



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Niemelä

---

## Täyttöasema alipaineilmanpoistimella

Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Joni Niemelä

Työn nimi: Täyttöasema alipaineilmanpoistimella

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 3

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella suljetulle nestekiertojärjestelmille, esimerkiksi lämmitysjärjestelmälle, täyttöaseman ja alipaineilmanpoistimen yhdistelmälaite, joka toimii yhdellä ja samalla pumpulla. Pääpainona oli alipaineilmanpoistin, joka poistaa järjestelmän nesteen seasta ilmaa eli jäännöskaasuja. Nesteeseen sekoittuu lähes aina ilmaa, kun järjestelmää täytetään, huolletaan tai siinä on vuotoja. Ilma suljetussa nestejärjestelmässä aiheuttaa tehon häviötä, vaikeuttaa järjestelmän säätämistä ja lisää kustannuksia.

Ensimmäisenä määriteltiin, mitä toimintoja laitteessa olisi. Laitteella pitää pystyä poistamaan jäännöskaasua nestekierrosta, täyttämään lisää nestettä järjestelmään ja täyttämään laitteen neste säiliötä ulkoisesta lähteestä. Työssä edettiin suunnittelemalla ensin PI-kaavio siitä, kuinka järjestelmä toimisi halutulla tavalla. Kun järjestelmän toiminta tiedettiin, mietittiin tarvittavat komponentit ja niiden yhdistämistä toisiinsa. Tämän jälkeen tutkittiin teoriaa alipaineen avulla jäännöskaasujen erottamista nesteestä. Viimeisimpänä toteutettiin käytännön osuus.

Opinnäytetyön tuloksena valmistui kompakti paketti, yhdellä pumpulla toimiva täyttöasema alipaineilmanpoistimella. Teoriaosuus valmistui myös, ja nyt tiedetään, kuinka laitteen pitäisi toimia. Työn käytännön toimivuutta ei ehditty toteamaan, joten ei tiedetä varmuudella, toimiiko alipaineilmanpoisto niin kuin on ajateltu.

PI-Kaavio ja valmiin tuotteen kuvat liitetiedostoissa jäävät pois Theseukseen palautettavasta versiosta yrityssalaisuuden perusteella.

<sup>1</sup> Asiasanat: paine, ilma, kaasut, pumput, kaaviot

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Joni Niemelä

Title of thesis: Filling station with a vacuum deaerator

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2024

Number of pages: 40

Number of appendices: 3

---

The purpose of the thesis was to design a device for closed liquid circulation systems, for a heating system, for example, a combination of a filling station and a vacuum deaerator, which would work with one and the same pump. As the focus was the vacuum deaerator, which removes air, i.e., residual gases, from the liquid in the system. Air is almost always mixed with the liquid when the system is filled or maintained, or that has leaks. Air in a closed liquid system causes power losses, makes it difficult to adjust the system and increases costs.

Firstly, the aim was to define what functions the device would have. The device should be able to remove residual gases from the liquid circuit, fill up more liquid into the system, and to fill the liquid tank of the device from an external source. The work progressed by first designing a PI diagram to show how the system would work as desired. When the function of the system was known, necessary components and their connection to each other were planned. After that, the theory of separating residual gases from the liquid using vacuum was studied. The practical part was implemented last.

As a result of the thesis, a compact package was completed: a filling station with a vacuum deaerator that works with one pump. The theoretical part was also completed, now the operation of the device is known.

The PI-Chart and the images of the finished product in the attached files are left out of the versions returned to Theseus due to business secrets.

<sup>1</sup> Keywords: pressure, air, gases, pumps, schematics

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	1
Thesis abstract .....	2
SISÄLTÖ .....	3
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Työn tausta .....	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne .....	10
1.4 SuomenTekojää Oy.....	10
2 ALIPAINELMANPOISTIN .....	11
2.1 Toimintaperiaate.....	11
2.2 Tyhjiötekniikan perusteet.....	11
2.2.1 Paine.....	11
2.2.2 Tyhjiö .....	12
2.3 Järjestelmän nesteet ja kaasut.....	13
2.3.1 Ilma .....	13
2.3.2 Vesi.....	13
2.3.3 Glykolit.....	14
2.4 Kaasujen erottaminen vedestä.....	15
2.4.1 Glykolinesteiden kaasukonsentraatio.....	19
2.4.2 Teoriassa saturaation alentaminen .....	21
2.5 Mikrokuplien merkitys nestejärjestelmässä .....	23
3 TÄYTTÖASEMA.....	24
3.1 Toiminta järjestelmässä.....	24
3.2 Tulevat toiminnot ja ominaisuudet .....	24
4 TÄYTTÖASEMA ALIPAINELMANPOISTIMELLA.....	26
4.1 Komponenttien valinta.....	26

4.2	Teline .....	26
4.3	PI-kaavio .....	29
4.4	Putkisto .....	30
4.5	Ilmainsäiliö .....	31
4.5.1	Osat .....	31
4.5.2	Valmistus .....	32
5	TULOKSET .....	34
5.1	Teline, säiliö ja pumppu.....	34
5.2	Ilmainsäiliö .....	35
5.3	Yhdistelmä .....	36
6	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	37
6.1	Työn eteneminen.....	37
6.2	Pohdinta .....	37
	LÄHTEET .....	40

## Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Logo (Suomen Tekojää Oy, i.a.).....	10
Kuva 2. Yksinkertaistettu tyhjiösystemi.....	12
Kuva 3. Veden kiehumispiste paineen funktiona (Viitaniemen koulu, i.a.).....	16
Kuva 4. Täyttöaseman säiliö ja pumppu.....	24
Kuva 5. Esimerkki automaattisesta työkierrosta.....	25
Kuva 6. Telineen osa 1.....	27
Kuva 7. Pääkomponentit yhdistettynä.....	27
Kuva 8. Telineen osa 2.....	28
Kuva 9. Järjestelmän putkitussuunnitelma.....	29
Kuva 10. PI-kaavio esimerkki.....	30
Kuva 11. Esimerkki käyrän mitoituksesta.....	31
Kuva 12. Ilmainsäiliö.....	32
Kuva 13. Säiliö, telineosat ja pumppu kokoon pantuina.....	34
Kuva 14. Sinkitty kiinnike.....	35
Kuva 15. Ilmainsäiliön ja telineen osa 2 kiinnitys.....	36
Kuva 16. Pumpun imu puolen putkitus.....	38
Kuva 17. Suunnitelma, putki lähdöt sivulle päin.....	38

Taulukko 1. Tyhjiö alueet. ....	13
Taulukko 2. Veden tiheys ja höyrynpaine sekä Henryn vakio hapelle ja typelle. ....	17
Taulukko 3. Veden hapen ja typen saturaatio arvot yhteensä ( $\text{mol/m}^3$ ) eri lämpötiloissa ja alipaineissa. ....	18
Taulukko 4. Glykolin tiheydet, höyrynpaineet ja moolimassat (Parviainen, 2020 s.43). .....	19
Taulukko 5. Glykolin hapen ja typen saturaatio arvot ( $\text{mol/m}^3$ ) yhteensä 20–25 °C eri alipaineissa. ....	20
Taulukko 6. Glykolin typpi saturaatio arvot ( $\text{mol/m}^3$ ) 20–25 °C eri alipaineissa. ....	20

## Käytetyt termit ja lyhenteet

- Boylen laki** Erikoistapaus ideaalikaasujen tilanyhtälön laista. Boylen laissa kaasun paineen ja tilavuuden tulo on vakio. Vakio on sama eri paineissa, joten alkutilan (1) ja lopputilan (2) paine ( $p$ ) ja tilavuus ( $V$ ) toteuttavat yhtälön, missä paine ja tilavuus 1 on yhtä kuin paine ja tilavuus 2. Tästä seuraa, että paineen muutos vaikuttaa käänteisesti kaasun tilavuuteen lämpötilan pysyessä vakiona. Nimen laki on saanut Robert Boylen (1627–1691) mukaan.
- Fickin laki** Fickin ensimmäinen laki kuvaa hiukkasten liikkumista (diffuusiovirtausta) korkeasta alhaiseen pitoisuuteen, ja se on suoraan verrannollinen pitoisuusgradienttiin ja diffuusiokertoimeen. Diffuusiovirta tapahtuu pitoisuuseron suhteessa ajasta riippumatta. Fickin toinen laki kuvaa diffuusion aiheuttamaa konsentraatiogradientin muutosta ajan suhteen. Nimetty Adolf Fick (1829–1901) mukaan.
- Henryn vakio** Toiselta nimeltään Henryn lain vakio, ja se kuvaa liuokseen liuenneen aineen osapaineen riippuvuutta kaasun mooliosuudesta liuottimessa. Henryn vakiolla voidaan määrittää kaasun liukoisuutta liuokseen: mitä pienempi arvo on Henryn vakiossa, sitä suurempi liukoisuus on liuottimeen. Ilmaistaan tunnuksella  $k_H$ , kaasulle ominainen, lämpötilasta riippuvainen vakio. Laki on saanut nimensä englantilaisen William Henryn (1774–1836) mukaan.
- Konsentraatio** Konsentraatio eli molaarisuus on erityisesti kemiassa käytetty suure, jolla ilmoitetaan liuenneen aineen pitoisuus liuoksessa. Konsentraatio on ainemäärä tilavuusyksikössä, ei massa eikä tilavuus. Yksikkönä käytetään mol/m<sup>3</sup> ja tunnus on  $c$ .
- PI-kaavio** Putkitus- ja instrumentointikaavio on prosessilaitteistojen kuvaamiseen käytettävä kaksiulotteinen piirustustyyppi. PI-Kaaviosta käy ilmi toiminnallinen kokonaiskuva laitteistosta ja se sisältää



kaikki toiminnolliset laitteet, kuten putket, pumput, venttiilit ja mitauspisteet.

**Solid Edge**

Parametrinen tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto. Ohjelma on suunnattu valmistuksen, suunnittelun ja tuotekehityksen tarpeisiin. Ohjelmalla pystyy tekemään osamalli-, ohutlevy-, kokoonpano- ja työpiirustuksia.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön aihe on tullut käytännön tarpeesta kylmä- ja lämpökoneiden suljetuissa nestekiertojärjestelmissä. Erilaisten koneikkojen putkistoissa olevien nesteiden seassa on aina ilmaa, kun järjestelmää täytetään ensimmäistä kertaa. Järjestelmissä on aina ilmausventtiileitä ja automaattisia ilmausventtiileitä, mutta silti järjestelmään jää väkisinkin jonkin verran ilmakuplia, jäännöskaasua ja nesteeseen liuenneita kaasuja. Ilmaa pääsee myös huoltojen ja vuotojen yhteydessä nestejärjestelmään. Tähän asiaan on alettu kiinnittämään huomiota kasvavin määrin niin teollisuuden kuin talotekniikan nestekiertojärjestelmissä. Aluksi nämä ilmakuplat ja jäännöskaasu poistuvat helposti, mutta kun ilma ja jäännöskaasu vähenee niin sitä vaikeammaksi ja kalliimmaksi sen poistaminen tulee (Hulkkonen, 2005, s. 6). Ilman ja jäännöskaasun poistaminen ja vähentäminen järjestelmistä on tärkeää, ettei se aiheuta ongelmia järjestelmässä. Ennen pumppua nestekiertojärjestelmässä olevat ilmakuplat, jäännöskaasu ja liuenneet kaasut tulisi saada vapautettua kavi-taation, ja siitä johtuvien pumppuvaurioiden estämiseksi. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tämän ongelman poistamiseen nestekiertojärjestelmistä alipaineilmanpoistimella. Alipaineilmanpoistimen toimintaperiaate on, että se ottaa nestekiertojärjestelmästä säiliöllisen nestettä, pumpulla tehdään neste alipaineiseksi, jolloin ilmakuplat erottuvat nesteestä ja nousevat säiliön yläosaan. Kun ilmakuplat ovat nousseet säiliön yläosaan, säiliön yläpäässä oleva ilmausventtiili päästää ylös nousseen ilman pois järjestelmästä. Alipaineilmanpoistimen prosessin järjestelmässä on tarkoitus toimia keskeytyksettä, jolloin prosessin pitää olla automatisoitu.

## 1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on yhdistää ja toteuttaa kustannustehokkaasti täyttö-asema ja alipaineilmanpoistin samaan kompaktiin pakettiin toimimaan yhdellä ja samalla pumpulla suljetussa nestekiertojärjestelmässä. Pumpulla olisi myös pystyttävä lisäämään tai siirtämään nestettä järjestelmän ulkopuolelta joko järjestelmään tai ulkoiseen astiaan. Markkinoilta ei löydy tällaista yhdistelmälaitetta, jossa olisi samat ominaisuudet yhdellä pumpulla. Opinnäytetyössä ei oteta kantaa kustannuksiin, vaikka kustannuksia

huomioidaankin. Lähtökohtaisesti tämä opinnäytetyö toteutetaan suljetulle glykolinestekiertojärjestelmälle, ja tulevaisuudessa on tavoitteena soveltaa nestekiertojärjestelmissä myös eri nesteille.

### 1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyössä lähdettiin aluksi suunnittelemaan PI-kaavio haluttujen toimintojen pohjalta, ja tämä toimii myös toteutuksen pohjana. Kaavio salataan yrityssalaisuuden perusteella Theseuksessa. Seuraavaksi valitaan pääkomponentit, pumppu, säiliöt, putkistomateriaali. Seuraavaksi suunnitellaan pumpun, säiliön ja putkiston kiinnitykset ja putkistot. Pohditaan teoriassa laitteen toimintoja, ja toimivuutta, lopuksi toteutetaan käytännössä ja tarkastellaan tuloksia.

### 1.4 SuomenTekojää Oy

Suomen Tekojää Oy on perustettu vuonna 1997 Parkanossa, sen henkilöstöressurssit ovat 75 henkilöä, toimitusjohtajana on yrityksen perustaja Timo Mansikkaviita ja yrityksen liikevaihto oli vuonna 2020 13 miljoonaa euroa (Suomen Tekojää, i.a.). Suomen Tekojää Oy tarjoaa kokonaisvaltaisia jäähdytys-, ilmakehitys-, teollisuuskylmä- ja lämpöpumppuratkaisuja tehdasvalmiina valmiiseen konehuoneeseen tai konehuonekontissa avaimet käteen – periaatteella. Suomen Tekojää Oy tarjoaa palveluita koko projektin elinkaaren ajalle, suunnittelusta ja valmistuksesta asennukseen, ja huoltopalveluihin saakka. Yrityksen ydinosaaminen on kylmätekniikkaratkaisut jääturheilun ja teollisuuden tarpeisiin. Referensseihin kuuluvat toimitukset 25 maahan, referensseistä muutama mainittakoon esim. jääkiekon MM-kisat 2021 Riika Latvia, Nokia Areena Tampere, kaukojäähdytys Keski-Suomen sairaala Nova Jyväskylä, logistiikkakeskus Botnia Freeze Seinäjoki.



Kuva 1. Logo (Suomen Tekojää Oy, i.a.).

## 2 ALIPAINELMANPOISTIN

### 2.1 Toimintaperiaate

Alipaineilmanpoistimen tarkoitus lämmitys-, jäähdytys- ja prosessijärjestelmissä on poistaa mikrokuplia eli jäännöskaasua suljetuista nestejärjestelmistä. Alipaineilmanpoistimen on tarkoitus olla automatisoitu, joten se poistaa jäännöskaasua automaattisella työkierrolla niin kauan kuin on määritelty. Työkierrolla tarkoitetaan sitä, kun laite ottaa säiliöllisen nestettä nestekierrosta ja magneettiventtiili sulkeutuu, jolloin ei nestettä pääse liikkumaan sisään säiliöön. Tämän jälkeen pumpulla tehdään säiliöön alipaine määritellyksi ajaksi, säiliössä on tarkoitus saada mikrokuplat erottumaan nesteestä alipaineen avulla ja nousemaan nesteen pintaan. Määritetyn ajan kuluttua säiliön paine päästetään nousemaan alipaineesta takaisin ylipaineeseen, jolloin säiliön päällä oleva automaatti-ilmain päästää ilmakuplat säiliöstä pois. Kun neste on ilmatonta, neste palautetaan takaisin nestekiertojärjestelmään ja otetaan uusi säiliöllinen nestettä uuteen prosessiin, kunnes tavoite on saavutettu. Alipaineilmanpoistin liitetään pumpun paluupuolelle niin, että laitteiston tuloliitännän ja paluuliitännän välissä on oltava putkea vähintään metrin verran, jottei jo ilmanpoistimessa käynnystä nestettä palaudu turhaan takaisin samaan prosessiin uudestaan.

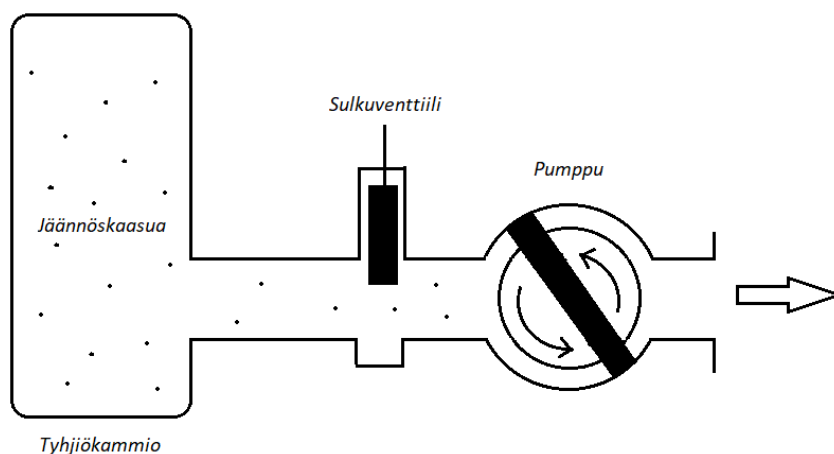
### 2.2 Tyhjiötekniikan perusteet

#### 2.2.1 Paine

Ilmakehän painetta pidetään yleisimmin vertailupaineena yli- ja alipaineelle, josta alkaa yli- ja alipaineen mittaaminen eri suuntiin. Ilmakehän paine on 0,1 megapascal, MPa, meren pinnan tason lähellä. Paineen perusmittayksikkö SI-järjestelmän mukaan on pascal, 1 Pa ( $\text{N/m}^2$ ), eli yhden Newtonin voiman kohdistuessa neliömetrin pinta-alalle 100 000 Pa on yhtä kuin 100 kPa ja 0,1 MPa. Yleisemmin kansan keskuudessa käytetty paineenmittausyksikkö on baari [bar], 1 bar vastaa suurin piirtein ilmakehän painetta eli 0,1 MPa:ta meren pinnan tason lähellä. Ylipaine kyseen ollen ilmaistaan suuretta tunnuksella  $p_e$ , esimerkiksi  $p_e = 0,03 \text{ MPa}$ , alipainetta ilmaistaan vastaavasti esimerkiksi  $p_e = -0,03 \text{ MPa}$ , pelkällä  $p$  tarkoitetaan absoluuttista painetta mistä mittaaminen aloitetaan.

## 2.2.2 Tyhjiö

Absoluuttinen tyhjiö on tila, jossa ei ole painetta, ainetta eikä molekyyliä. Kun poistetaan kaasut ja höyryt suljetusta tilasta, tehdään tilasta käytännössä tyhjiö. Tyhjiön paine on pienempi kuin ilmakehän paine. Vaikka tyhjiöstä poistetaankin höyryjä ja kaasuja, kuitenkin käytännössä kaasuja ja höyryjä on aina tyhjiötilassa enemmän tai vähemmän. Hulkkosen (2005, s. 2) mukaan jäljelle jääneitä kaasuja ja höyryjä kutsutaan jäännöskaasuksi (kuva 2), riippumatta siitä, millainen sen koostumus on. Tyhjiön ympärillä oleva ilmakehän paine on suurempi kuin jäännöskaasun paine.



Kuva 2. Yksinkertaistettu tyhjiösystemi.

Tyhjiöalueet on luokiteltu kuuteen eri ryhmään jäännöskaasun kokonaispaineen perusteella kuten taulukossa 1 esitetään. Karkeaa tyhjiötä, jossa on alhainen paine, käytetään tartuntaan, nostamiseen ja kuljettamiseen. Alhaista molekyyliä alhaisessa tyhjiössä käytetään hehkulamppu, loisteputki ja pakkaussovelluksissa. Välityhjiö vastaa keskinkertaista tyhjiötä, jonka tavoitteena on poistaa absorboituneet tai liuenneet kaasut, jollaista prosessia tässä opinnäytetyössä tavoitellaan nestejärjestelmän ilmanpoistossa. Jäännöskaasun koostumus ei oleellisesti eroa ilman koostumuksesta vielä karkeatyhjiön alueella, mutta välityhjiössä seinämiltä irtoava kaasu tyhjiötilassa alkaa vaikuttamaan koostumukseen vesihöyryn lisääntyessä. Suurtyhjiötä käytetään esimerkiksi elektrodi- ja katodiputkissa, isotooppiseparaattoreissa ja molekyyli-lauksessa. Erittäin korkea tyhjiö pitää sisällään hyvän suurtyhjiön, ultratyhjiön ja hyvän ultratyhjiön. Käyttökohteita erittäin korkealla tyhjiöllä on adheesio, emissiotutkimukset ja materiaalien soveltuvuus avaruuskäyttöön.

Taulukko 1. Tyhjiöalueet (Hulkkonen, 2005).

karkeatyhjiö	välityhjiö	suurtyhjiö	hyvä suurtyhjiö	ultratyhjiö	hyvä ultratyhjiö
$10^5$ – $10^2$ Pa	$10^2$ – $10^{-1}$ Pa	$10^{-1}$ – $10^{-4}$ Pa	$10^{-4}$ – $10^{-7}$ Pa	$10^{-7}$ – $10^{-10}$ Pa	$10^{-10}$ Pa-

## 2.3 Järjestelmän nesteet ja kaasut

### 2.3.1 Ilma

Ilma on kaasu, joka koostuu kaasumolekyyleistä, pääosin typestä  $N_2$  ja hapesta  $O_2$ , joiden tilavuus prosentteina on tyypeä 78,084 ja happea 20,946 prosenttia, ja pienempiä osuuksia on argonia Ar 0,934 prosenttia ja hiilidioksidia  $CO_2$  n.0,036 prosenttia kuivan ilman tilavuudesta. Näiden lisäksi ilmassa olevia kaasumolekyylejä on, neon Ne, helium He, krypton Kr, metaani  $CH_4$ , vety  $H_2$ , typpioksidi  $N_2O$ , ksenon Xe ja otsoni  $O_3$ , ja nämä kaasut täyttävät lopputilavuuden ilmasta. Puhdasta ilmaa ei voi havaita, koska se on hajutonta, väritöntä ja mautonta. Ilman tiheys on 0 °C lämpötilassa ja 0,1 MPa paineessa  $1,2754 \text{ kg/m}^3$ , IUPAC standardin mukaisessa NTP-tilassa. Ilman ominaislämpökapasiteetti on  $1010 \text{ J/(K*kg)}$ .

### 2.3.2 Vesi

Vesi on ainoa aine, joka voi esiintyä kolmessa eri olomuodossa: nestemäisenä, kiinteänä ja kaasuna. Vesi koostuu vedystä  $H_2$  ja hapesta O. Ilmastetussa vedessä vallitsevia kaasuja ovat typpi  $N_2$  ja happi  $O_2$  (Akvaattisen patobiologian laboratorio, 2006). Hapen liukenevuus veteen määräytyy veden lämpötilan mukaan: mitä korkeampi veden lämpötila, sen huonommin happi liukenee veteen. 14,25 mg happea liukenee 1 litraan vettä 1 asteen lämpöisessä, 100-prosenttisessä happikylläisessä vedessä, 11,25 mg happea liukenee litraan vettä 10-asteisessa vedessä. Myös ilmanpaineen lasku aiheuttaa kaasujen liukoisuutta veteen vähentävästi. Vedellä on nesteenä ominaislämpökapasiteetti  $c = 4,19 \text{ kJ/}$

(kg °C), joka on suurin yleisesti esiintyvistä aineista maapallolla (Suvanto, 2010, s. 423), ja siksi vettä käytetään lämmitys- ja lämmönvarausjärjestelmissä, koska vesi pystyy vähäisellä lämpötilan muutoksella sitomaan tai luovuttamaan suuren määrän energiaa. Ominaislämpökapasiteetti tarkoittaa sitä, kuinka monta joulea energiaa tarvitaan lämmittämään 1 kilogrammaa ainetta 1 lämpötila-asteen nousun verran. 1 Joulen energiamäärän teho vastaa sekunnissa 1 wattia (W). Veden moolimassan tiedetään olevan 18,016 g/mol, kun sillä jaetaan 1 vesilitran massa, 1000 grammaa, saadaan ainemääräksi 55,51 mol.

### 2.3.3 Glykolit

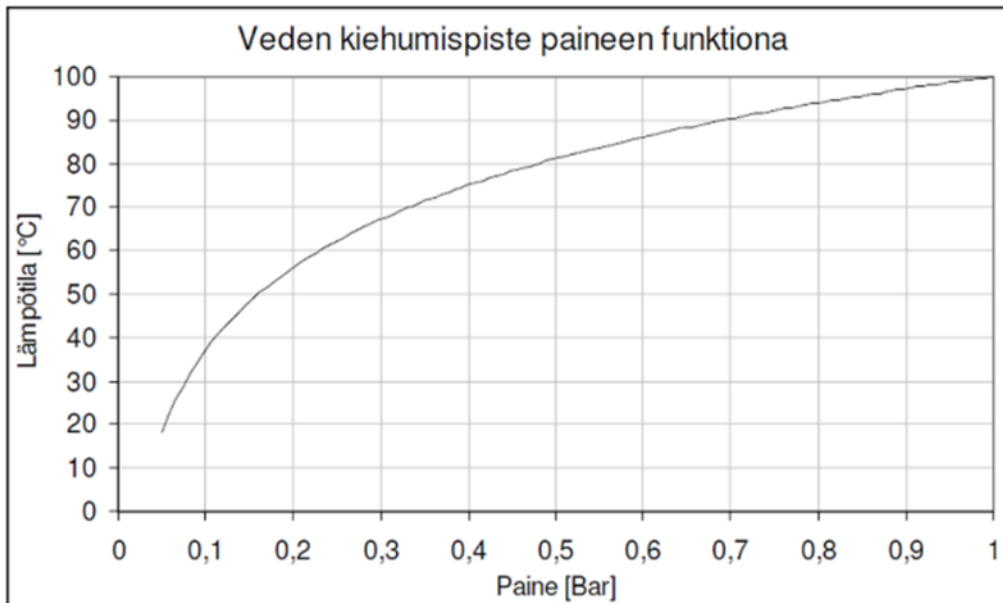
Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytetään nesteinä veden ja etyleeniglykolin tai propyleeniglykolin sekoitusta, seosvahvuutena 30–40 prosenttinen laimennusliuos. Etyleeniglykolin molekyylikaava on  $C_2H_6O_2$ , ja se on väritöntä, jähmeää, hajutonta ja hygroskoopista nestettä (Työterveyslaitos, 2022). Tiheydeltään veteen (veden tiheys 1) verrattuna etyleeniglykoli on 1,1 20 °C lämpötilassa, höyryntiheys 2,1 ilman ollessa 1. Etyleeniglykoli liukenee täysin veteen, asetoniin ja alkoholiin, ja haihtuu vedestä hyvin heikosti Henryn lain vakion perusteella, koska sillä on matala höyrypaine. Sitä käytetään jäähdytinnesteenä, jäänestoon ja myös räjähdysaineiden ja polyesterikuitujen valmistamiseen, maaleissa, jarrunesteissä, hartseissa, kosmetiikassa ja lääkeaineissa. Etyleeniglykoli on useimpien alkoholien tavoin myrkyllinen yhdiste. Propyleeniglykoli on orgaanien yhdiste (alkoholi) jonka molekyylikaava on  $C_3H_8O_2$ , ja se on väritöntä, hajutonta, jähmeää ja hygroskoopista, viskoosista itseensä kosteutta sitovaa nestettä (International Labour Organization, 2014). Propyleeniglykolin tiheys on 1,04 veteen (1) verrattuna ja suhteellinen höyryn tiheys 2,6 ilman ollessa 1. Propyleeniglykoli sekoittuu veteen, etanoliin ja erilaisiin orgaanisiin liuottimiin. Propyleeniglykolia käytetään lääkkeiden liuottimina, sähkösavukkeiden nesteen pääaineosana, elintarvikkeissa lisäaineena E1520, kemianteollisuudessa lisäaineena E490, nuuskassa, pehmentävänä aineena ihovoiteissa, jäähdytysnesteenä, lentokoneiden jäänpoistossa ja hydraulikkaöljyssä hydraulijärjestelmissä (Cipax, i.a.). Propyleeniglykoli ei ole myrkyllinen tai ainakin haitat ihmisille ja eläimille ovat erittäin vähäiset.

## 2.4 Kaasujen erottaminen vedestä

Kaasujen atomit ja molekyylit ovat suhteellisen etäällä toisistaan. Atomit ja molekyylit ovat jatkuvassa nopeassa satunnaisessa liikkeessä, ja sen vuoksi ne törmäilevät astian seinämiin. Keskimäärin useammin tapahtuu törmäyksiä silloin, kun mitä suurempi lukumäärä atomeja ja molekyyliä on tilavuusyksikköä kohti, ja tämän takia kaasun painekin on suurempi eli astian seiniin kohdistuu suurempi voima (Antila ym., 2008, s. 43). Boylen lain mukaan kaasun tilavuuden muutos verrattuna paineen muutokseen vaikuttaa kaasun tilavuuteen käänteisesti. Esimerkkinä, kaasun tilavuus on alussa 4 litraa ja sen paine on 2 bar, kun kaasun tilavuus puristetaan 2 litran kokoon lämpötilan pysyessä vakiona, sen paine on 4 bar. Tässä opinnäytetyössä sovelletaan tätä lakia, koska pyritään ainoastaan paineen laskulla vaikuttamaan kaasujen tilavuuteen, eli laskemalla painetta, kaasun tilavuus kasvaa ja kaasut erottuvat helpommin nesteestä. Mahdollista olisi myös kaasun erottamiseen nesteestä, nesteen lämpötilan muutoksilla vaikuttaen. Suoralla lämpötilan nostolla pystyttäisiin erottamaan kaasuja nesteestä, mutta tässä opinnäytetyössä ei nyt sitä vaihtoehtoa lähdetä edistämään, vaan pyrkimyksenä on alipaineella erottaa liuenneet kaasut nesteestä, jolloin esimerkiksi paineen laskiessa 2,3 kPa (joka vastaa 0,023 bar painetta) arvoon lämpötilan ollessa 20 °C, alkaa vesi kiehua (Suvanto, 2010, s. 371) jolloin kaasut



erottuvat vedestä. Kuvassa 4 esitetään kuinka, alle 1 bar eri paineet vaikuttavat veden kiehumispisteen lämpötilaan.



Kuva 3. Veden kiehumispiste paineen funktiona (Viitaniemen koulu, i.a.).

Hulkkoson (2005 s. 7) mukaan tasapainotila syntyy tyhjiötilassa, jossa on nestettä, kun höyrystä nesteeseen ja nesteestä höyryyn aikayksikössä siirtyvien molekyylien lukumäärät ovat yhtä suuret. Tätä tasapainotilaa sanotaan nesteen höyryn paineeksi kyseisessä lämpötilassa. Kuten edellä on mainittu, kaasujen erottumiseen vedestä vaikuttavat lämpötila, paine ja niiden välinen suhde, ja ne vaikuttavat myös liuenneiden kaasujen määrään. Kaasukonsentraatiota voidaan laskea, ja tähän tarvitaan Henryn lakia, jolla ilmaistaan kaasun liukoisuuden tasapainotilaa nesteeseen eri paineissa. Vesijohtoveden eli käyttöveden on mitattu olevan lähes kyllästystilassa liuenneiden kaasujen suhteen, joten sen seassa on liuenneita kaasuja noin  $1 \text{ mol/m}^3$ , joka vastaa kaasun tilavuutena ilmaistuna  $24 \text{ l/m}^3$  (1 bar,  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Tekno-innovaatio, i.a.). Tulos on saatu mittaamalla ja laskettua hyväksi käyttäen Henryn vakiota kaavalla,

$$x = \frac{pd}{H} \quad (1)$$

Missä

$x$  on liuenneen kaasun moolisuus

$H$  on Henryn vakio

$p_d$  on kaasun osapaine (Pa)

kaasun osa paine on kosketuksessa olevassa nesteessä, joka on laskettu typen  $N_2$  ja hapen  $O_2$  ilmakehän pitoisuuksilla kaavoilla,

$$p_{n_2} = n_2 * (p_a - p_v) \quad (2)$$

$$p_{o_2} = o_2 * (p_a - p_v) \quad (3)$$

Missä

$p_a$  on kokonaispaine kaasuseokselle

$p_v$  on tietyssä lämpötilassa oleva höyryn osapaine.

Kaavasta (1) on johdettu kaava,

$$c_{eq} = 55,51 \frac{mol}{kg} \cdot \frac{p * p_d}{H} \quad (4)$$

Missä

$\rho$  on veden tiheys ( $kg/m^3$ )

veden moolimassa on 55,51 mol/kg, jolla on laskettu  $c_{eq}$  eli kaasukonsentraatio ( $mol/m^3$ ) hapelle ja typelle erikseen, jonka jälkeen tulokset on laskettu yhteen (taulukko 3) (Kärkkäinen, 2010, s. 17–19). Arvot kaavioihin on otettu taulukosta 2. Kuten hapen ja typen Henryn vakiot on määritetty kokeellisesti. Kuten taulukosta käy ilmi, Henryn vakio on ominainen ainekohtaisesti.

Taulukko 2. Veden tiheys ja höyrynpaine sekä Henryn vakio hapelle ja typelle eri lämpötiloissa (Kärkkäinen, 2010, s. 17,18).

Veden tiheys ja höyrinpaine eri lämpötiloissa														
°C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
Veden tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	999,8	999,7	999	998,2	996,9	995,6	993,9	992,2	990,2	988,2	983,2	977,8	971,8	965,3
Höyrinpaine (kPa)	0,87	1,22	1,7	2,33	3,16	4,24	5,62	7,37	9,58	12,33	19,92	31,16	47,36	70,11
Henryn vakiot hapelle ja typelle eri lämpötilatasoissa (Gpa)														
°C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
Happi O <sub>2</sub>	2,91	3,27	3,64	4,01	4,38	4,75	5,07	5,35	5,63	5,88	6,29	6,63	6,85	6,99
Typpi N <sub>2</sub>	5,97	6,68	7,38	8,04	8,65	9,24	9,85	10,4	10,9	11,3	12	12,5	12,6	12,6

Jos oletetaan että nestekiertojärjestelmä on täytetty pelkällä vedellä ja järjestelmässä olevan veden lämpötila on 40 °C ja järjestelmän paine 1 bar, voidaan laskea edellä mainittuja kaavoja hyväksi käyttäen, että veteen liuenneita kaasuja on yhteensä 0,59 mol/m<sup>3</sup> olettaen, että veteen sekoittunut ilma koostuu ainoastaan typestä 78 % ja hapesta 21 %. Jos nestejärjestelmässä on korroosiota, sen vuoksi happi palaa lähes pois tuntien päästä ja jäljelle jää typpi. Jos typpikonsentraatio saadaan 0,5 mol/m<sup>3</sup> tasolle vedessä, auttaa se jo kaasuongelmissa, ainakin patterilämmitysverkostossa (Kärkkäinen, 2010, s. 46; Tekno-innovaatio, i.a.). Jos halutaan saavuttaa alle 0,5 mol/m<sup>3</sup> tila typelle ja hapelle yhteensä, 40 °C asteisessa vedessä pitää taulukon 3 mukaan alipaineen olla 0,8 bar tai vähemmän, jos vastaavasti paine pysyy samassa 1 barissa kuin esimerkkilaskussa, niin veden lämpötilaa pitää nostaa vähintään 60 °C asteeseen saman alle 0,5 mol/m<sup>3</sup> kaasukonsentraatiotilan saavuttamiseksi.

Taulukko 3. Veden hapen ja typen saturaatio arvot yhteensä (mol/m<sup>3</sup>) eri lämpötiloissa ja alipaineissa.

Saturaatio arvot vedelle (mol/m <sup>3</sup> ) eri paineissa (alipaine) ja lämpötiloissa, typpi ja happi yhteenlaskettuna															
°C		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
bar															
0		-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,11	-0,16	-0,24	-0,35
0,1		0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	-0,01	-0,04	-0,07	-0,13	-0,21
0,2		0,22	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,00	-0,04	-0,09	-0,17
0,3		0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,05	-0,01	-0,09	-0,20
0,4		0,44	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16	0,11	0,05	-0,04	-0,15
0,5		0,55	0,49	0,44	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,24	0,22	0,16	0,10	0,01	-0,10
0,6		0,67	0,59	0,53	0,48	0,43	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,22	0,15	0,06	-0,05
0,7		0,78	0,69	0,62	0,56	0,51	0,47	0,43	0,39	0,36	0,33	0,27	0,20	0,11	0,00
0,8		0,89	0,79	0,71	0,64	0,59	0,54	0,49	0,46	0,42	0,39	0,32	0,25	0,16	0,05
0,9		1,00	0,89	0,80	0,73	0,66	0,61	0,56	0,52	0,48	0,45	0,38	0,30	0,21	0,10
1		1,12	0,99	0,89	0,81	0,74	0,68	0,63	0,58	0,54	0,50	0,43	0,35	0,26	0,15

### 2.4.1 Glykolinesteiden kaasukonsentraatio

Käydään läpi propyleeniglykolin 30 % ja etyleeniglykolin 30 % kaasukonsentraatiot lyhyesti kohdan 2.4 mukaisilla kaavoilla. Jotta voidaan laskea kaasukonsentraatiot glykoleille, pitää tietää tiheydet ja höyrynpaineet sekä moolimassat ja ne on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Glykolin tiheydet, höyrynpaineet ja moolimassat huoneenlämmössä (Parviainen, 2020 s. 43).

20-25 °C	vesi	Propyleeniglykoli 30%	Etyleeniglykoli 30%
kg/m <sup>3</sup>	996,9	1006,13	1010,65
kPa	3,16	2,22	2,21
Moolimassa ( mol/kg)	55,51	13,14	16,11
Moolimassa 30% seoksella (mol/kg)		42,8	43,69

Taulukossa 4 esiintyvät saturaatioarvot typelle ja hapelle (mol/m<sup>3</sup>) glykoleissa on saatu laskemalla edellä mainittuja kaavoja apuna käyttäen huoneenlämpöisistä glykoliseoksista.

Taulukko 5. Glykolien hapen ja typen saturaatio arvot ( $\text{mol/m}^3$ ) yhteensä 20–25 °C eri alipaineissa.

Propyleeniglykoli 30%		Etyleeniglykoli 30%	
saturaatioarvot 20-25 °C		saturaatioarvot 20-25 °C	
bar	yht. O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	bar	yht. O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
0	-0,01	0	-0,01
0,1	0,05	0,1	0,05
0,2	0,11	0,2	0,12
0,3	0,18	0,3	0,18
0,4	0,24	0,4	0,25
0,5	0,31	0,5	0,32
0,6	0,37	0,6	0,38
0,7	0,44	0,7	0,45
0,8	0,50	0,8	0,51
0,9	0,56	0,9	0,58
1	0,63	1	0,65

Taulukon 5 mukaan propyleeniglykolin alipaine pitäisi olla vähintään 0,8 bar ja Etyleeniglykolin pitäisi olla vastaavasti 0,7 bar, jotta päästään alle  $0,5 \text{ mol/m}^3$  arvoon yhteen lasketulla saturaatio arvolla, mikä on ainakin vedellä pelkän typpikonsentraation moolisuus arvon minimimitavoite, kun oletetaan että, happi on palanut pois järjestelmästä. Kun tarkastellaan pelkän typen osuutta glykoleista taulukosta 6, riittäisi 1 bar paine alittamaan tämän  $0,5 \text{ mol/m}^3$  arvon.

Taulukko 6. Glykolien typpisaturaatioarvot ( $\text{mol/m}^3$ ) 20–25 °C eri alipaineissa.

Propyleeniglykoli 30%		Etyleeniglykoli 30%	
bar	Typpi	bar	Typpi
0	-0,01	0	-0,01
0,1	0,03	0,1	0,03
0,2	0,07	0,2	0,08
0,3	0,12	0,3	0,12
0,4	0,16	0,4	0,16
0,5	0,20	0,5	0,20
0,6	0,24	0,6	0,25
0,7	0,28	0,7	0,29
0,8	0,32	0,8	0,33
0,9	0,37	0,9	0,38
1	0,41	1	0,42

## 2.4.2 Teoriassa saturaation alentaminen

Lasketaan esimerkki propyleeniglykolilla 30 % kauanko veisi aikaa saavuttaa alipaineella edellä mainittu  $0,5 \text{ mol/m}^3$  tila. Esimerkki lasketaan yksinkertaistettuna pelkän ilmansäiliön tiedoilla ja siltä pohjalta, että säiliön nesteessä ei ole virtausta. Säiliön sisähalkaisija on 110 mm ja sen pituus on 800 mm, ja oletetaan propyleeniglykolin olevan kohdan 2.4.1 mukaisesti n.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpöinen ja 1 bar paineessa, ja jolloin taulukon 4 mukaisesti typen ja hapen yhteenlaskettu saturaatioarvo on  $0,63 \text{ mol/m}^3$ , oletetaan myös, että säiliöön tehdään  $0,8 \text{ bar}$  alipaine. Aloitetaan laskemalla Henryn lain avulla diffuusiokerroin propyleeniglykolille,

$$C = k * P \quad (5)$$

Missä

$C$  on liuenneen kaasun pitoisuutta propyleeniglykolissa

$k$  on Henryn vakio eli  $0,63 \text{ mol/m}^3$

$P$  on kaasun osapaine ( $\text{Pa}$ )

$P$  on esimerkissä 1 bar, olettaen hapen ja typen käyttäytyvän samalla tavalla propyleeniglykolin kanssa johdetaan kaava edelleen,

$$k = \frac{C}{P} = \frac{0,63 \text{ mol/m}^3}{1 \text{ bar}} = 0,63 \text{ mol/m}^3 \quad (6)$$

Seuraavaksi lasketaan diffuusiokerroimen arvo propyleeniglykoliin,

$$D = \frac{k*T}{P} \quad (7)$$

Missä

$D$  on diffuusiokerroin ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$k$  on Henryn vakio ( $\text{mol}/(\text{m}^3*\text{Pa})$ )

$T$  on lämpötila (K)

$P$  on paine (Pa)

Muutetaan lämpötila 20 celsiusasteesta kelviniin eli 293 K ja paine muutetaan 1 bar:sta  $10^5$  Pa ja sijoitetaan luvut kaavaan,

$$D = \frac{0,63 \text{ mol/m}^3 * 293 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa}} = 0,001846 \text{ m}^2/\text{s} \quad (8)$$

Näillä tiedoilla pääsemme käyttämään Fickin lakia, jolla arvioidaan aikaa, jonka kuluessa saturaatio laskee ilmassäiliössä alle  $0,5 \text{ mol/m}^3$ , kun lasketaan painetta säiliössä  $0,8 \text{ bar}$  alipaineeseen. Lasketaan kaavalla,

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = -D * \frac{\Delta C}{\Delta x} \quad (9)$$

Missä

$\Delta C$  on muutos pitoisuudessa ( $\text{mol/m}^3$ )

$\Delta t$  on aika (s)

$D$  on diffuusiokerroin ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\Delta x$  on etäisyys (m), jossa muutos tapahtuu.

Lasketaan  $\Delta C$ ,

$$\Delta C = 0,63 \text{ mol/m}^3 - 0,5 \text{ mol/m}^3 = 0,13 \text{ mol/m}^3 \quad (10)$$

saadaan saturaation laskun arvo  $0,13 \text{ mol/m}^3$ . Säiliö on pystyssä, joten kaasujen diffuusio tapahtuu korkeuden  $0,8 \text{ m}$  suunnassa. Sijoitetaan arvot Fickin lakiin,

$$\frac{0,13 \text{ mol/m}^3}{\Delta t} = -0,001846 \text{ m}^2/\text{s} * \frac{0,13 \text{ mol/m}^3}{0,8 \text{ m}} \quad (11)$$

johdetaan kaava muotoon,

$$\Delta t = \frac{0,13 \text{ mol/m}^3 * 0,8 \text{ m}}{0,001846 \text{ m}^2/\text{s} * 0,13 \text{ mol/m}^3} \quad (12)$$

josta saadaan tulokseksi  $\Delta t = 433,37 \text{ s}$ , tämä kun muutetaan minuuteiksi, tulee ajaksi n. 7,22 minuuttia. Tulos on teoreettinen, ja sitä voidaan pitää arviona, kuinka kauan

alipainetta pidetään vähintään yllä säiliössä, jotta päästään 0,5 mol/m<sup>3</sup> saturaatio arvoon propyleeniglykolilla 0,2 bar paineen alentamisella alipaineiseksi säiliössä.

## 2.5 Mikrokuilien merkitys nestejärjestelmässä

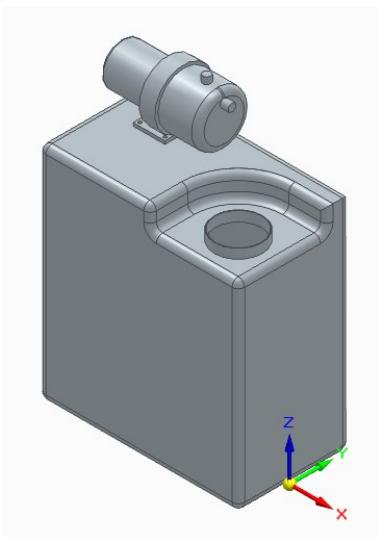
Mikrokuilien merkitystä nestejärjestelmässä voisi hyvin verrata esimerkiksi ihmisen verenkiertoon. Jos veressä on ilmakuplia tai muita epäpuhtauksia, verisuonten kunto heikkenee ja sydämen toiminta voi häiriintyä merkittävästi aiheuttaen terveydellisiä ongelmia. Sama pätee nestejärjestelmässä: jos siellä on ilmaa tai epäpuhtauksia, putkistoissa ei virtaa neste optimoidusti ja pumpun kunto heikkenee. Ilmaton ja puhdas lämmönsiirtoneste on energiatehokas, luotettava ja helpommin säädettävä, ja sen myötä järjestelmä toimii kustannustehokkaammin. Paikallinen paineen lasku pumpun imupuolella synnyttää mikrokuilia järjestelmään ja vaikuttaa negatiivisesti järjestelmän hyötysuhteeseen ja virtauskapasiteettiin (Issaxon, i.a.). Pumpun nesteensiirto voi heikentyä 10–45 % mikrokuilista ja liuenneesta kaasuista johtuen. Mikrokuilat aiheuttavat järjestelmässä korroosiota ja myös pumppujen ja venttiilien kulumista. Ilmiötä, joka tapahtuu edellä mainittuna paineen laskuna tietyssä kohdassa virtausjärjestelmää, sanotaan kavitaatioksi, jolloin alkaa muodostua höyrykuplia johtuen veden kiehumispisteen riippuvuudesta paineen määrään (Suvanto, 2010, s. 371). Syntyneiden höyrykuilien siirtyessä alueelle, jossa on suurempi paine, höyry lauhtuu ja kuplat luhistuvat nopeasti ja aiheuttavat samalla korkeapaineisia iskuaaltoja. Tämä aiheuttaa tärinää, tehohäviötä ja melua ja jopa kuluttaa metallipintoja. Kavitaatiomuodostumista on pyrittävä välttämään laitteiden suunnittelussa, tätä voidaan vältellä, kun muistetaan, että vallitsevassa lämpötilassa staattisen paineen tulee olla joka pisteessä kylläisen höyrynpaineen yläpuolella pumpattavassa nesteessä (Hautala & Peltonen, 2020, s. 130).



## 3 TÄYTTÖASEMA

### 3.1 Toiminta järjestelmässä

Täyttöaseman tarkoitus nestekiertojärjestelmässä on ylläpitää nesteen painetta ja nestetilavuutta oikeassa määrässä. Täyttöasema toimii automaattisesti, ja se lisää järjestelmään nestettä, jos anturit ilmoittavat, että paine putoaa liikaa. Täyttöaseman (kuva 4) komponentit ovat pumppu, säiliö nesteelle ja kuvasta puuttuvat imuputki säiliöstä takaiskulla ja suodattimella sekä lähtevän nesteen putki. Lähtevässä putkessa on haaroitus, venttiilillä varustettu paluuputki takaisin säiliöön, tämän jälkeen on venttiili, paineanturi ja mittari tässä järjestyksessä. Täyttöasemalla pystytään myös manuaalisesti lisäämään järjestelmään nestettä. Lähtevän putken haaroituksesta voidaan kierrättää säiliön nestettä esimerkiksi, tilanteessa, jossa lisätään glykolia ja vettä erikseen, jolloin nämä aineet saadaan sekoittumaan keskenään.



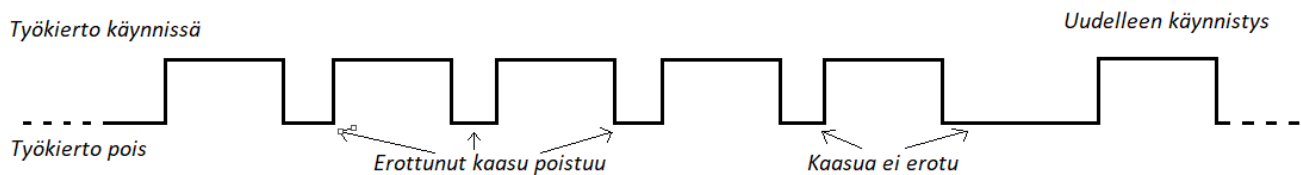
Kuva 4. Täyttöaseman säiliö ja pumppu.

### 3.2 Tulevat toiminnot ja ominaisuudet

Tämän hetken täyttöasemilla voidaan manuaalisesti ja automaattisesti lisätä nestettä järjestelmään, sillä pystytään myös kierrättämään täyttöaseman säiliössä olevaa nestettä.

Tarkoitus uudessa versiossa on olla samassa paketissa täyttöasema ja

alipaineilmanpoistin. Lisäominaisuutena tällä paketilla pitäisi nesteen lisäyksen, ilmanpoiston ja säiliön nesteen sekoituksen lisäksi pystyä käyttämään järjestelmän pumppua täyttöaseman oman säiliön täyttöön ulkoisesta lähteestä, esimerkiksi kannusta tai vesiasiasta tai vesijohtoverkosta, ja sitä voitaisiin käyttää järjestelmästä erillisenä siirtopumppuna nesteille tarvittaessa. Ohjelmoinnissa määritellään ilmanpoisto prosessin käynnissäoloaika. Tämän määrittelyyn tarvitaan tietoa, kauanko säiliössä pitää olla alipainetta, jotta nesteestä erottuvat kaasut. Tähän vaikuttavia asioita luvun 2.4 kaasujen erottaminen vedestä, mukaan on järjestelmän paine, lämpötila ja nesteen ominaisuudet. Työkierrosykliä voidaan pitää automaattisena. Tämä kierto saataisiin loppumaan, kun kaasua ei enää erotu nesteestä.



Kuva 5. Esimerkki automaattisesta työkierrosta.

Se vaatisi automaatti-ilmanpoistimeen kytkettävän anturin, joka tunnistaisi, kun kaasua poistuu ilmanpoistimesta. Kun laite on esimerkiksi käynyt kaksi työkierrosta sykliä läpi, eikä anturi ole tunnistanut kaasun virtausta tänä aikana, se sammuttaisi automaattisen työkierroksen. Kun automaattinen työkierroks on pois päältä, se voisi käynnistyä uudestaan esimerkiksi vuorokauden kuluttua uudestaan ja jos se ei taaskaan havaitse kaasuvirtaa anturissa niin se sammuttaisi työkierroksen uudestaan. Lisäksi järjestelmään tarvitaan ohjelmoinnilla ohjattavia venttiileitä, joilla voidaan sulkea nesteen virtaus. Myös paineantureita ja mittareita tarvitaan, jotta ohjelma osaa sammuttaa pumppun ja visuaalisesti nähdään, että laite toimii oikein.

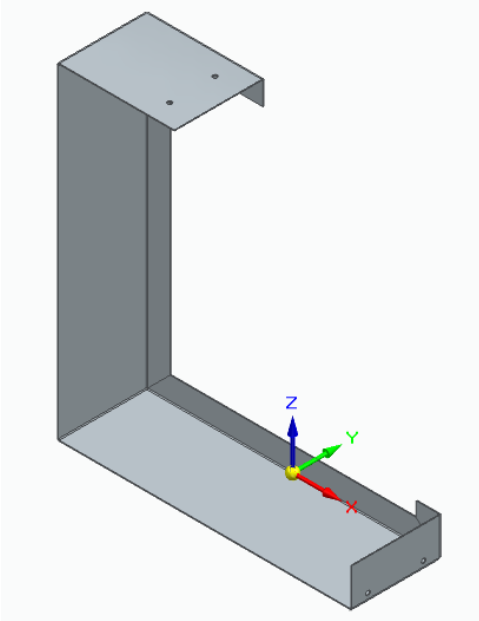
## 4 TÄYTTÖASEMA ALIPAINELMANPOISTIMELLA

### 4.1 Komponenttien valinta

Täyttöaseman säiliönä toimii CPX suorakaiteen muotoinen 140 litran säiliö, joka on jo muutoinkin ollut käytössä täyttöasemissa. Pumppuna käytetään Wilo Jet WJ 202 X -pumpua tuuman lähdöillä. Pumppu on valmistajan mukaan itseimevä 8 metriin asti sisäänrakennetun venturijärjestelmän ansiosta. Pumppu soveltuu aineen 5–35 °C lämpötiloihin, maksimissaan 10 bar käyttöpainella. Ilmain säiliö valmistetaan omana tuotantona DN100 putkesta AISI 304 materiaalista tuuman kylki lähdöillä, ja sekä ½ tuuman tyhjennys- ja ilmausventtiilillä. Venttiilit ja putkisto tehdään sinkityillä Geberit Mapress osilla. Lisäksi järjestelmään tarvitaan automaattinen ilmanpoistin, varoventtiili, imusuodatin, takaiskuventtiileitä, vakiovirtausventtiileitä, magneettiventtiileitä ja paineantureita sekä painemittareita.

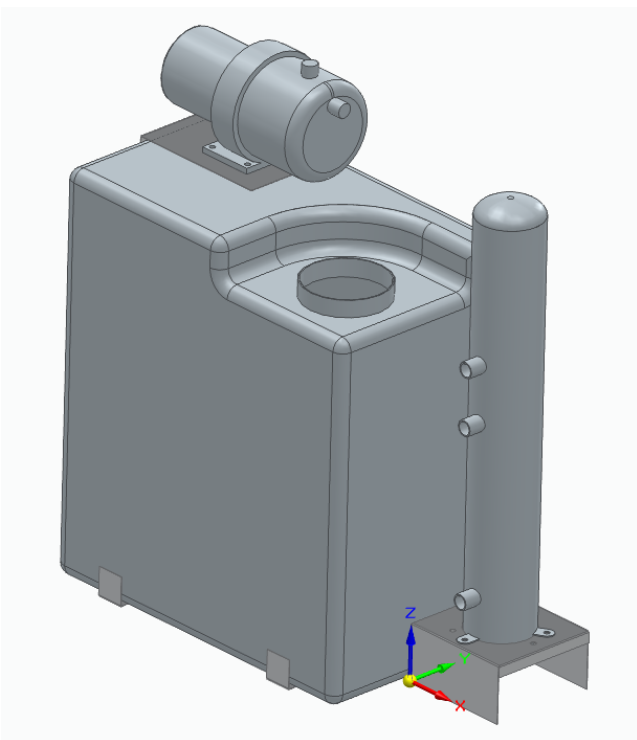
### 4.2 Teline

Täyttöaseman, pumpun ja ilmain säiliön yhdistämiseen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi täytyi suunnitella, kuinka osat saataisiin pysymään yhdessä. Täytösäiliön ympärille suunniteltiin teline (kuva 6).



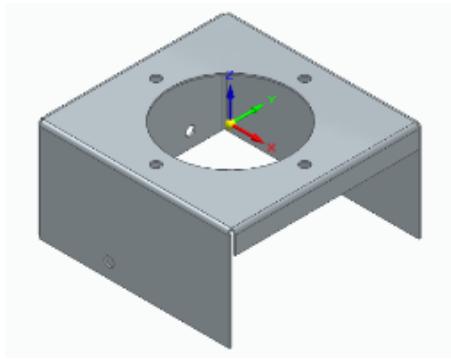
Kuva 6. Telineen osa 1.

Sen avulla voidaan kaikki komponentit sitoa pulttiliitoksilla yhtenäiseksi (kuva 7).



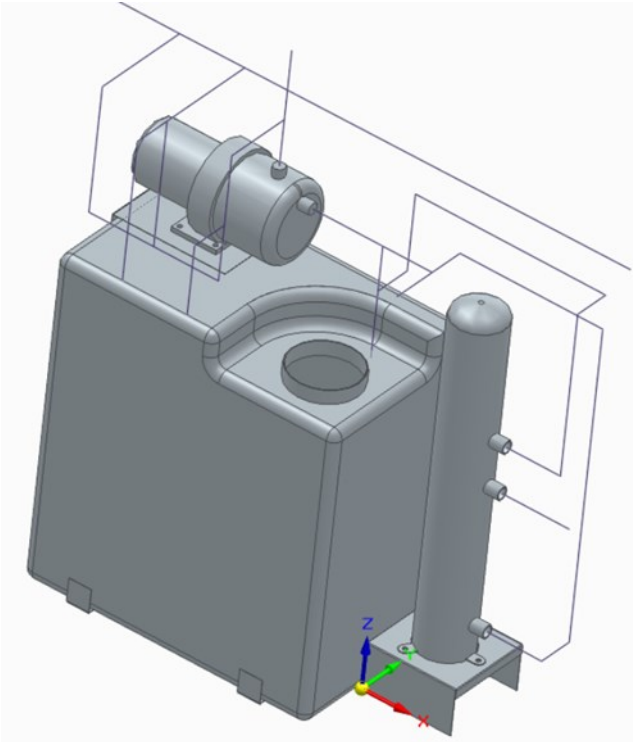
Kuva 7. Pääkomponentit yhdistettynä.

Telineen suunnittelussa otettiin huomioon, että sen pystyisi valmistamaan sinkitystä pellistä ja se olisi mahdollisimman yksinkertainen ja näin ollen edullinen teetättää alihankintana. Telineestä tuli tästä syystä kaksiosainen, säiliön ympärille ja pumpun alle tuleva teline (kuva 6), ja se on mahdollista valmistaa levyleikkurilla, kulmintakoneella ja särmällä. Ilmainsäiliön teline (kuva 8) pitää leikkauttaa laserilla reikien vuoksi.



Kuva 8. Telineen osa 2.

Nämä kaksi eri osaa (teline osa1 ja teline osa 2) liitetään toisiinsa M8 pultein ja mutterein, ja kokonaisuus sitoutuu yhteen täyttöaseman säiliöön pumpun alta M10 pulteilla ja muttereilla. Ilmainsäiliön korvakkeet kiinnitetään M8 pultein ja mutterein ja kun järjestelmä on putkitettu kokonaan, niin kokonaisuus on saatu yhdistettyä lopullisesti yhtenäiseksi kokonaisuudeksi (kuva 9).

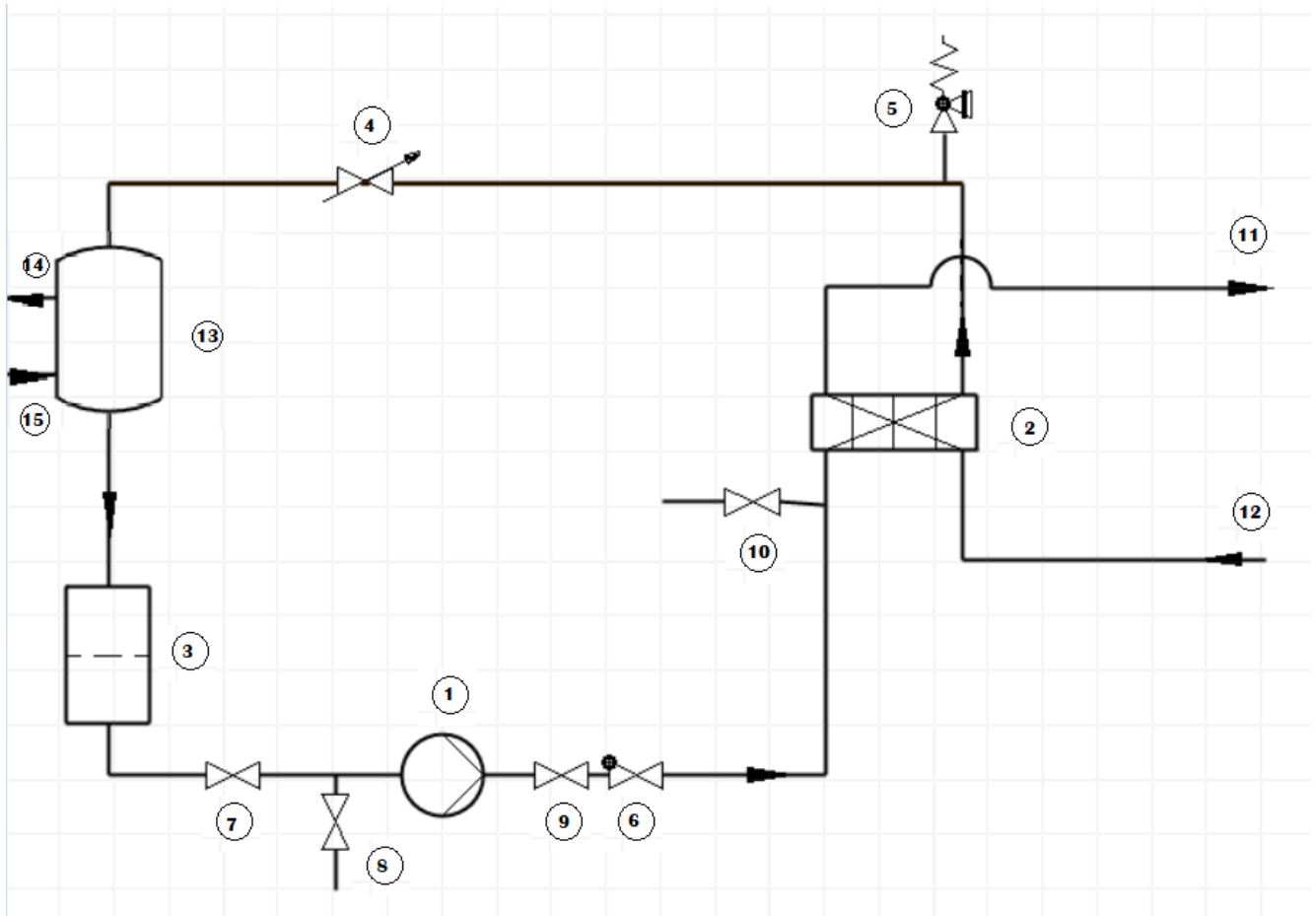


Kuva 9. Järjestelmän putkitussuunnitelma.

### 4.3 PI-kaavio

PI-kaavio eli putkitus- ja instrumentointikaavio on 2D-piirustus (kuva 10). PI-kaaviolla, tarkoitetaan piirustustyyppiä, joilla kuvataan prosessilaitteistojen toiminnallista kokonaiskuvaa. Kuvassa 10 esitetään esimerkki PI-kaaviosta. Esimerkki on yksinkertainen lämmitysjärjestelmä pumpulla ja lämmönvaihtimella, ja kaaviossa on eri komponentit merkitty positionumeroilla. Positiomerkinnot kuvassa 10 ovat: 1 pumppu, 2 lämmönvaihdin, 3 mutapussi, 4 linjasäätöventtiili, 5 varoventtiili, 6 takaisku, 7 käsiventtiili, 8 tyhjennysventtiili, 9 käsiventtiili, 10 tyhjennysventtiili, 11 lämmönvaihtimen menolinja, 12 lämmönvaihtimen tulo linja, 13 lämminvesivaraaja, 14 lämminvesivaraajan menolinja, 15 lämminvesivaraajan tulo linja. PI-kaavioille on standardisoitu instrumenttien symbolit eri standardeissa, esimerkiksi kemian- ja öljyteollisuuden standardit ovat SFS-EN ISO 10628-2 (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2013) ja kylmäjärjestelmät ja lämpöpumput standardit ovat SFS-EN 1861 (SFS, 1998). Instrumenttien symbolit vaihtelevat osittain eri standardien mukaan. PI-kaavion suunnittelussa oli valmiina pohja täyttöaseman kaaviosta, ja tämä muokattiin

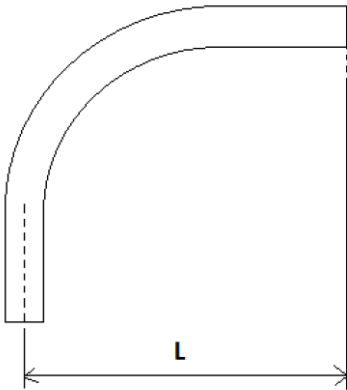
toimivammaksi halutuille ominaisuuksille alipaineilmanpoistimelle. Opinnäytetyön PI-kaavio on liitteenä, ja sitä ei julkaista lopullisessa versiossa Theseuksessa.



Kuva 10. PI-kaavio esimerkki.

#### 4.4 Putkisto

Putkisto tehdään tuumaisista (ulkohalkaisija 28 mm) sinkityistä Geberit Mapress puristusosista ja osiin sopivalla sinkkiputkella. Putkiston osalta haasteena on saada kaikki putkistoon tarvittavat osat mahtumaan pienillä välimatkoilla, kun käyräosat jatkavat niin sanotusti keskeltä keskelle (L) mittaa suhteellisen paljon 72 mm (kuva 11) verrattuna samankokoiseen hitsattavaan teräskäyräosaan, joka jatkaisi sitä 38 mm.



Kuva 11. Esimerkki käyrän mitoituksesta.

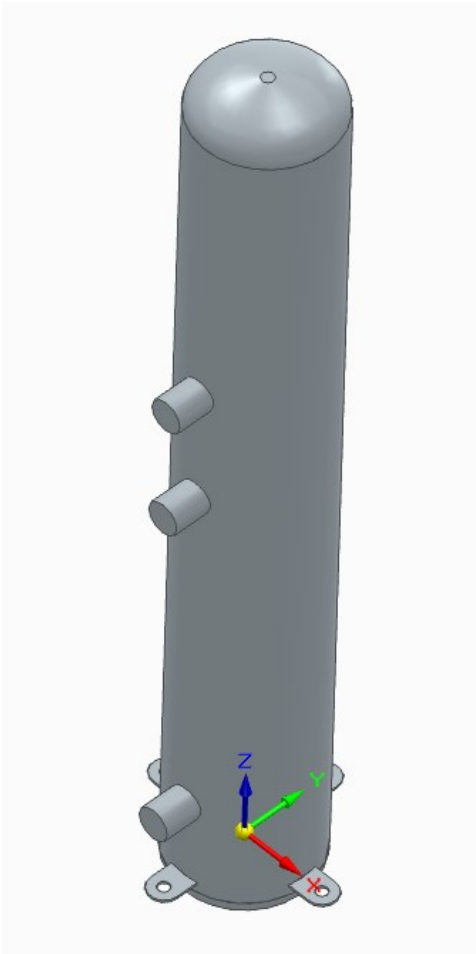
Suorat osat ovat myös pitkiä ja venttiilit vielä pidempiä kuin suorat osat. Osia ei voi myöskään laittaa ihan kiinni toisiinsa, jos kohtaavat päät ovat molemmat puristettavia, koska puristimen leuat vaativat jonkin verran kuitenkin tilaa, että pystytään puristamaan osat yhteen. Näissä siis tulee aina putkea väliin. Puristusosat on valittu sillä periaatteella, että niin sanotusti kuka vain pystyisi kokoamaan laitteiston. Jos tehtäisiin hitsattavilla osilla, niin siihen ei osaaminen kaikilla riitä. Ongelmana tulee olemaan osien iso lukumäärä suhteessa käytettävissä olevaan tilaan, koska paketti pyritään pitämään ulkomitoiltaan mahdollisimman pienenä.

## 4.5 Ilmainsäiliö

### 4.5.1 Osat

Ilmain säiliö valmistetaan omana tuotantona DN100 putkesta AISI 304 materiaalista. Ilmainsäiliö (kuva 12) muodostuu päätyhatsuista, DN25 lähdöistä sekä ½ tuuman tyhjennysventtiilistä ja ½ tuuman ilmausventtiilistä ja automaatti-ilmanpoistimesta, joita ei ole kuvassa (12) piirrettynä. Kaikki nämä edellä mainitut osat hitsataan kiinni toisiinsa, lukuun ottamatta automaatti ilmanpoistinta, joka liitetään kierteillä. Lisäksi ilmainsäiliöön hitsataan kiinnityskorvakkeet, joilla ilmainsäiliö kiinnitetään pultein telineeseen (kuva 8) kiinni osaksi kokonaisuutta (kuva 7).





Kuva 12. Ilmausäiliö

#### 4.5.2 Valmistus

Ensimmäinen työvaihe on sahata putki oikeaan mittaan. Sahattuun putkeen paikoitetaan reiät liitännöjää varten ja porataan ne sopivan kokoisiksi reiksi. Molempiin päätyhattuihin myös porataan reiät keskelle ilmaus- ja tyhjennysventtiileitä varten. Reikien teon jälkeen silloitetaan hitsein putki ja tuuman lähdöt, pääty hatut ja venttiilit yhteen omille paikoilleen. Tyhjennysventtiiliin ja päätyhatun väliin tulee käyrä ja lyhyt putki, jotta venttiili mahtuu olemaan ja toimimaan säiliön alla. Tarkistetaan että kaikki ovat suorassa ja oikeilla paikoilla. Kun ollaan varmoja, että kaikki on oikein, putki ja liitos osat hitsataan TIG-hitsauksena, yrityksen hitsausohjeen (WPS) mukaisesti. Kun kaikki muut osat ovat hitsattuina kiinni toisiinsa, paikoitetaan vielä telineen kiinnitys korvakkeita neljä kappaletta säiliöön. Korvakkeet hitsataan alempaan päätyhattuosaan, jotta säiliön alla oleva tyhjennys venttiili mahtuu vielä olemaan paikoillaan osumatta lattiaan. Korvakkeet paikoitetaan tasajaolla niin, että

yksi korvake on saman suuntaisesti kuin DN25 lähdöt säiliön kyljessä, tämän jälkeen hitsataan ne kiinni ilmeansäiliöön.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Teline, säiliö ja pumppu

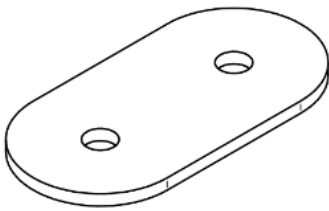
Täyttöaseman osuudelta kaikki osat sopivat keskenään suunnitellusti (kuva 13).



Kuva 13. Säiliö, telineosat ja pumppu kokoon pantuina.

Telineen osa 1 sopi Cipax-säiliön ympärille niin kuin pitikin, ja pumpun reiät olivat kohdallaan niin, ettei pumpun takaosa tule säiliö linjan ylitse. Telineen osa 2 puolestaan istui omalle paikalleen niin kuin se oli suunniteltukin, ja tämä pystyttiin liittämään pultein

telineen osaan 1. Molemmat teline osat leikattiinkin laserilla, jolloin samalla tuli kiinnitysreiät telineen osa 1, eikä niitä tarvinnut manuaalisesti tehdä kuten ennakkoon oli suunniteltu, jos osa tehdään vain levyleikkurilla ja kulmintakoneella. Samalla kun osat leikkautettiin, tilattiin myös kolme kappaletta pieniä kiinnityspaloja (kuva 14), joilla olisi voinut mahdollisesti jäykistää rakennetta kiinnittämällä ne itseporautuvilla ruuveilla telineosan 1 kulmiin, mutta tälle ei nähty tarvetta.



Kuva 14. Sinkitty kiinnike.

## 5.2 Ilmainsäiliö

Ilmainsäiliön valmistuksessa ei ilmennyt isompia ongelmia. Kiinnityskorvakkeet olivat liian pitkät johtuen yksinkertaisesti laskuvirheestä, mutta ne olivat helposti muokattavissa sopivan mittaisiksi, muutoin ne olivat oikean muotoiset, mitattaiset ja sopivat muokkauksen jälkeen paikalleen (kuva 15).



Kuva 15. Ilmeansäiliön ja telineen osa 2 kiinnitys.

Ensimmäinen prototyyppi valmistettiin ilman että, säiliön sisälle tulee mitään rikkomaan nesteen virtausta, ja ensimmäisessä versiossa oli tarkoitus nähdä, kuinka kaikki osat sopivat paikalleen ja onko putkisto mahdollista tehdä niin kuin kaaviossa ja ennakkosuunnitelmissa oli.

### 5.3 Yhdistelmä

Täyttöasema alipaineilmanpoistimella toteutettiin suunnitelman mukaan yhdellä pumpulla. Nyt tällä laitteella pitäisi pystyä poistamaan ilmaa nestekierrosta jatkuvasti, sillä pystytään lisäämään nestettä täyttösäiliöstä järjestelmään, kierrättää säiliön nestettä ja samalla pumpulla on nyt mahdollista täyttää säiliö ulkoisesta lähteestä ja pumppuhan soveltuisi nestejärjestelmän tyhjentämiseenkin. Kaikki osat, jotka oli suunniteltu, sopivat samaan pakettiin hieman kuitenkin kasvattaen järjestelmän ulkomittoja (liite 2).

## 6 YHTEENVETO JA POHDINTA

### 6.1 Työn eteneminen

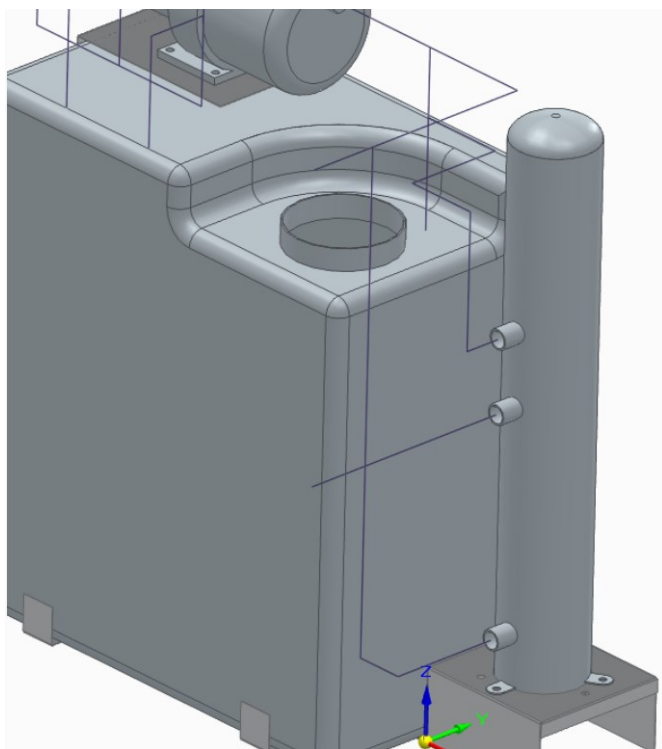
Työ eteni likimain suunnitellusti. Ensimmäisenä toteutettiin PI-kaavio, tämän jälkeen 3D mallinettiin Solid Edge ohjelmalla säiliöt ja pumppu. Pumpusta vain tärkeimmät osuudet mallinnettiin, kuten lähdöt ja kiinnitys reikien kohdat. Kun oli tiedossa säiliöiden mitat ja pumpun mitat, suunniteltiin kiinnitykset näille. Raamit komponenttien sijoittelulle olivat selkeät, ja ne eivät voi viedä nestesäiliön viemää tilaa paljoakaan isompaa tilaa lattiapinta-alasta eikä korkeuttakaan voi kasvattaa, jolloin päädyttiin ratkaisuun, että ilmeansäiliö tulee nestesäiliön eteen. Putkistojen reittejä suunniteltiin suuntaa antaviksi, eikä tarkkoja mittakuvia putkistoista tehty, koska oli jo alkujaankin epäily, sopivatko kaikki putkiston osat mittojen puolesta paikoilleen. Kun tiedettiin, mitä pitäisi fyysisesti tehdä, alettiin tutkimaan teoriaa, mikä on tämän työn toimintaperiaate ja kuinka tavoitteeseen päästäisiin. Teorian tutkimiseen kului ennalta ajateltua enemmän aikaa, ja teoriaosuus ei ollut valmis vielä, kun työtä lähdettiin fyysisesti toteuttamaan. Työn varsinainen fyysinen toteutus tehtiin Suomen Tekojää Oy:n tuotantotiloissa. Täyttöasema alipaineilmanpoistimella yhdellä pumpulla pystyttiin toteuttamaan. Teoriakin saatiin lopulta valmiiksi.

### 6.2 Pohdinta

Kuten jo luvussa 4.4 pohdittiin, haasteena tulee olemaan saada kaikki komponentit ja osat sopimaan pieneen tilaan, ja tämä olikin todellinen haaste. Pumpun sivulla olevat putket sopivat olemaan aika hyvin, ainoastaan yhden venttiilin kahva meni hieman säiliölinjan ulkopuolelle. Haaste tuli pumpun imupuolen putkituksesta. Pieneen tilaan piti saada mahtumaan kaksi venttiiliä ja kaksi T-haaraa samaan putkistoon niin, että nestesäiliön korkki on vielä käytettävissä ja imuputken linja ei koskaan käy korkeammalla kuin pumpun imuliitäntä on, sekä toisesta T-haarasta piti saada imuputki säiliön sisälle (kuva 16).



Kuva 16. Pumpun imu puolen putkitus.



Kuva 17. Suunnitelma, putki lähdöt sivulle päin.

Kun vertaillaan suunnitelma kuvia (kuva 9 ja 17), jonka jälkeen katsotaan toteutunutta kuvaa (liite 2 ja kuva 16), pystytään toteamaan, että putkitus ei mennyt niin kuin alun perin oli suunniteltu. Tästä syystä myös osia piti hakea enemmän kuin alkuun oli suunniteltu. Putkiston puristusosien vuoksi olisi suositeltavaa tehdä putkisto seuraavassa versiossa hitsaamalla teräsosista, koska hitsausosien viemät pituudet ovat huomattavasti lyhyemmät kuin puristusosien. Tällöin putkiston komponentit olisi mahdollista asentaa tiiviimmin, ja

vaikka kustannuksiin ei olla otettu kantaa, luultavasti hitsausosilla ja hitsaamalla tulisi edullisemmaksi tehdä kyseinen laitepaketti. Opinnäytetyön tuloksiin ei saatu tietoa siitä, toimiiko laite vai ei, koska aika loppui kesken opinnäytetyötä tehdessä ja laitetta ei olla vielä testattu käytännössä. Teorian löytäminen oli todella haastavaa, aihe tuntuu olevan vähäisesti tutkittu ja kirjoitettu, vaikka tiedostetaankin että, nestekiertojärjestelmissä jäänöskaasu aiheuttaa ongelmia. Itse opinnäytetyön tekeminen opetti paljon tiedon etsimistä, ja sitä luultavammin tullaan tulevaisuudessakin tarvitsemaan.



## LÄHTEET

- Akvaattisen patobiologian laboratorio. (10.5.2006). *Happi*. Åbo Akademi. Haettu 14.1.2024, <https://web.abo.fi/instut/fisk/Fin/Miljo/o2.htm>
- Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H., & Pohjakallio, M. (2008). *Tekniikan kemia* (10. uudistettu painos). Edita.
- Cipax. (i.a.). *Propyleeniglykoli*. <https://cipax.com/fi/kayttotarkoitus/sailioiden-ja-astioiden-kemiallinen-kestavyys/propyleeniglykoli>
- Hautala, M., & Peltonen, H. (2020). *Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1* (12. painos). Lahden Teho-Opetus.
- Hulkkonen, V. (2005). *Tyhjiötekniikan perusteet* (FLUID klinikka No 12). FLUID Finland. <https://www.salhydro.fi/files/PDF/15.tyhjiotekniikan-perusteet.pdf>
- Issaxon. (i.a.). *ViraVent ilmanpoistin*. Haettu 6.1.2024, <https://www.issaxon.fi/viravent-ilmanerotin-messinkia-vaakaputkeen>
- Kärkkäinen, A. (2010). *Gasfri påfyllning av värme- och kylsystem samt injustering av radiatorsystem* (TKK Dissertations 236) [Väitöskirja, Aalto yliopisto]. Aaltodoc. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/54502e70-ac43-4df9-b3fe-570c61a37c1f/content>
- Laakso, H. (18.10.2007). *PI-piirrosmerkkejä*. Peda.net. <https://heikkilaakso.com/opetus/pedanet/hak/aut/mu/prs/pii/pi.html>
- Parviainen, J. (2020). *Ilma suljetussa lämmitysverkostossa* [AMK-opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. Theseus. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336807/Parviainen\\_Johanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336807/Parviainen_Johanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (1998). *Kylmäjärjestelmät ja lämpöpumput. Järjestelmän virtauskaaviot ja putki- ja instrumentointikaaviot. Asettelu ja merkit* (SFS-EN 1861).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2013). *Diagrams for the chemical and petrochemical industry. Part2: Graphical symbols* (SFS-EN ISO 10628-2).
- Suomen Tekojää. (i.a.). *Kylmää, kuumaa tai molempia*. <https://www.tekojaa.fi/>
- Suvanto, K. (2010). *Tekniikan fysiikka 1* (1.–4. painos). Edita.

Tekno-innovaatio. (i.a.). *Hapeton täyttö*. <https://ti.fi/fi-fi/hapeton-taytto/teoriaa/20/>

Työterveyslaitos. (2014). *Propyleeniglykoli* (ICSC 0321).  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0321&p\\_version=2&p\\_lang=fi](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0321&p_version=2&p_lang=fi)

Työterveyslaitos. (5.8.2022). *Etyleeniglykoli*. <https://ova.ttl.fi/etyleeniglykoli>

Viitaniemen koulu. (i.a.). *Veden kiehumispiste paineen funktiona*.  
<https://peda.net/jyvaskyla/viitaniemenkoulu/oppiaineet/fysiikka/paulin-ryhm%C3%A4t/9d/29-4>