytännössä tällaisia nesteitä ei ole, vaan hydrostatiikka olettaa fluidien käyttäytyvän kiinteän kappaleen lailla. [9, 13]. Nesteessä ei voi esiintyä vetojännityksiä, vaan nesteeseen voi vaikuttaa vain puristus eli paine.

3.2 Hydrodynamiikka

Hydrodynamiikassa otetaan huomioon nesteen virtaus, massa, kitka ja kokoonpuristuvuudet. Liikkuvalla nesteellä paine on sama kuin levossa olevalla nesteellä, mutta nesteen kitkat, tiheys ja liike aikaansaavat sen, ettei kokonaispaine ole sama laitteen joka putkistoissa, vaan alenee virtaussuunnassa häviöiden vaikutuksesta. [9, 23.]

3.3 Virtaustyyppit

Virtausta on laminaarista tai turbulenttista. Laminaarinen, paraboloidinen virtaus on kerrosmaista virtausta, jossa viskositeetit ovat suuria hitausvoimiin verrattuna. Turbulenttinen virtaus muodostuu virtausnopeuden kasvaessa, kitkavoimat ovat pieniä, jolloin nesteeseen syntyy pyörteitä, jotka eivät noudata virtausratoja. Turbulenttisen virtauksen seurauksena hetkelliset nestehiukkaset voivat liikkua virtaussuuntaa vastaan. Virtaustavalla on suuri merkitys nesteen siirtohäviöihin. Nesteen virtauksen pitäisi olla tasaista ja pyörteetöntä virtausta, näihin haluttuihin virtauksiin harvoin päästään. [9, 28.]



Kuva 4. Laminaarinen (a) ja turbulenttinen (b) virtaus. [9, 28].

3.4 Reynoldsin luku

Reynoldsin luku ilmaisee massavoimien ja kitkavoimien suhdetta, eli laminaarisen virtauksen muuttumisen turbulenttiseksi. Virtaus on laminaarista, jos $Re < 2100$ ja turbulenttista jos $Re > 3000$. Reynoldsin luku vaihtelee virtauskanavien ja aukkojen ominaisuuksien mukaan. [9, 23.]

Reynoldsin luku on turbulenssin aiheuttaman leikkausjännityksen ja viskositeetin aiheuttaman leikkausjännityksen suhde. [16, 106.]

Reynoldsin yhtälö

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta}$$

Missä, v = virtausnopeus [m/s].

η = fluidin dynaaminen viskositeetti [m²/s].

D_H = putkensisähalkaisija [m].

ρ = virtaavan aineen tiheys [kg/m³].

3.5 Bernoullin yhtälö

Bernoullin yhtälö on energiayhtälö, joka yhdistää nopeusenergian, potentiaalienergian ja paine-energian. Eli yhtälö sitoo toisiinsa paineen, virtausnopeuden ja korkeuseron.

Täydennetty Bernoullin yhtälö

$$P_1 + C_1 \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g z_1 + \Delta p_p = P_2 + C_2 \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g z_2 + \Delta p_h$$

Missä,

P = paine [Pa].

ρ = fluidin tiheys [kg/m³]

g = gravitaatio [m/s²].

z = pumpun nostokorkeus [m].

v = virtausnopeus [m/s].

C = korjauskerroin, jos virtaus on turbulenttia.

$C=1$, laminaariselle virtaukselle $C=2$.

Putken korkeus on z_1 .

nesteen paine p_1 , pisteessä 1.

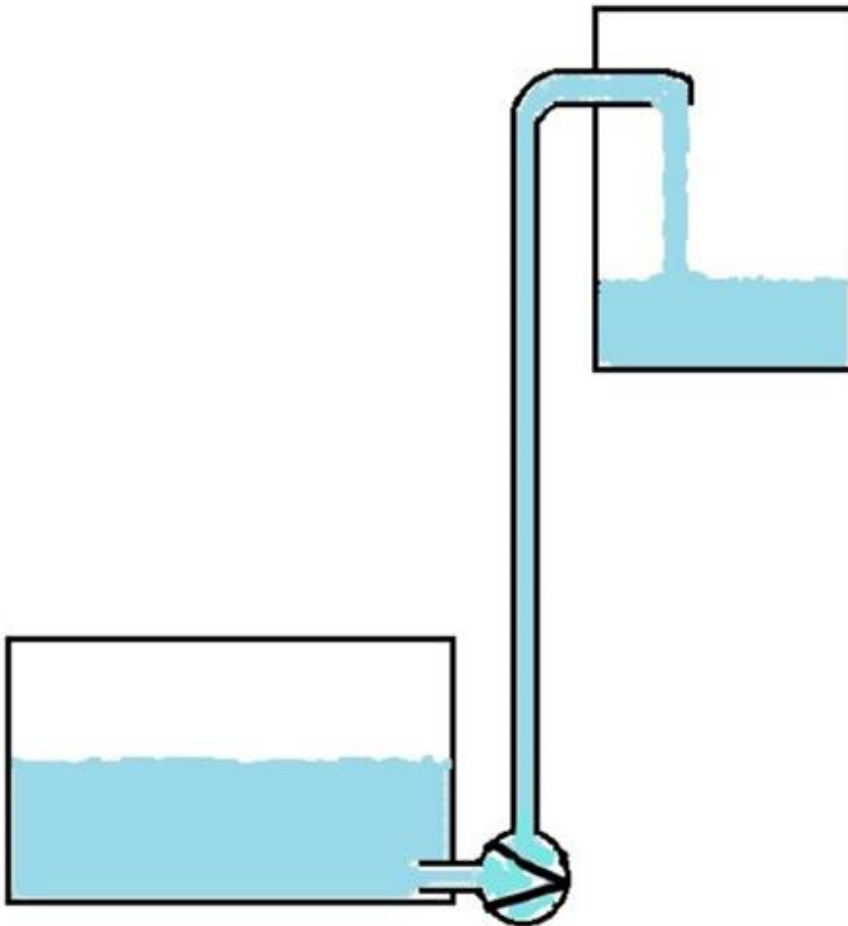
Putken korkeus on z_2 .

nesteen paine p_2 pisteessä 2.

[5, 128.]

3.6 Laskuesimerkki 1

Vettä pumpataan säiliöstä toiseen. Vesi pumpataan 20 mm putkea pitkin. Poistoputken pää on 6,0 m korkeammalla kuin pumppu, alasäiliön vedenpinta on 0,2 m korkeammalla kuin pumppu. Alasäiliön ja pumpun välinen putken pituus on 0,5 m. Tilavuusvirta $q_v = 1,5$ l/s, Vedenlämpötila $+22^\circ\text{C}$, kylläisen vesihöyrynpaine 2,643 kPa, vedenviskositeetti $\eta = 1,002 \cdot 10^{-3}$, kitkavastuskerroin (Moodyn taulukko) $\lambda = 0,0225$. Laske kuinka suuri paine pumpun on kehitettävä ja tapahtuuko kavitaatioilmiötä? [5, 141.]



Kuva 5. Laskuesimerkki [5,141].

Lasketaan virtausnopeus

$$Q = A_1 V_1 = V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.0015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \cdot (0.02^2) \text{ m}^2}{4}} = 4.77 \text{ m}^2/\text{s}$$

Lasketaan Reynoldsin luku

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4.77 \text{ m/s} \cdot 0.02 \text{ m}}{0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 95400$$

$Re > 3000$ virtaus on turbulanttista

Lasketaan painehäviöt

$$P_{kok} = \lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{L}{d}$$

$$P_{kok} = 0.0225 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4.77^2 \text{ m/s} \cdot \frac{8.5 \text{ m}}{0.02 \text{ m}} = 908.43 \text{ pa} = 0.9 \text{ kpa}$$

Tuotettava kokonaispaine, täydennetyllä Bernoullin yhtälöllä

$$P_1 + C \frac{\rho v_1^2}{2} \rho g z_1 + \Delta p_p = P_2 + C \frac{\rho v_2^2}{2} \rho g z_2 + \Delta p_h$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 19.0986^2 \text{ m/s} + 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.5 \text{ m} + 0.9 \text{ kpa} =$$

$$P = 109 \text{ kpa}$$

Lasketaan hydrostaattinen paine pumpun imuaukon kohdalta. Pumpun sijoituspaikka alasäiliön pohjan tasassa.

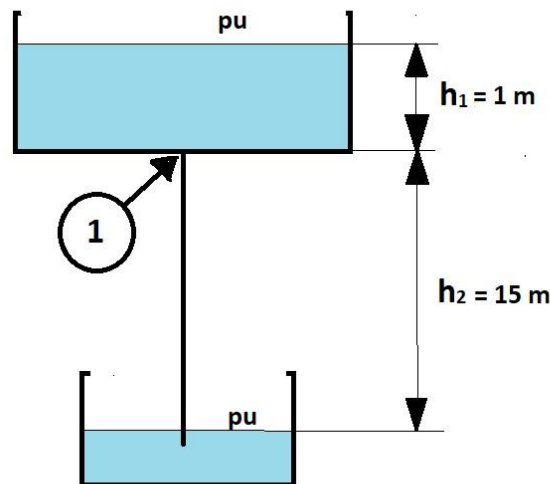
$$P_1 = P_3 + \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,19^2 \text{ m/s} + 1000 \text{ kg/m}^2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (-0,2 \text{ m}) + 0,9 \text{ kPa}$$

$$P_1 = 2,96 \text{ kPa}$$

Kylläisen vesihöyrönpaine 2,643 kPa on pienempi kuin hydrostaattinen paine imuaukolla, pumppu kavitoi [5,141.]

3.7 Laskuesimerkki 2

Talon katolla on avoin yhden metrin syvyinen vesisäiliö, josta vesi pääsee virtaamaan putkea pitkin alakerrassa olevaan avoimeen säiliöön. Korkeusero on ylemmän säiliön veden pinnasta alasäiliöön 16 metriä, P_u ilmanpaine 10^5 N/m^2 ja ρ veden tiheys 1000 kg/m^3 . Tarkastellaan pistettä 1. [16, 148.]



Kuva 6. Laskuesimerkki [16,148].

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho\omega_1^2 = \rho gh_1 + p_{u2}$$

Virtausnopeus

$$\frac{1}{2}\rho\omega_1^2 = \rho g(h_1 + h_2)$$

Putouskorkeus

$$h_1 + h_2$$

Vedenpaine pisteessä 1.

$$p_1 = \rho gh_1 + p_u - \rho g(h_1 + h_2)$$

$$p_1 = p_u - \rho gh_2$$

$p_1 = -0,5$ bar

Putkessa on voimakas kavitaatio.

Ratkaisu kavitaation estämiseen on laittaa putken alapäähän virtausvastusventtiili, jonka avulla virtausnopeutta saadaan pienennettyä.

4 Kavitaatio

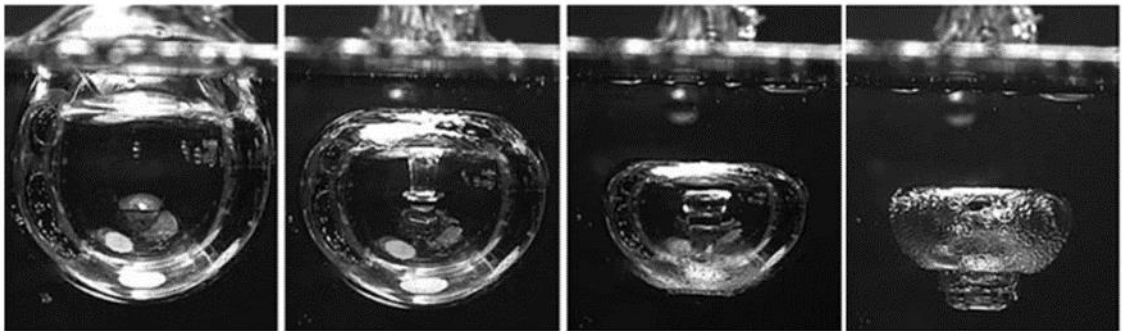
Kavitaatio syntyy yleensä pumpun imupuolelle. Voimakas alipaine aiheuttaa virtaavan nesteen kylmäkiehuminen ja kaasukuplien muodostumisen, jossa ilmanpaine ei enää pidä nestettä nesteenä, vaan paineen laskiessa neste alkaa kylmäkiehua. Jokaisella fluidilla on lämpötilasta riippumaton höyrystymispaineensa. [3,5.]

Ilmakuplat muodostuvat pumpun juoksupyörän siipisolän etuosaan, josta ne virtauksen mukana liikkuvat siipisolassa. Kuplan saavuttua paikkaan, jossa paine on korkeampi kuin nesteen höyrystymispaine kupla, romahtaa ja antaa paine iskun pumpun juoksupyörän metallipinnoille. [13,11.]

Kavitointi aiheuttaa komponenttien kulumista ja voi merkittävästi lyhentää pumpun käyttöikä. Kaikkein yleisin kavitaation oire on vasarointia muistuttava

ääni pumpussa, ääni voi olla ajoittaista tai jatkuvaa. Kavitaatio johtaa lopulta tuoton ja paineen romahtamiseen. [1.]

Kavitaatio ei tarvitse syntyäkseen ympärilleen suljettua komponenttia. Kavitoitongelma voi syntyä perämootorin käydessä, potkurin lavan toiselle puolelle syntyy alipaine ja sen myötä vesi alkaa kylmäkiehua muodostaen pieniä kuplia. Tyhjiökuplat eivät kestä ympäröivää painetta, vaan ne hajoavat välittömästi ja synnyttävät meteliä, ja potkurin rikkoutuminen on mahdollista. [3, 5.]



Kuva 7. Kavitaation kuplan luhistuminen [15].

Yleisimmät syyt kavitaation ja kavitaatioeroosion syntymiseen pumppuissa ja pumppujen komponenteissa:

- riittämätön imuputken halkaisija, ei sovi menemään riittäviä nestemääriä
- liian korkea staattinen imukorkeus, pumppu sijaitsee korkealla nestepintaan nähden
- riittämätön tulovirtaama, nestettä ei virtaa riittävästi pumppuun
- pyörimisnopeus mitoitettu suureksi
- liian pitkä imuputken pituus
- liian ohut imuputki
- ahtaat putkiliitokset imuputkessa
- liian monta mutkaa ja käyrää imuputkessa
- liian suuri nesteen lämpötila imuputkessa
- ympäristön kova lämpökuorma
- Ilmavuoto imuputkessa
- tukkeuma imupuolen suodattimessa

- tukkeuma imupuolen huohottimessa
- alipaineen muodostuminen. [3,6-7.]

5 Pumpun suunnittelu

5.1 Suunnitteluprosessi VDI 2222

Konstruoinnin ja kehityksen työnkulku määritellään VDI 2222:n mukaan useaan eri työvaiheeseen. Näin saadaan kehitystyölle etenemistapa, joka tuo informaatiota tehtävän edetessä. Jokaisen kohdan jälkeen arvioidaan tuotekehityksen jatkamista seuraan työvaiheeseen. [4,47.]

Konstruoinnin työnkulku kavitaatiodemonstraattorin suunnittelutyössä

1. tehtävän asettelu
 - tilaajan vaatimusluettelo
 - laatukaavio (QFD)
 - päätös jatkamisesta
2. Tehtävän määrittely
 - toimintojen määrittely
 - ideoinnin tulokset
 - luonnostellut vaihtoedot
 - päätös jatkamisesta
3. Kehittely
 - valmistettavuussuunnitelma
 - 3D-malli
 - riskiarviointi (F.M.E.A)
 - päätös jatkamisesta
4. Viimeistely
 - proto
 - tekninen tiedosto
 - päätös tuotantoon hyväksymisestä. [4,47.]

5.2 Vaatimusten käsittely

Karelia-ammattikorkeakoulun toimeksianto opinnäytetyö oli seuraavanlainen: koulun fysiikan laboratorioon tarvitaan opetuskäyttöön vesipumppu, joka tuottaa kavitaatioilmiön. Rakenteeltaan kavitaatiodemonstraattori pitää olla pienikokoinen, alle 800 mm leveä ja 1000 mm korkea, helposti siirrettävissä luokahuoneisiin pyörillä varustetulla pöydällä ja mahdollisemman kevytrakenteinen, alle 100 kg. Haastavuutta tuo toimeksiannossa pumpunrakenteen läpinäkyvyys ja pieni koko, jolla saadaan itse kavitaatiotapahtuma näkyville. Komponentit pääsääntöisesti ovat tehdastekoisia ja vaihdettavia rikkoutumisen tai kulumisen vuoksi.

Kavitaatiodemonstraattori sisältää keskipakopumpun, puoliavonaisella teräksisellä siipipyörällä, jota suojaava kotelo on osittain läpinäkyvää materiaalia. Kavitaatioilmiö muodostuu siipipyörän siipipinnoille. Kavitaatiota voidaan tarkastella kotelon läpinäkyvyyden vuoksi. Valmiiseen tehdastekoiseen pumpunsiipipyörän koteloon tehdään aukko, kavitaation tarkastelua varten. Koteloon tehtyyn aukkoon tehdään koulun työstökoneilla akryylimuovista läpinäkyvä osa, joka sovitetaan tehdastekoiseen pumpunpesään liimaamalla.

Vesisäiliö on tehdastekoinen muovista valmistettu säiliö, tilavuus 45 litraa. Säiliöön integroidaan vedenlämmitin termostaatilla ja suodatin pohjaventtiilillä. Veden lämpötilan säädöllä voidaan myös aiheuttaa ja nopeuttaa kavitaatioilmiön syntyminen.

Myös imuputkistossa tulee tapahtumaan kavitaatioilmiö, siksi putkisto rakennetaan osittain läpinäkyväksi. Kavitaatiotapahtuma voidaan saada aikaiseksi ennen ja jälkeen kuristimien. Paineen ja virtauksen muuttuessa muodostuu kavitaatiokuplia, putkiston läpinäkyvyys mahdollistaa virtaustyyppien laminaarisen ja turbulenttisen tarkastelun.

Veden lämpötilaa, painetta ja virtausta valvotaan säädettävillä komponenteilla ja mittareilla. Moottorina toimii kaksivaihesähkömoottori, jonka toimintaa ohjataan ABB ACS355 -taajuusmuuntajalla.

5.3 Vaatimusluettelo

Tilaaajan vaatimusluettelo esittää tärkeimmät tuotesuunnittelun lähtökohdat tuotevaatimuksista: kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset ja toivomukset. Näille vaatimuksille annetaan numerollinen merkitys, joka määrittää ominaisuuden tärkeyden [2,11.]

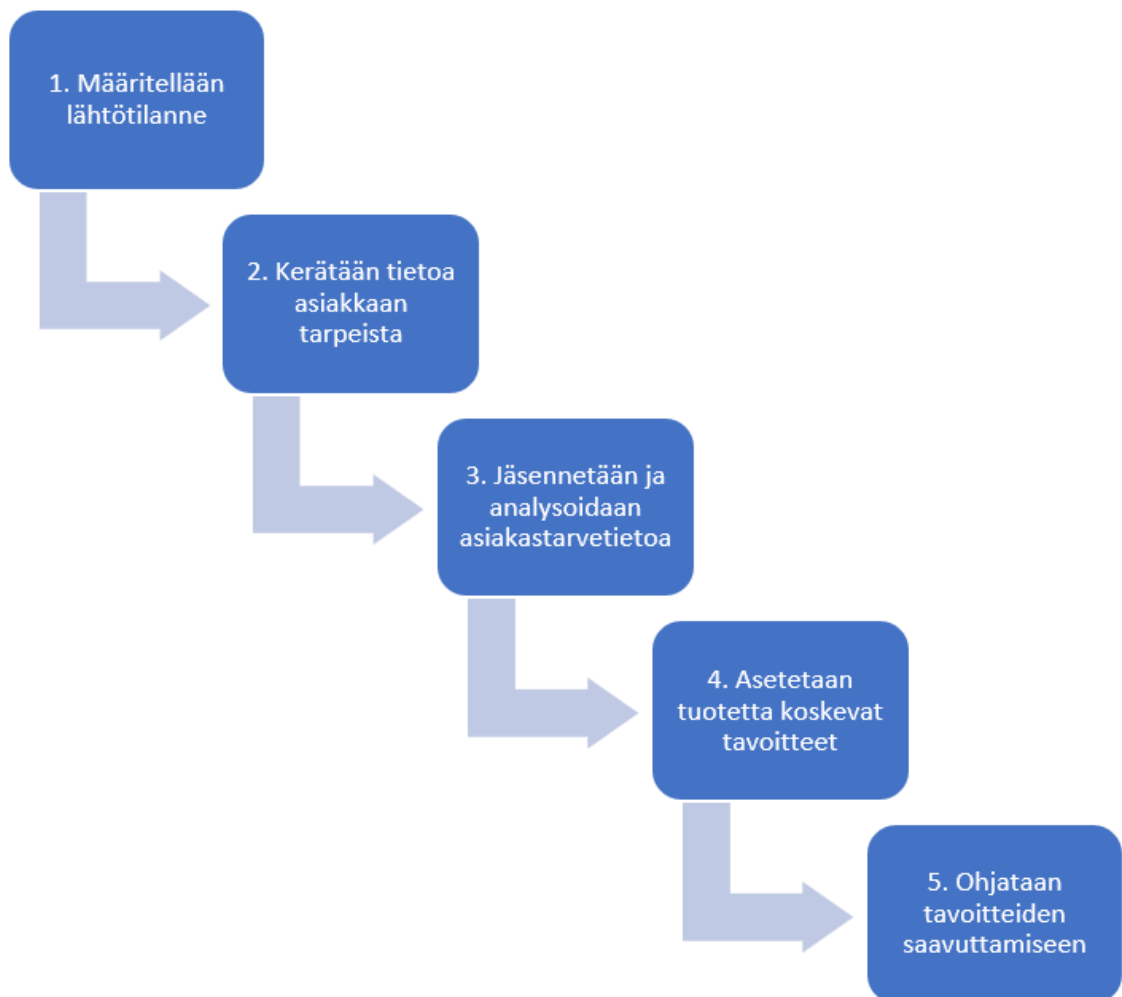
Vaatimuslista kavitaatiodemonstraattorille

Karelia ammattikorkeakoulu	Vaatimuslista kavitaatiopumpulle	Pvm: 21.8.2018
VAATIMUKSET	SUURUUS	MERKITYS
<p>Kiinteät vaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sähkömoottorin teho - Pyörimisnopeus - Läpinäkyvä pumpun pesä - Läpinäkyvä putkisto - Tilavuusvirran säätö - Painemittarit - Lämpötilan säätö <p>Vähimmäisvaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laitteen koko - Paino - Käyttömukavuus - Huoltoväli - Turvallisuus - Kustannukset - Proto valmis <p>Toivomukset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Käyttöohjeet - Ergonominen työskentely korkeus - Tehdas komponenttien käyttö 	<p>100 W < 3000 1/min</p> <p>+ 20-80°C</p> <p>< 800 mm·1000 mm < 100 kg</p> <p>> 100 h</p> <p>< 1000 euroa 1.12.2018</p>	<p>III I IV II IV II II</p>
<p>IV = Ratkaiseva merkitys III = Suuri merkitys</p>	<p>II = Jonkin verran merkitystä I = Vähäinen merkitys</p>	

Taulukko 1. Kavitaatiodemonstraattorin vaatimuslista [2,14].

5.4 Laatukaavio QFD

Quality Function Deployment (QFD) on Japanissa 1970-luvulla kehitetty asiakaslähtöinen tuotteen ja palvelun kehitysjärjestelmä. QFD tunnetaan myös nimellä laadun talo, The house of quality. Järjestelmän avulla kerätään systemaattisella tavalla asiakkaan tarpeet mitattaviksi tuoteominaisuuksiksi. QFD:n keskeinen ominaisuus tuotekehityksessä on kyky tukea ryhmätyöskentelyä ja antaa yhteisen kielen tuotekehityksessä mukanaoleville. QFD ei vain määrittele laatua vaan lyhentää tuotteen kehitysaikaa, vähentää kehityskustannuksia, tuottaa tuotteita ja palveluja, jotka toimivat yhdessä. [6, 78-79.]



Kuva 8. Asiakastarvekartoitusprosessi [8, B7].

5.5 QFD-kaavion täyttäminen

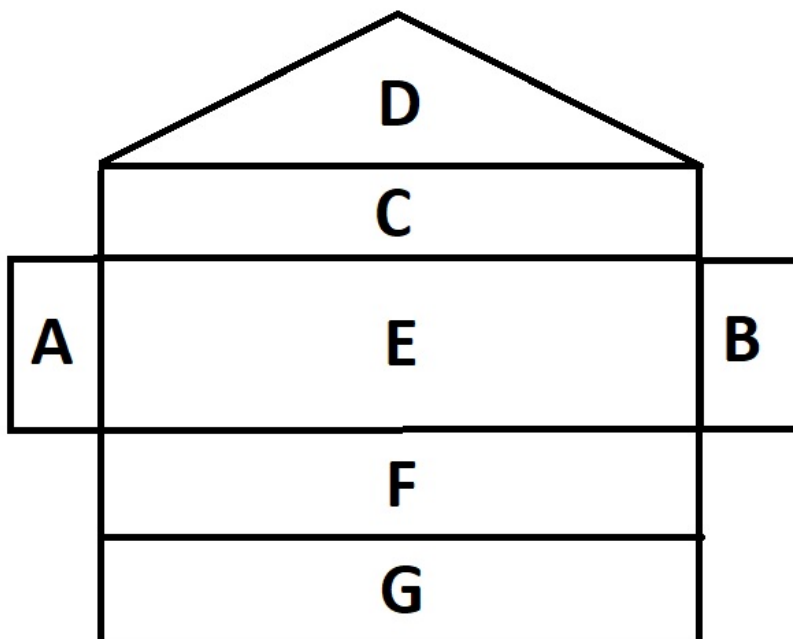
Kuvassa 9. kuvataan QFD:n yleiset päävaiheet. Järjestys matriisiin täyttämiseen on seuraava:

Asiakastaulukot

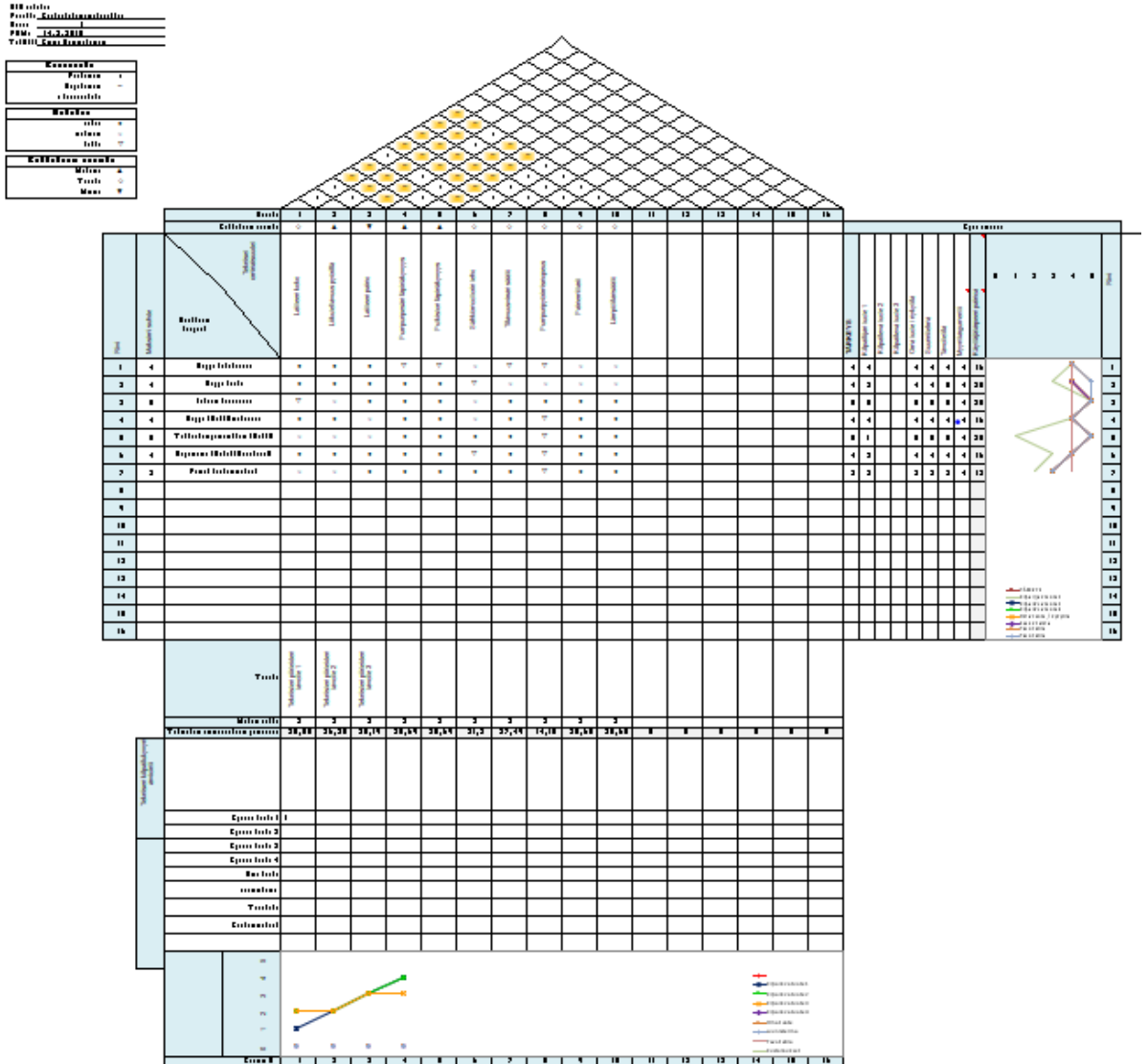
- A. asiakkaan tarpeiden määrittäminen
- B. kilpailija-analyysi, kirjataan matriisiin tärkeimmät kilpailijat ja kilpailevat tuotteet
- C. tuotteen tekniset ominaisuudet ja piirteet

Tekniset taulukot

- D. tuoteominaisuuksien keskinäiset riippuvuudet
- E. asiakastarpeiden ja tuoteominaisuuksien väliset riippuvuudet
- F. tuoteominaisuuksien priorisointi
- G. alustavat spesifikaatiot (tuotteen ominaisuudet) tilaajan tarpeeseen ja ominaisuuteen vaikuttavat asiat [8, B7.]



Kuva 9. QFD:n tärkeimmät vaiheet, kaaviopohja sovellettu tästä lähteestä [8, B7].



Taulukko 2. QFD-taulukko kavitaatiodemonsraattorista [14].

QFD taulukon tulos kavitaatiodemonsraattorista

Käyttäjätarpeen ja kilpailu analyysin suurin painoarvo

1. Laitteen turvallisuus
2. Tehdaskomponenttien käyttö
3. Helppo huolto

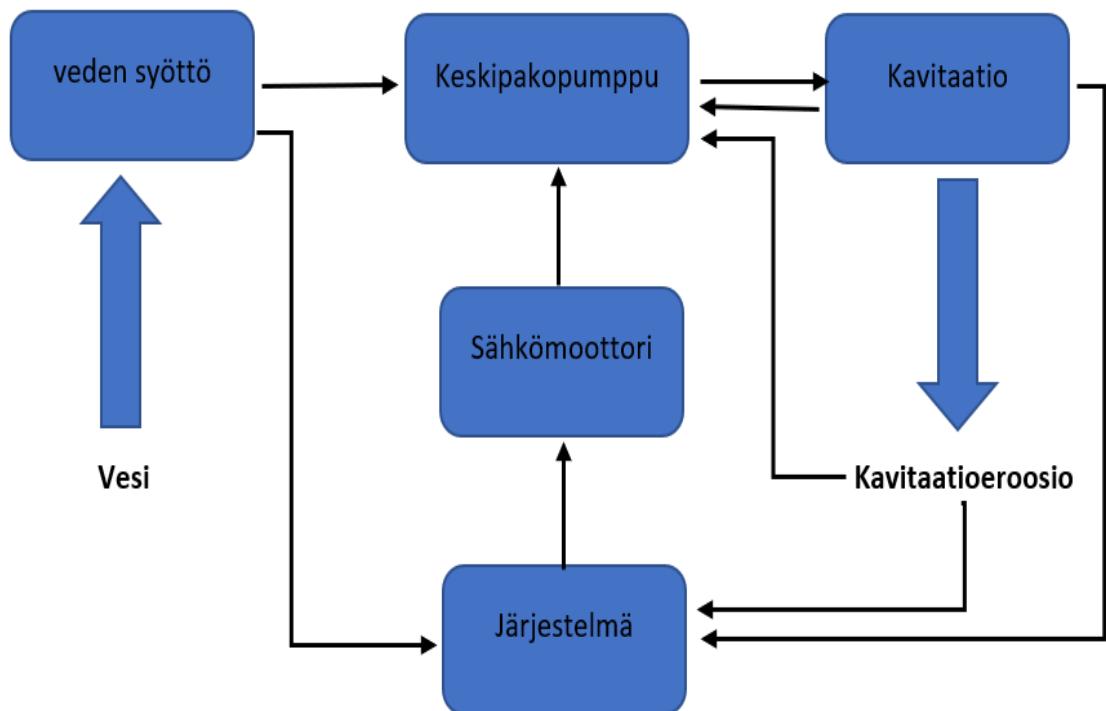
Teknisten ominaisuuksien suuri painoarvo

1. Pumpunpesän läpinäkyvyys
2. Putkiston läpinäkyvyys
3. Painemittarit
4. Lämpötilansäätö.

5.6 Toimintorakenne

Toimintojen määrittämisen avulla ratkaistaan ja ennakoitaan suunnittelutyön alussa materiaalin ja laitteen käyttäytyminen. Toimintorakenne-ennakointi lyhentää kehitystyön aikaa ja kustannuksia [2,13.]

Kavitaatiodemonstraattorin toimintorakenne



Kuva 10. Kavitaatiodemonstraattorin toimintorakenne [2,13.]

5.7 Ideointi

Tuotekehitysprojektissa ongelmanratkaisut perustuvat hyvään ryhmätyöhön, jolla saadaan tuotekehitykseen ideoita. Mitä suurempi ryhmä, sitä laajempi tieto- ja kokemustausta. Näin saadaan enemmän ideoita ja erilliset näkökulmat toteutuvat. Ideointiin on monia työkaluja, jotka tuottavat paljon materiaalia tulevaan suunnitteluun: aivoriihi, ideakävely, 8x8 menetelmä, 653-menetelmä, morfologinen laatikko ym. [20,85-92.]

Kavitaatiodemonstraattorin ideointi

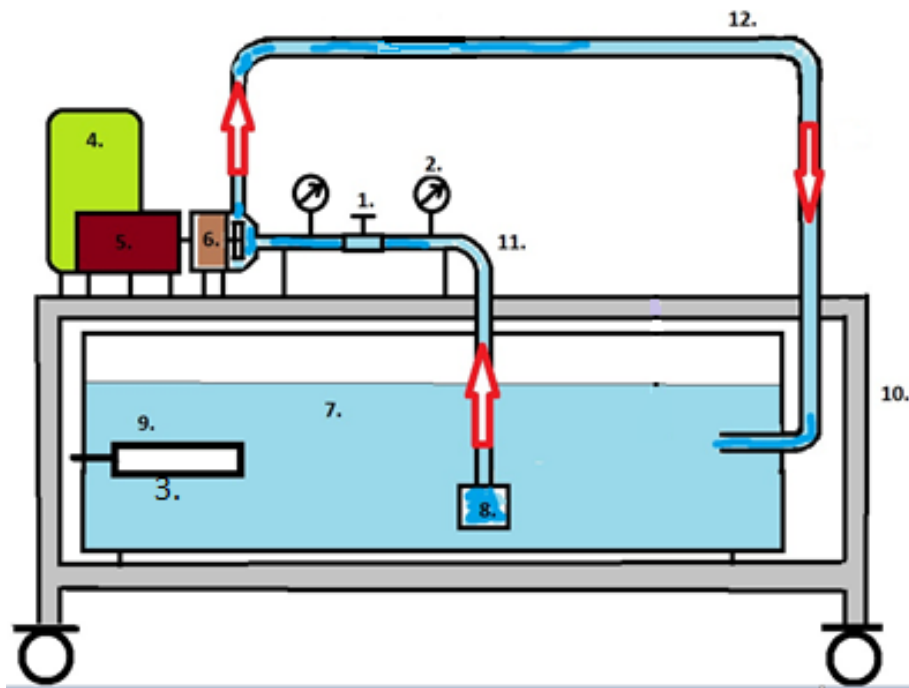
Kavitaatiodemonstraattorin ideoinnissa käytin morfologista laatikkoa, jossa saadaan esitettyä laitteen toivotut toiminnot allekkain ja ideoidaan jokaiselle toiminnolle erikseen osaratkaisuja välittämättä muista toiminnoista. Kun morfologinen laatikko on täytetty, valitaan kultakin riviltä yksi laiteominaisuus, näin muodostuu kokonaistuoteidea.

	1	2	3	4
Pumppu	Keskipakopumppu	Siipipumppu	Aksiaalipumppu	Sivukanavapumppu
Juoksupyörä	Suljettujuoksupyörä	Puoliavoinjuoksupyörä	Avoinjuoksupyörä	
Pumpunpesän läpinäkyvyys	Lasi	Muovi		
Putkistomateriaali	Kupari	Teräs	Muovi	Kumi
Säiliö vedelle	Avoinsäiliö	Painesäiliö		
Tilavuusvirransäätö	Portaallinen pumpun kierrosnopeuden säätö	Portaaton säätö taajuusmuuntaja		
Painemittari	Sähköinen	Mekatroninen	Mekaaninen	Painevälitin
Pöytä	alumiini	Teräs	Puu	
Pöydän jalat	Kiinteä jalka	Pyörät		
Ergonomia	Säädettävä korkeus	Kiinteä korkeus		

Taulukko 3. Kavitaatiodemonstraattorin morfologinen laatikko [14].

5.8 Luonnostelu

Luonnostellut ideat esitetään karkeamittakaavaisena piirustuksina, tilaajan vaatimuslistaa noudattaen. Luonnostelu on ensiaskel kohti suunnitteluprojektin realisointia fysikaaliseksi tuotteeksi [6,90.]



Kuva 13. Kavitaatiodemontraattorin karkea luonnostelu.

Osaluettelo kavitaatiodemontraattorille

1. Virtausvastaventtiili
2. Painemittari
3. Lämpötilamittari
4. ABB ACS355-taajuusmuuntaja
5. Kaksivaihesähkömoottori
6. Keskipakopumppu puoliavonaisella siipipyörällä, pesä osittain läpinäkyvä
7. Vesisäiliö, tilavuus 45 litraa
8. Imusuodatin pohjaventtiilillä
9. Lämpövastus
10. Alumiininen pyörillä kulkeva pöytä
11. Imuputki
12. Poistoputki.

5.9 Kavitaatiodemonstraattorin laskelmat

Tarvittava pumpun painetuotto kavitaatiotapahtumaan, paineastia 0,5 m alempana kuin pumppu. Painehäviöt <http://www.pressure-drop.com>, poistoputki on yhden metrin pituinen muoviputki, halkaisija 20 mm, tilavuusvirtaa 1 l/s.

Missä,

$$p_1 = 100000 \text{ Pa}$$

$$p_3 = 100000 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 3,18 \text{ m/s}$$

$$v_3 = 0$$

$$p_2 = 2300 \text{ Pa}$$

$$p_{f23} = 5012 \text{ Pa}$$

$$\text{solve} \left\{ \begin{array}{l} p_1 + 0 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + p_{f12} \\ p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + p_p = p_3 + 0 + p_{f23} \end{array} \right. , \{p_p, p_{f12}\} \left| \begin{array}{l} p_1 = 100000 \cdot \text{Pa} \text{ and } p_3 = p_1 \text{ and } v_2 = \frac{3.18 \cdot \text{m}}{\text{s}} \\ \text{and } p_{f23} = 5012 \cdot \text{Pa} \text{ and } p_2 = 2300 \cdot \text{Pa} \text{ and } \rho = \frac{1000 \cdot \text{kg}}{\text{m}^3} \end{array} \right.$$

• $p_{f12} = 92643.8 \cdot \text{Pa}$ and $p_p = 97655.8 \cdot \text{Pa}$

Ratkaisuksi saadaan:

Kavitaatio alkaa paineessa 92 Pa virtausvastaventtiilin ja imuputken välissä. Veden paineen on oltava yli 97,6 Pa keskipakopumpussa niin kavitaatiokuplat muodostuvat puoliavoimen siipipyörän siipipinnoille.

Lasketaan pumpun tarvittava sähköteho 60 % hyötysuhteella

$$P = \frac{qv \times dp}{\eta} \quad | \quad qv = 1 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$dp = 97656 \text{ Pa}$$

$$\eta = 60 \%$$

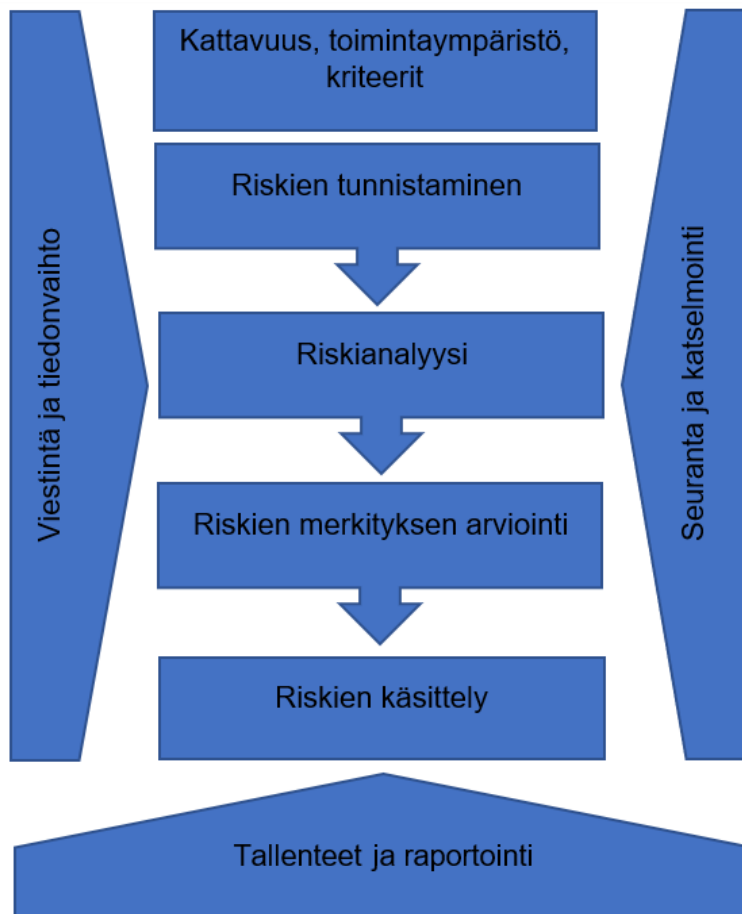
$$\text{Tarvittava sähköteho } P = 162,76 \text{ W}$$

5.10 ISO31000-toimintatapa ja ISO31010-menetelmät (FMEA)

ISO (International Organization for Standardization) on kansainvälinen standardisoimisjärjestö. Se on perustettu 1947, järjestön jäsenet ovat kansallisia standardisoimisjärjestöjä, Suomesta standardisopimisliitto SFS.

ISO 31000 standardi auttaa yritysten organisaatioita hallitsemaan riskejä ja tunnistamaan niitä. Standardin tavoite on saada yrityksiin ja yhteisöihin tiedostettu riskienhallinta ja seurannan merkitys. Standardin tärkein tavoite on arvon luominen ja säilyttäminen. Riskienhallinnassa huomioidaan organisaation toimintatapoja ulkoisesti ja sisäisesti. Riskienhallinnalla nopeutetaan ja parannetaan suorituskykyä, tavoitteiden saavuttamista ja innovoinnin tukemista.

Riskienhallintaprosessi on arviointia, seuranta, käsittelyä, katselmointia, kirjaamista ja raportointia. Viestintä ja tiedonvaihto on ensisijaisen tärkeää koko organisaation sisällä, silloin ymmärretään riskit ja ne voidaan käsitellä ja poistaa. [18, 4-14.]



Kuva 14. Riskienhallintaprosessin vaiheet [18, 5].

Riskienhallintaprosessin vaiheitten tulkinta ja merkitys



Kuva 15. Mitä tarkoittaa riskienhallintaprosessin vaiheet [19, 10].

ISO 31010 standardi sisältää riskienhallintaa ja arviointimenetelmiä. Standardissa käsitellään erilaisia työkaluja riskienhallintaan ja riskien ehkäisyyn. [17, 20].

Tässä opinnäytetyössä riskienhallinta- ja arviointimenetelmätökaluna käytetään vika- ja vaikutusanalyysiä. Riskiarviointitaulukolla saadaan tunnistettua ja ehkäistyä suunnitteluvirheet.

F.M.E.A. Failure Modes and Effects Analysis (vika- ja vaikutusanalyysi) on työkalu systemaattiseen riskienhallintaan. F.M.E.A. kehitytty Yhdysvaltojen asevoimissa 1940-luvun loppupuolella. F.M.E.A. ennaltaehkäisee tulevia riskejä, analyysin avulla selvitetään, mikä voi epäonnistua ja mikä on syy epäonnistumiselle.

F.M.E.A.-riskienhallinta tarkastelee riskejä kolmesta näkökulmasta vakavuus-, esiintymis- ja havaittavuustodennäköisyyden näkökulmista. F.M.E.A. tehdään yleensä ennen projektin alkua, olipa projekti suunnitteluprojekti, valmistusprojekti, tuotteen käyttöprosessi tai palvelun käyttöprosessi

Jokainen näistä todennäköisyyksistä pisteytetään F.M.E.A taulukossa yhdestä kymmenen ja lasketaan niiden tulo, jonka pohjalta saadaan F.M.E.A riskitaso määriteltyä. [14.]

FMEA										Riskitaso		Riskitaso				
Projekti: Karelia ammattikorkeakoulu		Kavitaatiodemonaattori		Orallitukset: Pvm, lausi: 22.5.2019		Rummuksien Pvm, lausi: 22.5.2019				Riskitaso		Riskitaso				
Yhteisö: Yhteisö		Yhteisö		Yhteisö		Yhteisö		Yhteisö		Riskitaso		Riskitaso				
Prosessin osat / Tuote / Palvelu / Pää	Mahdollinen virhe / Vika	Mahdollinen syy / syy	Mahdollinen vaikutus / vaikutus	Mahdollinen todennäköisyys / todennäköisyys	Mahdollinen havaittavuus / havaittavuus	Riskitaso	Riskitaso	Riskitaso	Riskitaso	Riskitaso	Riskitaso	Riskitaso	Riskitaso			
1. tehtävän ajottelu				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
➤ tilojen vastauskyselyt	Väärin ymmärrys, väärin lähtökäsitteet	Tuote ei vastaa asiakkaan vaatimuksia	Tuote ei vastaa asiakkaan vaatimuksia	5	Epätodennäköinen	2	Havaitaan helposti, tilaus kati	2	32	Kontrasti, tarkastus asiakkaan kanssa	projektiin alusta	on pidetty palavereita	3	2	2	42
➤ Irtotekstio (QFD)	Luotokasvattu kelpo-ajotteluun virheellisesti	Huuteita kille allon elyryin ja tilojen vaatimukset	Huuteita kille allon elyryin ja tilojen vaatimukset	7	Mahdollinen, virheellisesti tilaus	3	Havaitaan melko helposti	3	63	Tarkasteleminen huolellisesti	Välittömästi	Karjaturvattu	3	1	1	3
2. Tehtävän määrittely																
➤ toimintojen määrittely	Kaikkia toimintoja ei ole kirjattu	Luote ei vastaa tilojen vaatimuksia	Luote ei vastaa tilojen vaatimuksia	9	Epätodennäköinen	2	Havaitaan helposti, tilaus kati	1	18							0
➤ idioottin tulokset	Väärä ideointi	Suunnittelutyö ei oteta taitotulla tavalla	Suunnittelutyö ei oteta taitotulla tavalla	6	Mahdollinen, suunnittelun tilojen	2	Havaitaan kati	1	12							0
➤ luonnottelut vaihtoedot	Kerke suunnattelu virheellinen	ei vastaa tilojen vaatimukset	ei vastaa tilojen vaatimukset	9	Epätodennäköinen	2	Havaitaan kati	1	18							0
3. Kehittely																
➤ valmistettavuus suunnitelma	Kaikkia toimintoja ei ole kirjattu	Luoteen toimivuus vaarantuu	Luoteen toimivuus vaarantuu	7	Epätodennäköinen	2	Havaitaan helposti, tilaus kati	2	28							0
➤ 3D-malli	Puutteet suunnittelun 3D-mallit	Suunnittelutyö ei oteta taitotulla tavalla	Suunnittelutyö ei oteta taitotulla tavalla	5	Epätodennäköinen	2	Havaitaan kati	1	10							0
➤ riskiarviointi (F.M.E.A)	Vika- ja vaikutusanalyysi on arillo suunnitteluvaiheessa	Luoteen toimivuus vaarantuu	Luoteen toimivuus vaarantuu	9	Epätodennäköinen	2	Havaitaan helposti, tilaus kati	2	32							0
4. Väimittely																
➤ proto	Käsitteelliset asiat eivät käy lähtöeseen	Pratan kokonaisuus ei oteta suunnittelumallit	Pratan kokonaisuus ei oteta suunnittelumallit	7	Epätodennäköinen	2	Havaitaan kokonaisuus vaikeassa	3	42							0
➤ tekninen tiedosto	Oruuttalean puutteellinen	Tiedotte ei vastaa suunnittelusta tuotetta	Tiedotte ei vastaa suunnittelusta tuotetta	2	Mahdollinen	4	Havaitaan loppu-erityksessä	1	8							0
➤ pöytätyö tuotantoon hyväksymisestä	Tilojen ei oteta lähtö tuotantoon	Projekti loppuu	Projekti loppuu	1	Epätodennäköinen	2	Erikoistilauksen vaarantuu, merkittävät muutokset	2	4							0

Taulukko 4. F.M.E.A riskiarviointitaulukko kavitaatiodemonaattorin suunnitteluprojektista [14].

5.11 F.M.E.A riskiarviointi ja suunnitteluriski kavitaatiodemonaattorista

F.M.E.A. riskiarviointi painottuu kavitaatiodemonaattorin VDI 2222 konstruoinnin ja kehityksen työnkulkuun. Taulukossa nousi esille suurimpana riskinä QFD laatutaulukon kilpailijatietojen virheelliset tiedot, jotka vääristsivät kilpailuanalyysin ja teknisiä ominaisuuksia. Virhe tiedoissa havaittiin helposti, korjaavat toimenpiteet olivat tietolähteiden tarkistaminen ja laatukaavioon korjaus. Jos on vika- ja vaikutusanalyysitaulussa kriittisyysluku yli 50, korjaavia toimenpiteitä pitää tehdä.

5.12 Koneturvallisuus

Koneturvallisuudirektiivit määrittelevät koneiden ja laitteiden kaikkia turvallisuuskysymyksiä. Koneturvallisuudirektiivi on tärkeä osa laitteiden tai komponenttien suunnitteluvaiheessa. Euroopan unionissa 2006/42/EY on konedirektiivi, joka määrittää koneiden ja komponenttien turvallisuusstandardit. Suomessa valtioneuvoston asetus 400/2008 määrittää koneturvallisuusvaatimukset. Koneturvallisuus-standardit määrittävät mittausmenetelmät ja suunnittelutavat. Koneturvallisuus-standardi ottaa huomioon myös terveys- ja turvallisuusvaatimukset.

Konedirektiivi edellyttää valmistajan tekemään tuotteesta tai komponentista koneturvallisuussuunnitelman, jossa arvioidaan laitteen riskit ja pienennetään riskejä koko laitteen elinkaaren aikana.

Konedirektiivin pohjalta tehty suunnitelma kattaa tuotteen elinkaaren, sen suunnittelusta aina valmiiseen tuotteeseen ja käyttöön. Suunnitelma ennakoitua tulevat väärinkäytöt. Jos turvallisuussuunnittelua ei ole valmistajan toimesta tehty, jälleenmyyjän tai maahantuojan on tehtävä turvallisuussuunnitelma.

Konedirektiivin turvallisuusstandardit jaotellaan A-, B- ja C- tyyppin standardeihin. A-tyypin standardi SFS-EN ISO 12100 määrittää terminologian, riskiarvioinnin ja turvallisuussuunnittelun. B-tyypin standardit käsittelevät suunnittelijoiden tarvitsemaa tietoa, kuten värinän ja melun hallinta, mittaaminen, turvalaitteet, ergonomia, suojukset, turvaetäisyydet ja kulkutiet. C-tyypin standardit sisältävät turvallisuusvaatimuksia. [11,2-3.]

5.13 Kavitaatiodemonstraattorin turvallisuus- ja käyttösuunnitelma

Kavitaatiodemonstraattorin käyttäjä on perehdytettävä ja opastettava laitteen turvalliseen käyttöön niin, että hänellä on riittävät tiedot laitteen toiminnasta ja hän tunnistaa vaara- ja haittatekijät. Nämä tiedot ja taidot on opiskeltu ennen laitteen käynnistämistä käyttöohjekirjasta.

Käyttöönottotarkistus on suoritettava, ennen kavitaatiodemonstraattorin käynnistystä. Tarkistus sisältää silmämääräisen tarkistuksen, mahdollisten putkivuotojen ja vikaantuneiden komponenttien osalta. Tarkistuksessa on myös katsottava, että asianmukaiset koneturvallisuus-suojat ovat paikallaan ja ehjät.

Kavitaatiodemonstraattorin käyttäjä huolehtii, että laitteen ympäristössä on tilaa käyttää laitetta turvallisesti ja ettei demonstraattorin käytöstä aiheudu vaaraa työskentelytilassa oleville ihmisille.

5.14 Osaluettelo kavitaatiodemonstraattorista

Tarvittavat osat, komponentit ja tarvikkeet kavitaatiodemonstraattorin valmistukseen:

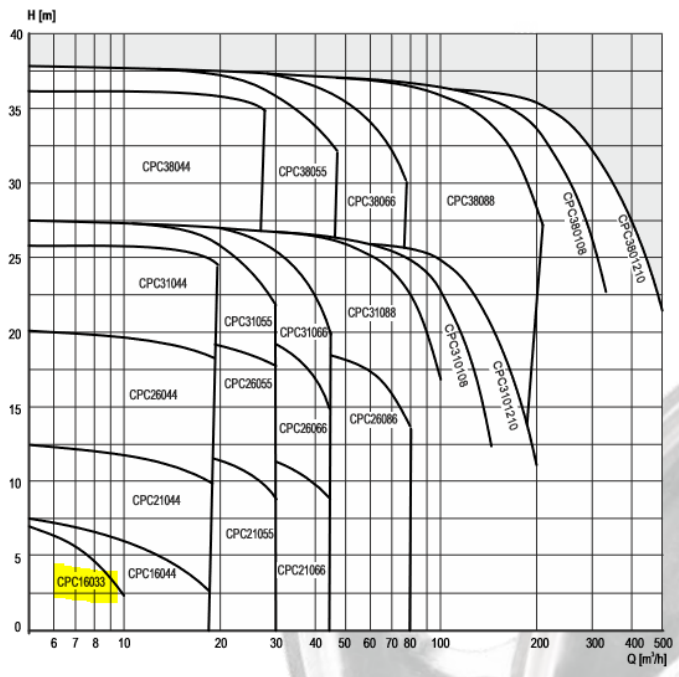
Keskipakopumppu

Pomac CPC16033 ruostumattomasta teräksestä valmistettu keskipakopumppu vaihdettavalla siipipyörällä.



Kuva 16. CPC16033 keskipakopumppu katalogista (Liite1, katalogi sivu 1)

<https://ip-produkter.fi/tuotteet/keskipakopumput/#>

1500 min⁻¹

Taulukko 5. Tekninen taulukko valitusta pumpputyypistä CPC16033. (Liite1, katalogi sivu 5)

Painemittari

MAN-F painemittari: Pienin mittausalue on 0-6 bar, suurin 0-1600 bar, valittavissa myös negatiivinen/ positiivinen paine. Painemittari liitetään prosessiin putkikierteellä G ½ uros. Virtaavan nesteen lämpötila-alue -20 °C ...+80 °C, ympäristön lämpötila-alue -20 °C ...+60 °C. MAN-F painemittarin tarkkuusluokka on 0,6 DIN EN 837. Painemittari on ylipainesuojattu 1,3 kertaa maksimipaineeseen asti. valmistaja Kobold Messring GmbH.



Kuva 17. Painemittari internet sivulta: <https://saato.fi/tuotteet/painemittari-tarkkoihin-mittauksiin/>

Lämpötilaosoitin

Tekniset tiedot Kobold Messring GmbH lämpötilaosoittimesta: mitta-alue minimissään -30 °C ...+ 50 °C, maksimialue 0 °C ... +500 °C, painemaksimi 25 bar.



Kuva 18. Lämpötilaosoitin internet sivulta: <https://saato.fi/tuotteet/lamportilaosoitin>

Taajuusmuuntaja

ABB ACS355-taajuusmuuntaja, jolla ohjataan epätahtimoottoreita ja kestopagneettiservomooottoreita.



Kuva 19. Taajuusmuuntaja ABB ACS355, internet sivulta

<https://new.abb.com/drives/fi/pienjannitetaajuusmuuttajat/taajuusmuuttajaiterakennukseen/acs-355>

Vesisäiliö

Tekniset tiedot: tilavuus 45 litraa, koko 55 x 48,5 x 21,5 cm, puhdistusaukko Ø12 cm. Materiaali iskunkestävää polyetyyleeniä, säiliössä neljä integroitua kiinnityskorvaketta.



Kuva 20. Vesisäiliö internet sivulta:

https://www.vapaa-aika.com/epages/vapaa-aika.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2015091804/Products/2115730

Imusuodatin

Imusuodatin pohjaventtiilillä, valittavana kiinnitys putkeen Ø 13 mm ja Ø 19 mm.



Kuva 21. Imusuodatin pohjaventtiilillä. Salhydro.fi internet verkkokaupasta.
<https://www.salhydro.fi/fi/vesisuodattimet/cats200035510-imusuodatin-13>

Vedenlämmitin

Vesisäiliöön asennettava vedenlämmitin 230 V / 250 W. Lämmittimessä on veden lämpötilalle ajastin, termostaatti ja lämpötilamittari. Lämpötila-alue +5°C... +40°C



Kuva 22. Vedenlämmitin. Internet verkkokaupasta

https://www.vapaa-aika.com/epages/vapaa-aika.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2015091804/Products/2121770

Imuputki ja Poistoputki

PVC letku on läpinäkyvän kirkas ja kudosisvahvistettu, teollisuuden ja kotitalouksien käyttöön suunniteltu ToppClear 3-kerros ristikudosletku. Käyttöpaine 20 °C lämpötilassa SFS 5408 standardin mukaan: 4-32 mm 10 Bar. Tarve demonstraattoriin on 20mm letkua, yksi metri imupuolelle ja kaksi metriä poistupuolelle.



Kuva 23. PVC letku, verkkokauppa, etra.fi

<http://tuotteet.etra.fi/fi/g2224670/toppbright-kirkas-vahvikkeeton-pvc-letku>

Akryyliputki

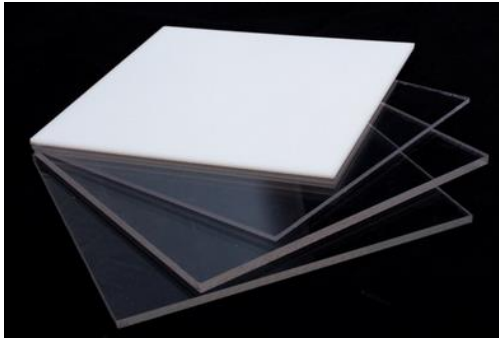
Akryyliputki XT on kirkas, ulkohalkaisijaltaan 30mm ja sisähalkaisijaltaan 20mm, sen vuoksi optiset ominaisuudet ovat hyvät. Akryyliputki on elintarvikekelpoinen. UV-säteilyn kestävä, iskunkestävyys hyvä, käyttölämpötila-alue -40°C... +70°C.



Kuva 24. Akryyliputki, verkkokaupasta

<http://tuotteet.etra.fi/fi/g2385386/akryyliputket-kirkas-xt>

Akryylilevy



Kuva 25. Akryylilevy, verkkokaupasta

https://www.pleksi.fi/fin?gclid=EAlaIQobChMIol3Opced4gIVSsKyCh1QiQJUEAAYASAAEgLH5fD_BwE

Tarvittavat liittimet ja määrä

1x28 EM puserrusliitin SK online	5kpl
$\frac{3}{4}$ T-yhde EM	2kpl
$\frac{3}{4}$ SK PN25 Palloventtiili online EM	1kpl
$\frac{3}{4}$ x $\frac{1}{2}$ supistusnipa EM	2kpl
Letkuliitin $\frac{3}{4}$ x 25 UK 1394	2kpl
1 x $\frac{3}{4}$ supistuskaksoisnipa EM	5kpl
Letkukiristin ZN	3kpl



Kuva 26. Liittimet kasattuna. Okun Putkityö Oy.

Tiivisteet

Paperitiivistearkki 240 x 580 mm, leikataan haluttuun muotoon. Käytetään vesipumpun tiivisteeksi, sekä liitosholkin ja pumpun väliin.



Kuva 27. Paperitiivistearkkeja, verkkokaupasta <https://www.biltema.fi/autoilu---mp/auton-varaosat/moottorin-osat/oljytulpan-tiivisteet/tiivistepaperi-2000017979>

Putkitiivistenauha



Kuva 28. Tiivistenauha kierteelle, verkkokaupasta <https://www.esska-fi.com/shop/Tiivistenauha-teflonista-standardi-leveys-12-0-1-mm-paksuus--DB1210000000-11640>

Liima

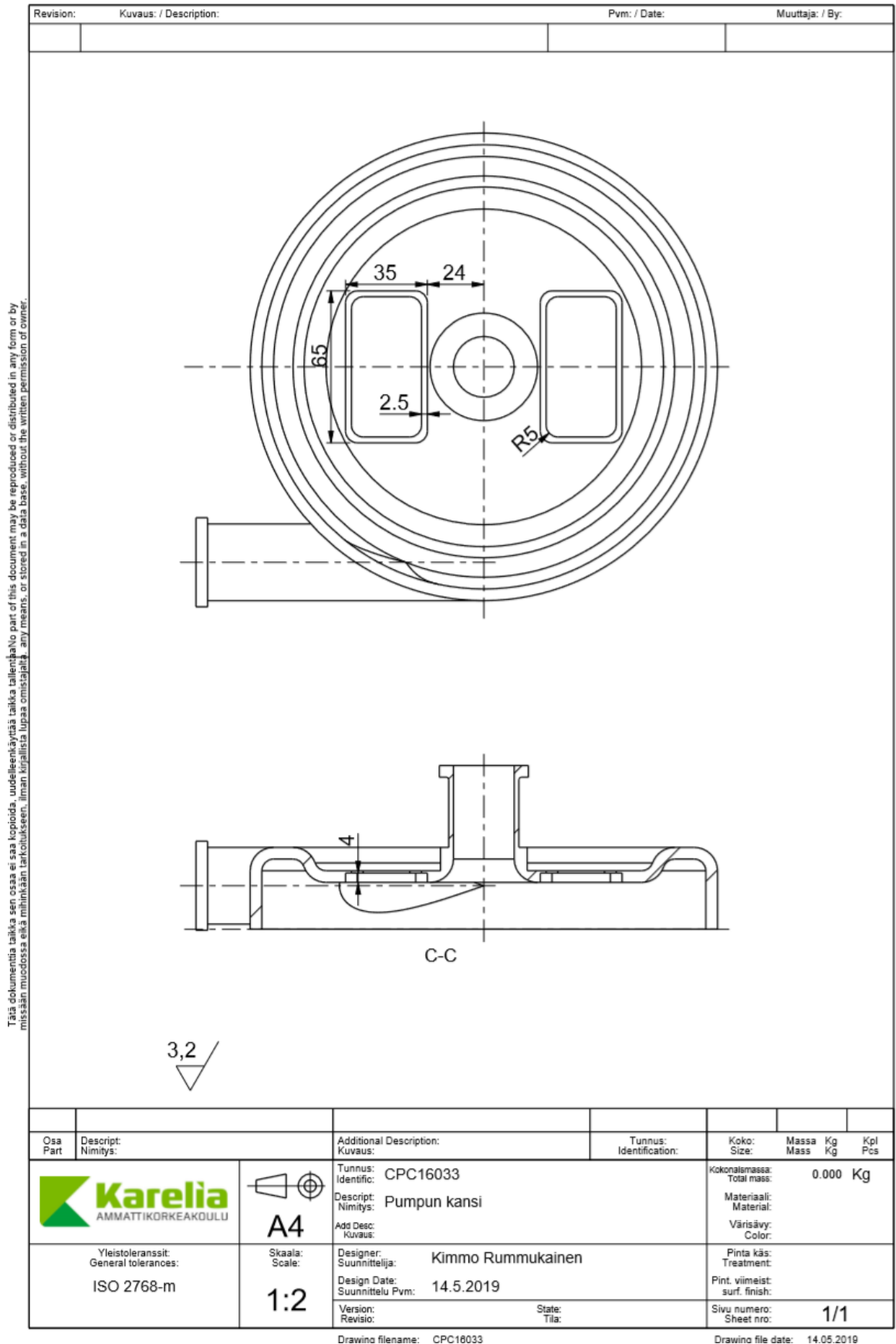
CANLEY CYANOSMELL-LESS on syanoakrylaattiliima, akryylilasin ja metallin liimaamiseen. Liima kestää vettä, öljyä, polttoaineita ja liuottimia.

Verkkokaupasta <https://www.canley.fi/tuote/CANLEY-CYANOSMELL-LESS>

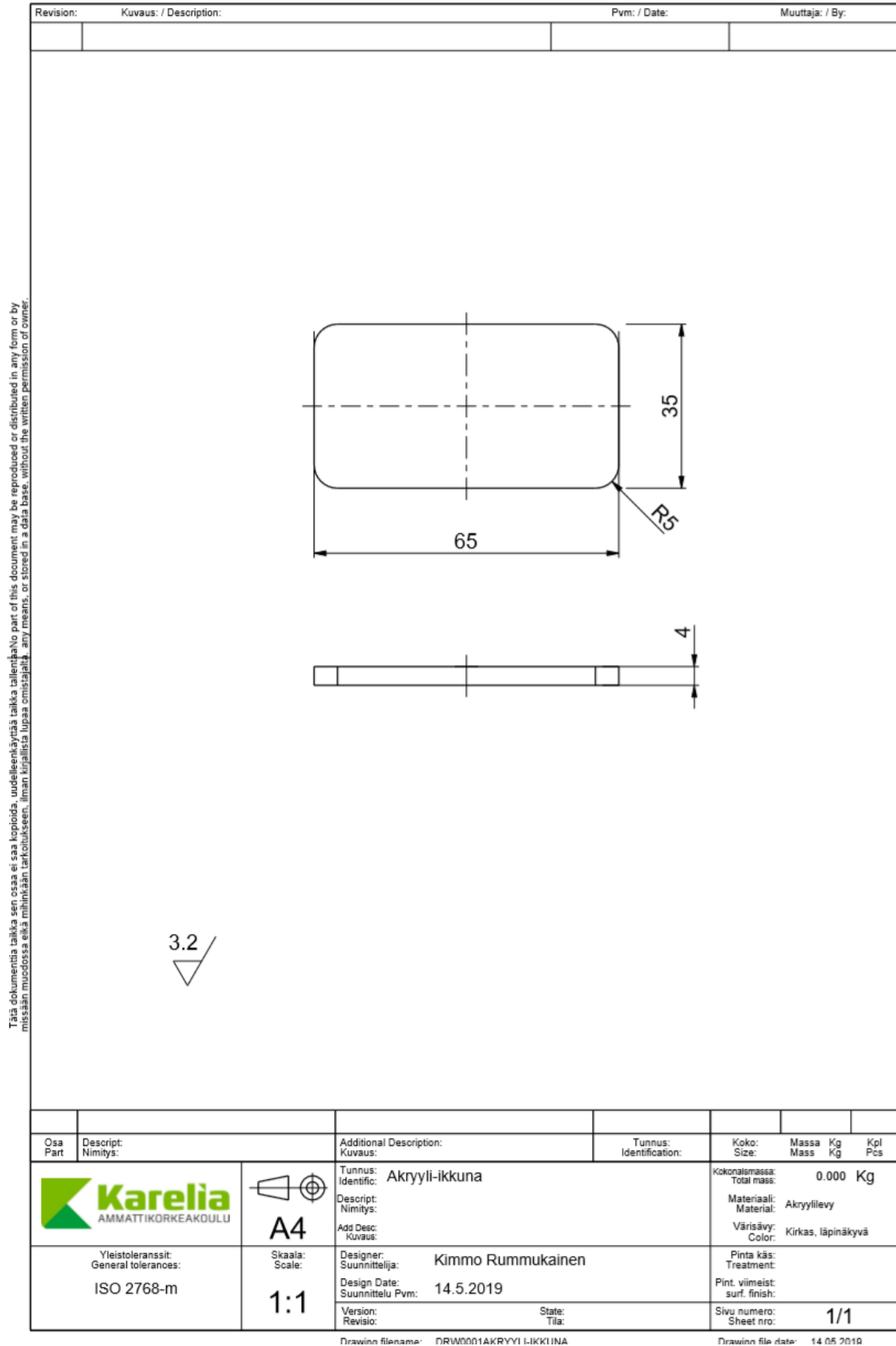
Koneistettavat osat:

- Liitosholkki, kuva 31. Holkki asennetaan puserrusliittimen ja pumpun väliin.
- Akryyliputket koneistetaan päistä 28 mm halkaisijaan, 15mm matkalta kummastakin päästä.
- Akryylilevyt koneistetaan piirustuksen mukaisiin mittoihin ja liimataan pumpun sisäpuoliseen pesään tehtyihin aukkoihin.

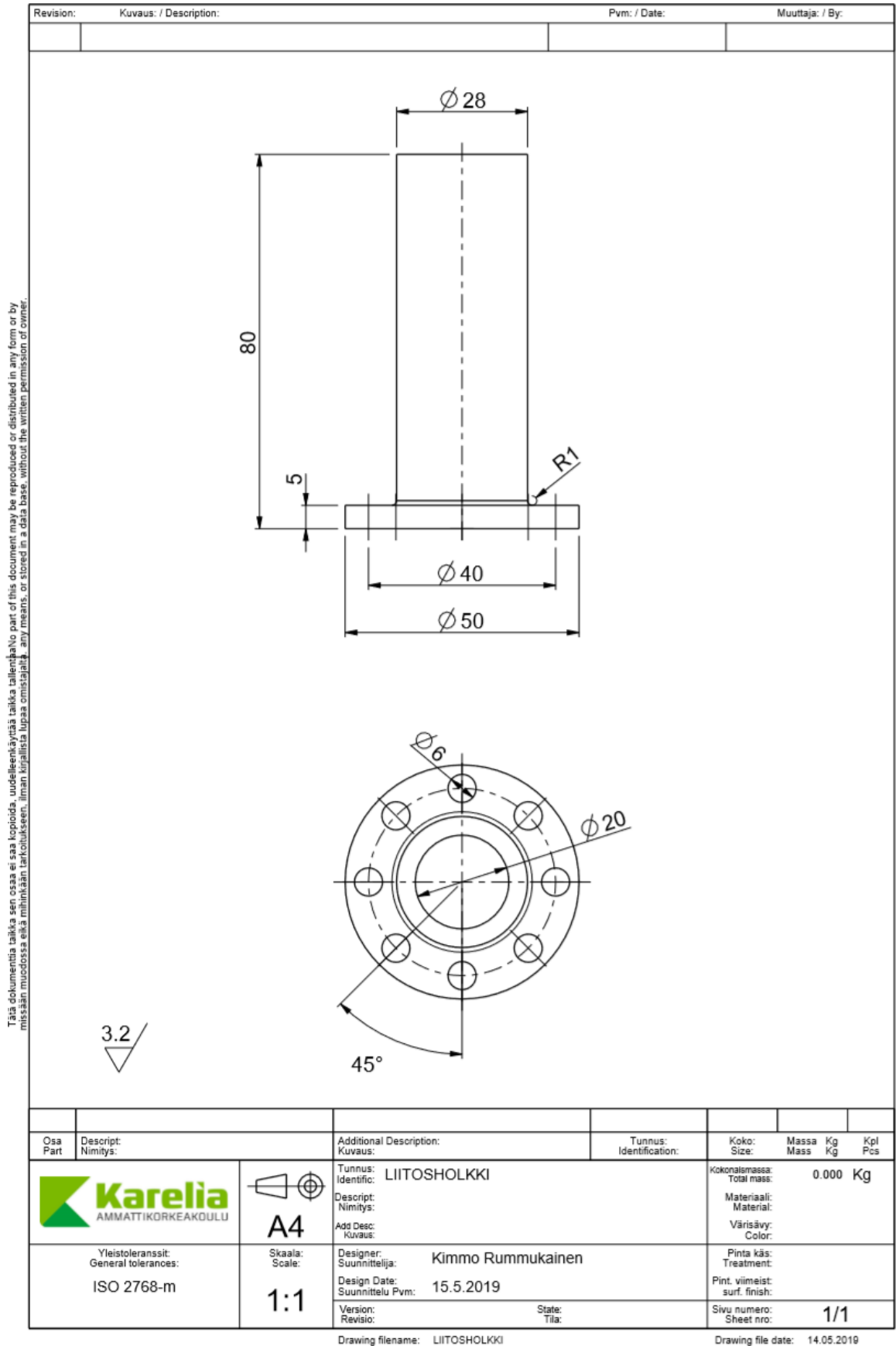
5.15 Kuvat (Creo)



Kuva 29. Koneistuskuva CPC-16033 Keskikapopumpun pesän kannesta.



Kuva 30. Koneistuskuva CPC-16033 Keskipakopumpun pesän akryyli-ikkunoista.



Kuva 31. Koneistuskuva CPC-16033 Keskipakopumpun pesän liitosholkki.

6 Pohdinta, johtopäätökset ja yhteenveto

Opinnäytetyön tavoite oli saada toimiva kavitaatiodemonstraattori opetuskäyttöön Karelia-ammattikorkeakoululle, Opinnäytetyön aloitin teoriaosion ja kirjallisuuteen tutustumalla. Pumppujen rakenteet, toiminta periaatteet ja vikaantumistilat, tulivat tutuiksi, myös komponentit.

Kavitaatiodemonstraattorin suunnittelu oli todella mielenkiintoista, koska pumppujen ja pumppulaitekokonaisuuksien suunnittelussa yritetään välttää kaikilla tavoin tätä kylmäkierumistapahtumaa ja nyt opinnäytetyön tilaaja halusi laitteen joka kavitoi.

Kavitaatioilmioista on hyvin vähän suomalaista materiaalia, mutta runsaasti englanninkielistä kirjallisuutta ja jonkin verran internetistä löytyvää materiaalia. Materiaalin kokoaminen tähän työhön oli haasteellista ja opetti paljon tiedon keruusta ja tietolähteistä.

Kavitaatiodemonstraattorin suunnittelun aloitin VDI 2222-suunnitteluprosessin mukaisesti, Karelia-ammattikorkeakoulun lehtori Miska Piiraisen suunnitelmia kunnioittaen ja laatien tilaajan kanssa vaatimusluettelon.

QFD-laatukaavio määrittäi tuotteen lähtötilannetta ja tärkeitä ominaisuuksia, joita asiakastarvetiedon kerääminen oli tuonut. QFD-kaavion mukaan kavitaatiodemonstraattorin käyttäjätarpeen ja kilpailuanalyysin suurin painoarvo tuli laitteen käyttöturvallisuudelle. Teknisten ominaisuuksien suurin painoarvo oli pumpunpesän läpinäkyvyys.

Toimintarakennekaavion laatiminen selkeytti kavitaatiodemonstraattorin prosessin toimintaa ja kavitaatiovaikutusta eri toiminnoille. Ideointi oli haasteellista yksin, koska yleensä suunnittelutyö tapahtuu tiimeissä ja erilaisilla ideointityökaluilla, joiden pohjalta valitaan parhaat ominaisuudet laitteeseen. Kavitaatiodemonstraattori ideoinnissa käytin morfologista laatikkoa, josta valikoitui laitteen komponentit.

Kavitaatiodemonstraattorin karkealuonnostelun tein piirtämällä morfologisen laatikon valituilla komponentilla ja samalla tein osaluettelon demonstraattorille.

Pumpun koon ja tehon valintaan tein laskelmia, joilla kavitaatio saadaan tapahtumaan pienillä demonstraattorin säädöillä. Laskelmien pohjalta komponenttien valinta oli helppo.

Standardien kautta pääsin arvioimaan laitteen ja suunnittelun riskejä: riskienhallintaprosessin F.M.E.A kautta ja myös koneturvallisuusdirektiivit tulivat tutuiksi.

Osaluettelon laatiminen oli haasteellista jo pelkästään komponenttien runsauden vuoksi. Koneistettavien osien mallinnus ja koneistuspiirustuksien tekeminen oli helppoa ja mukavaa. Kavitaatiodemonstraattoriprojektin seuraava vaihe on itse laitteen rakennus, joka jää Karelia ammattikorkeakoulun tehtäväksi.

Opinnäytetyön tekeminen oli pitkäjänteistä työtä ja vaati kurinalaista tiedon keruuta. Opinnäytetyötä tehdessä opin konkreettisesti suunnittelutyön haasteet ja työkalut. Kavitaatiodemonstraattoriprojektissa hyvänä apuna olivat Karelia ammattikoulun opettajat, joilta sain hyviä neuvoja ja vinkkejä opinnäytetyön tekemiseen.

7 Lähteet

1. Annovi Reverberi. The power of experience. [verkkodokumentti] 2018. [viitattu 15.8.2018] Saatavissa: http://www.sgntekniikka.fi/wpcontent/uploads/2015/02/Kuinka_valtetaan_kavitaation_aiheuttamat_ongelmat.pdf.
2. Björk, Timo & Hautala, Pekka & Huhtala, Kalevi & Kivioja, Seppo & Kleimola, Matti & Lavi, Markku & Martikka, Heikki & Miettinen, Juha & Ranta, Aarno & Rinkinen, Jari & Salonen, Pekka. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma Pro Oy
3. Fluid finland. Hydrauliiikan, pneumatiikan ja voitelun ammattilehti. 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 9.8.2018] Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/8.hydrauliiikan-perusteet.pdf>.
4. Gerhard, Pahl & Wolfgang, Beitz. Koneensuunnitteluoppi. Metalliteollisuuden kustannus Oy 1990
5. Hautala M, Peltonen H, Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1 Lahti, Lahden Teho-opetus, 2014
6. Hietikko, Esa. Tuotekehitystoiminta. Savonia-ammattikorkeakoulu kuntayhtymä 2008
7. Karelia toimintakertomus 2016. [verkkodokumentti] 2018. [viitattu 4.4.2018] Saatavissa: <https://issuu.com/karelia-amk/docs/karelia-toimintakertomus2016>.
8. Kärkkäinen, H & Piippo, Petteri & Salli, Marko & Tuominen, Markku & Heinonen, Jorma. Asiakastarpeista tuotteeksi, kehitystoiminnan työvälineet. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Tuotantotalouden osasto 1995.
9. Kauranne, Heikki & Kajaste, Jyrki & Vilenius, Matti. Hydraulitekniiikka. 2 painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy 2013
10. Keuda verkko-opisto. Internetsivusto. [viitattu 2.9.2018] Saatavissa: <https://keuda.moodle.fi/mod/folder/view.php?id=249437>.
11. KONETURVALLISUUSDEN STANDARDIT Internetsivusto. [viitattu 27.3.2019] Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusite2015web.pdf>
12. Learn Engineering, How does a Centrifugal pump work? YouTube video [verkkodokumentti] 7.12.2013, [viitattu 13.8.2018] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=BaEHVpKc-1Q>
13. Matti, Kimmo 1987. Kone- ja laitosasennuksen pumpput. Helsinki: Valtion painatuskeskus
14. Mertanen, Jarno. Tuotekehitys opintojakso. Karelia AMK kurssimateriaalia 2018
15. O. Supponen, P. Kobel, M. Farhate. The inner world of a collapsig bubble. Video. [verkkodokumentti] 2018. [viitattu 13.8.2018] Saatavissa: https://bubbles.epfl.ch/files/content/sites/bubbles/files/APS-DFD_Supponen_EPFL_2014.mp4.

16. Paul A. Wuori. Virtausmekaniikan perusteet. Espoo: Otatieto Oy 1990
17. Riskien hallinta, Riskien arviointimenetelmät. SFS-ISO 31010:2018
Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2.painos
18. Riskienhallinta. Ohjeet. SFS-ISO 31000:2018. Suomen
Standardisoimisliitto SFS ry. 2.painos
19. Väisänen, Lassi. Riskienhallinnan periaatteet-menestyksen avaimet.
[verkkodokumentti] 2019. [viitattu 9.4.2019] Saatavissa:
[https://www.slideshare.net/SFSedu/sfsiso-31000-riskienhallinnan-
perusteet-94092232](https://www.slideshare.net/SFSedu/sfsiso-31000-riskienhallinnan-perusteet-94092232)
20. Välimaa, Veikko & Kankkunen, Martti & Lagerroos, Olle & Lehtinen,
Markku. TUOTEKEHITYS asiakastarpeista tuotteeksi. Helsinki:
Painatuskeskus Oy 1994