

Timo Yli-Peltola

Keskitetyn tyhjiöjärjestelmän kartoitus

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Timo Yli-Peltola

Työn nimi: Keskitetyn tyhjiöjärjestelmän kartoitus

Ohjaaja: Jukka Pajula

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 38

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Atria-Chick Oy, joka on osa Atria-konsernia ja sijaitsee Nurmon toimipisteessä. Atria on kasvava ja kansainvälinen elintarvikealan yritys.

Työn taustana on uuden pakkauskonelinjaston asentaminen Atria-Chickin pakkaamon tiloihin, jossa käytetään keskitettyä tyhjiölinjaa. Työn tavoitteena ovat keskitetyn tyhjiölinjan tyhjiöpumppujen kapasiteetin ja niiden putkiston riittävyyden varmistaminen uuden linjaston asennuksen jälkeen. Pakkauskone käyttää tyhjiötä tuotekuppien muovauksessa ja niiden saumauksessa. Lisäksi linjastoon kuuluu laatikointirobotti, joka käyttää tyhjiötä nostellessa valmiita tuotteita niille sopiviin kuljetuslaattikkoihin.

Työn tuloksena saatiin varmistettua keskitetyn tyhjiöjärjestelmän riittävyys uuden pakkauskonelinjaston jälkeen. Saaduista tuloksista voitiin päätellä myöskin järjestelmän heikoin kohta.

Avainsanat: tyhjiötekniikka, pakkauskoneet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Timo Yli-Peltola

Title of thesis: Centralized vacuum system charting

Supervisor: Jukka Pajula

Year: 2017

Number of pages: 38

Number of appendices: 0

The thesis was assigned by Atria-Chick Oy, which is a part of Atria-group, located in Nurmo. Atria is a growing international food company.

The background for the work was the installation of a new packaging machine line in Atria-Chick packing department, which would use centralized vacuum system. The priority in the work was to ensure the capacity and adequacy of the piping in the vacuum pumps of the centralized vacuum pumps, when the new packaging machine line would be installed.

The packaging machines use vacuum for molding product cups, and grouting them. The production line also includes a packaging robot, which uses vacuum for lifting products inboxes.

The results of the project ensured the adequacy of centralized vacuum system. Likewise, the obtained results denoted the weakest point of the system.

Keywords: vacuum technology, packaging machines

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tausta.....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne.....	8
1.4 Yritysesittely.....	8
2 TYHJIÖTEKNIikka.....	10
2.1 Jäännöskaasu.....	11
2.2 Kaasun virtaus.....	12
2.3 Höyry ja neste tyhjiössä.....	13
2.4 Käytetyt yksiköt tyhjiössä.....	14
2.5 Tyhjiötekniikan sovellutuksia.....	14
2.6 Historia.....	16
2.7 Tyhjiöpumput.....	16
2.7.1 Kiertosiipipumppu.....	16
2.7.2 Kiertomäntäpumppu.....	18
2.7.3 Trokoidipumppu.....	18
2.7.4 Vierintäpumppu.....	19
2.7.5 Nesterengaspumppu.....	21
3 KESKITETTY TYHJIÖJÄRJESTELMÄ.....	23
3.1 Pakkauskonelinjastot.....	25
3.2 Tyhjiön käyttö pakkauskonelinjastossa.....	26
4 TYHJIÖ LASKENTAA.....	27
4.1 Saumaustyökalulle menevä keskitetty tyhjiöjärjestelmä.....	27
4.1.1 Tyhjiöpumput.....	27
4.1.2 Putkisto.....	30
4.2 Roboteille ja muovauspäähän menevä keskitetty tyhjiöjärjestelmä.....	31

4.2.1 Tyhjiöpumput	31
4.2.2 Putkisto	33
5 TULOKSIEN ANALYSOINTI	35
5.1 Saumaustyökalun keskitetty tyhjiöjärjestelmä	35
5.2 Robottien ja muovauspään keskitetty tyhjiöjärjestelmä	36
6 POHDINTA JA YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

No table of figures entries found.

Kuvio 1. Painealueet (Fluid Finland 2/2005).	10
Kuvio 2. Ilmanpaineen vaihtelu eri korkeuksilla (Karjalainen 2016a).	11
Kuvio 3. Kaasuvirtaukset eri virtaustiloissa. A) Laminaarinenvirtaus B) Turbulenttinen virtaus C) Molekyyli virtaus (Fluid Finland 2/2005).	13
Kuvio 4. Nestettä tyhjiökammiossa (Fluid Finland 2/2005).	13
Kuvio 5. Tyhjiötekniikan käyttökohteita (Fluid Finland 2/2005).	15
Kuvio 6. Kaksiasteinen siipipumppu (Fluid Finland 2/2006).	17
Kuvio 7. Kaksisiipinen kiertosiipipumppu (Fluid Finland 2/2006).	17
Kuvio 8. Kiertomäntäpumppu (Fluid Finland 2/2006).	18
Kuvio 9. Trokoidipumpun toimintaperiaate (Fluid Finland 2/2006).	19
Kuvio 10. A) kiertosiipipumppu 60m ³ /h ja vierintäpumppu 60m ³ /h (kuljetusmoodi) B) kiertosiipipumppu 60 m ³ /h yksinään C) kiertosiipipumppu 100m ³ /h ja vierintäpumppu 500m ³ /h (puristusmoodi) D) kiertosiipipumppu 100m ³ /h yksinään (Fluid Finland 2/2006).	20
Kuvio 11. Vierintäpumpun eli rootsipumpun toimintaperiaate (Fluid Finland 2/2006).	21
Kuvio 12. Nesterengaspumpun toimintaperiaate (Fluid Finland 2/2006).	22
Kuvio 13. Periaatepiirros järjestelmistä. 1. Pelkkä tyhjiöpumppu 2. Yksiputkijärjestelmä 3. Kaksiputkijärjestelmä (Karjalainen 2016b).	23
Kuvio 14. Syvävetokoneen toimintaperiaate. 1) Kalvorulla 2) Muovauspää 3) Tuotekuppi 4) Tuote tuotekupissa 5) Yläkalvo 6) Saumauspää 7) Etiköijä 8) Leikkuri 9) Valmis tuote (Karjalainen 2016b).	25

Kuvio 15. Tilavuusvirran nousu [m³/s] per pakkauskone 35

Taulukko 1. Tyhjiön suuruus prosentteina esitettynä (Karjalainen 2016a)..... 14

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö tehtiin Atria-Chickille. Pakkaamoon tulee uusi pakkauskonelinjasto, joka käyttää keskitettyä tyhjiölinjaa. Pakkauskone käyttää tyhjiötä rasioiden muovaukseen ja niiden saumaukseen. Tämän lisäksi pakkauskonelinjastoon kuuluu laatikointirobotti, joka käyttää tyhjiötä valmiiden tuotteiden nostamiseen.

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää keskitetyn tyhjiölinjan tyhjiön tuotto ja tarvittavan tuoton selvittäminen uuden pakkauskonelinjaston myötä. Jos tyhjiön tuoton tarve on suurempi kuin tämänhetkinen tuotto, on tällöin tarve tehdä ehdotus Atria-Chickille tyhjiön tuoton lisäämisestä.

1.3 Työn rakenne

Työn alussa kerrotaan toimeksiantajana toimivasta yrityksestä. Luvussa kaksi kerrotaan tyhjiöstä yleisesti, kuten sen käyttökohteista eri painealueilla ja tyhjiötekniikasta, kuten tyhjiöpumpuista. Luvussa kolme perehdytään keskitettyyn tyhjiöjärjestelmään ja sen käyttöön pakkauskonelinjastoissa. Luvussa neljä on keskitetyn tyhjiöjärjestelmän riittävyden varmistamista laskennalla. Luvussa viisi analysoidaan tyhjiölaskennasta saatuja tuloksia. Luvussa kuusi on pohdinta ja yhteenveto.

1.4 Yritysesittely

Tämä opinnäytetyö tehtiin Atria-Chickille, joka on osa Atria-konsernia. Atria-Chick on osa Nurmossa sijaitsevaa tuotantolaitosta. Atria on kasvava ja kansainvälinen, suomalainen elintarvikeyritys. Liikevaihtoa vuonna 2015 oli noin 1340 miljoonaa euroa ja Atria työllisti noin 4300 henkilöä. Atria-konserni jakautuu neljään liiketoiminta-

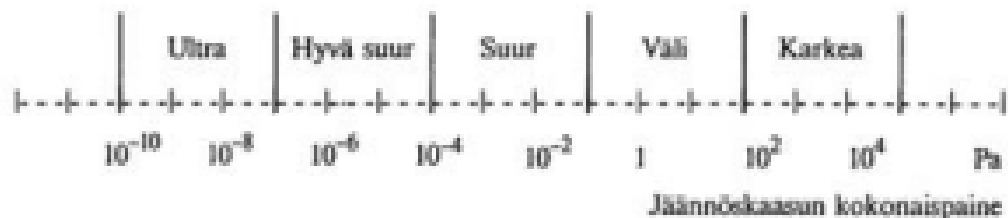
alueeseen, jotka ovat Atria Suomi, Atria Skandinavia, Atria Venäjä ja Atria Baltia. Atria Suomi on näistä liiketoiminta-alueista merkittävin. Atria-konserniin kuuluu 18 tuotantolaitosta, joista Atria Suomeen kuuluu 8, Atria Skandinaviaan 8, Atria Baltiaan 1 ja Atria Venäjään 1. (Atria Oyj 2016.)

Atria on saanut alkunsa vuonna 1903, jolloin talonpojat perustivat osuuskunta-aitteen innoittaman Brono Ilmoniemen johdolla Kuopion Karjamyöntiosuuskunta (KKO) -nimisen yrityksen. Näiden perustamista, osuustoiminnallisista karjamyönti- ja teurastamoyrityksistä syntyi moninaisten vaiheiden jälkeen Atria-niminen lihateollisuusyritys vuonna 1994. (Atria Oyj 2016.)

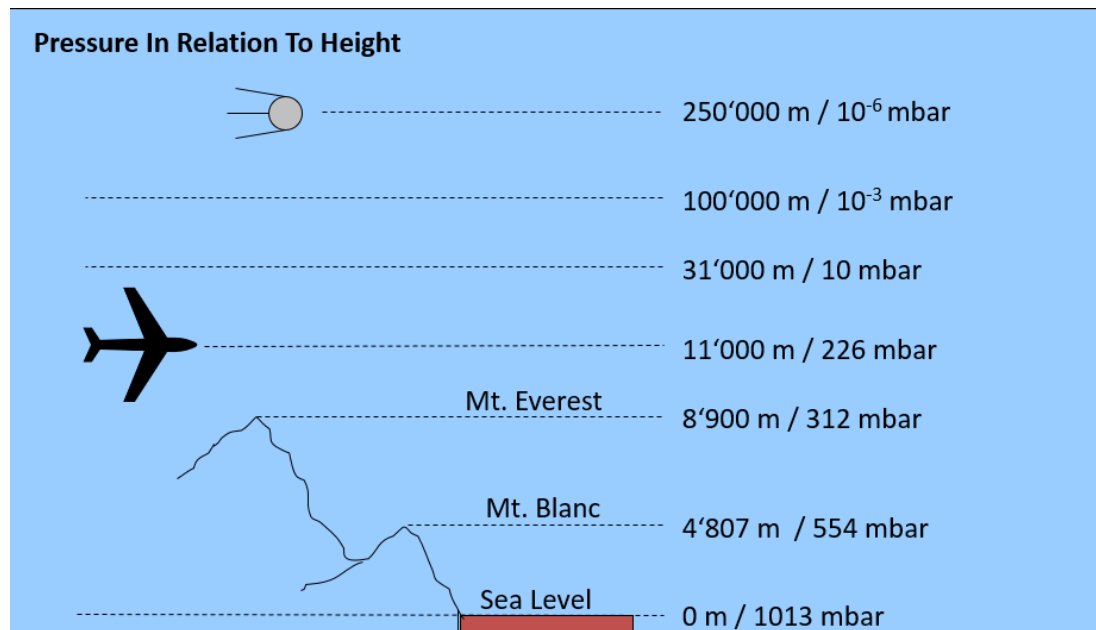
2 TYHJIÖTEKNIikka

Tyhjiöllä tarkoitetaan tilaa, josta on poistettu kaasut ja höyryt. Kun puhutaan absoluuttisesta tyhjiöstä, tarkoitetaan silloin tilavuutta, jossa ei ole ainetta. (Fontell ym. 1986, 15.)

Tyhjiön aikaansaamiseksi maapallon ilmakehässä tarvitaan suljettu tila, kuten kammi, joka on ilmatiivis sen ulkopuolella olevaan ilmanpaineeseen. Tyhjiö luodaan poistamalla suljetusta tilasta kaasut ja höyryt pois, eli ainetta imetään pois, jolloin sen tilavuuden paine laskee. Kaasujen ja höyryjen poistaminen suljetusta tilasta on aluksi melko helppoa, mutta mitä vähemmän niitä on jäljellä, sitä vaikeammaksi ja kalliimmaksi jäännöserän poistaminen muodostuu. Tätä jäännöserää kutsutaan yleisesti jäännöskaasuksi, olipa sen koostumus mikä tahansa. Käytännössä parhainkin tyhjiö sisältää jäännöskaasua, eli tyhjiössäkään paine ei voi laskea absoluuttiseen 0 millibaarin. Tyhjiössä painevaihtelu voi olla korkeintaan 1013 millibaaaria, joka on meren tasossa oleva ilmanpaine. Kuvio 1 havainnollistaa eri painealueita ja kuvio 2 kuvastaa ilmanpainetta, jossa näkyy ilmanpaineen vaihtelu eri korkeuksilla meren tasosta avaruuteen saakka. (Fontell ym. 1986, 15-16.)



Kuvio 1. Painealueet (Fluid Finland 2/2005).



Kuvio 2. Ilmanpaineen vaihtelu eri korkeuksilla (Karjalainen 2016a).

2.1 Jäännöskaasu

Kun tyhjiötä aletaan luoda tyhjiökammioon, on se yleisesti täynnä huoneilmaa. Tätä huoneilmaa on tyhjiökammion tilavuudessa sekä sen kaikissa sisäpinnoissa tarttuneena. Kun tyhjiökammioista aletaan pumpata kaasuja ja höyryjä pois, saadaan niitä aluksi poistettua helposti, mutta mitä pienemmäksi tyhjiökammion paine laskee, sitä haastavammaksi ja kalliimmaksi jäännöskaasun poistaminen tulee. (Fluid Finland 2/2005.)

Jokainen tyhjiökammio vuotaa jonkin verran, joten käytännössä tyhjiökammioon pääsee kaasuja ja höyryjä sen ulkopuolelta. Myös rakennusmateriaaleista tai tyhjiökammion rakentamisesta ja puhdistamisesta jääneistä epäpuhtauksista voi haihtua höyryjä tyhjiöön. (Fluid Finland 2/2005.)

Kun tyhjiökammioon vuotaa kaasuja ja höyryjä ulkopuolelta yhtä nopeasti mitä tyhjiöpumppu pystyy niitä poistamaan, syntyy tällöin tyhjiökammioon tasapaino. Tämä johtuu siitä, että tyhjiöpumppu ei pysty poistamaan jäännöskaasua tyhjiökammioista

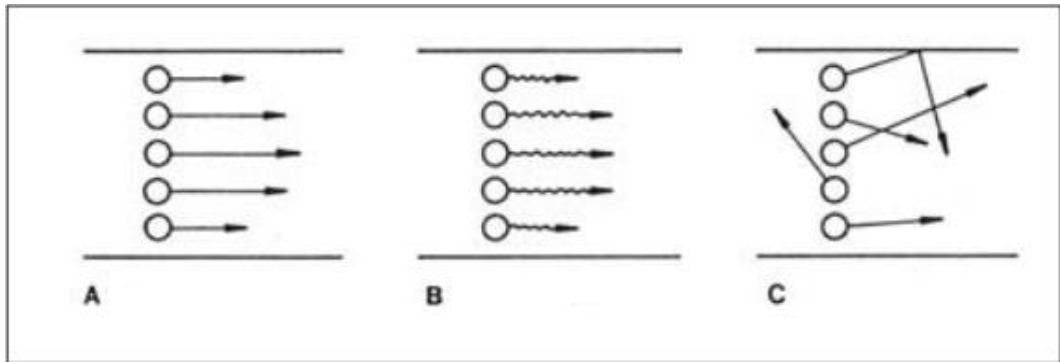
nopeammin, kuin mitä sitä sinne vuotaa, joten tyhjiöpumppu ei pysty aikaansaamaan suurempaa tyhjiötä. Tällöin se pystyy vain ylläpitämään saavutettua tyhjiötä. (Fluid Finland 2/2005.)

Jäännöskaasulla on kolme tilaa, jotka ovat viskoottinen tila, välitila ja molekyyli-tila. Jäännöskaasun tila riippuu siitä, miten pitkä kaasumolekyylien keskimääräinen törmäysväli on tyhjiökammion seinämien väliseen etäisyyteen nähden. Viskoottisessa tilassa oleva jäännöskaasu on yleensä karkeatyhjiöalueella. Sen jäännöskaasun tiheys on niin suuri, että molekyylit törmäilevät paljon useammin toisiinsa kuin tyhjiökammion seinämiin. Välitilassa oleva jäännöskaasu on yleensä välityhjiön alueilla. Välitila edustaa siirtymävaihetta viskoottisen tilan ja molekyyli-tilan välillä. Sen leveys on pari kertalukua. Molekyyli-tilassa oleva jäännöskaasu on ultratyhjiön, hyvän suurtyhjiön ja useasti myös suurtyhjiön alueilla. Molekyyli-tilassa olevan jäännöskaasun tiheys on niin harvaa, että molekyylit törmäilevät tyhjiökammion seinämiin useammin, kuin mitä ne törmäilevät toisiinsa. Suurin osa molekyyleistä onkin kiinnittynyt tyhjiökammion sisäpintoihin. (Fluid Finland 2/2005.)

Jäännöskaasun tilaan vaikuttaa myös tyhjiökammion ominaisuudet siten, että mitä kauempana tyhjiökammion seinämät ovat toisistaan, sitä hitaammin jäännöskaasun tilan siirtyminen viskoottisesta tilasta molekyyli-tilaan alkaa. (Fluid Finland 2/2005.)

2.2 Kaasun virtaus

Tyhjiökammioista poistettaessa kaasuja ja höyryjä, muuttuu jäännöskaasun tila viskoottisen tilan ja molekyyli-tilan välillä. Vastaavasti kaasun virtaus muuttuu viskoottisesta virtauksesta välitilamuotoisen virtauksen kautta molekyyli-tilan virtaukseksi. Viskoottinen virtaus voi olla laminaarista eli suoraviivaista tai turbulenttista eli pyörteistä riippuen virtausnopeudesta. Pienillä virtausnopeuksilla virtaus on laminaarista ja suurilla turbulenttista. Molekyyli-tilan virtauksissa kaasumolekyylien liike on yksilöllistä ja molekyylien väliset törmäykset ovat harvinaisia. Kuviossa 3 on esitetty kaasumolekyylien liike eri virtaustiloissa. (Fluid Finland 2/2005.)



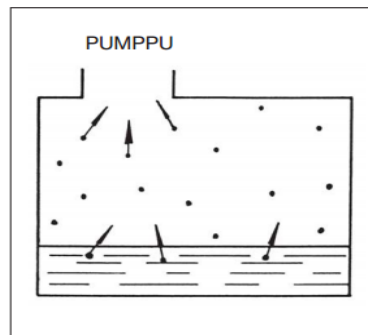
Kuvio 3. Kaasuvirtaukset eri virtaustiloissa. A) Laminaarinenvirtaus B) Turbulenttinen virtaus C) Molekyylivirtaus (Fluid Finland 2/2005).

2.3 Höyry ja neste tyhjiössä

Höyryn ja kaasun ero tyhjiössä on siinä, että kaasumolekyylit tarttuvat vain yhteen kerrokseen tyhjiökammion seinämille, kun taas höyrymolekyylit pystyvät tarttumaan miten moneksi kerrokseksi tahansa. Tämän lisäksi höyry voi tiivistyä nesteeksi tyhjiössä. (Fluid Finland 2/2005.)

Jos tyhjiössä on nestettä, syntyy tasapainotila, jossa höyrystä nesteeseen ja nesteestä höyryksi aikayksikössä siirtyvien molekyyliden lukumäärät ovat yhtä suuret. Tällaista tasapainotilaa vastaavaa painetta kutsutaan nesteen höyryn paineeksi kyseisessä lämpötilassa. (Fluid Finland 2/2005.)

Jos tyhjiökammiossa on nestettä ja sieltä poistetaan jatkuvasti kaasuja ja höyryjä, syntyy jatkuvuustila, koska nesteestä höyryyn aikayksikössä siirtyvien molekyyliden lukumäärä on yhtä suuri kuin tyhjiöpumppu pystyy niitä poistamaan. Tämä siis tarkoittaa sitä, että tyhjiökammiossa paine pysyy likimain samana, niin kauan kuin siellä on nestettä. Tätä tapahtumaa kuvastaa kuvio 4. (Fluid Finland 2/2005.)



Kuvio 4. Nestettä tyhjiökammiossa (Fluid Finland 2/2005).

Neste ei ole ainut materiaali, josta irtoaa molekyylejä tyhjiökammioon, vaan myös kiinteistä aineista voi irrota molekyylejä tyhjiökammioon. Tätä tapahtumaa kutsutaan höyrystymiseksi, eli sublimoitumiseksi. Tällä on yleensä vaikutusta vasta kun tyhjiön suuruus on suurtyhjiö tai ultratyhjiö. (Fluid Finland 2/2005.)

2.4 Käytetyt yksiköt tyhjiössä

Paineen yksikkönä käytetään yleisesti SI-järjestelmän mukaan pascalia, Pa (N/m^2). Kerrannaisyksikköjä ovat kilopascal, kPa ja megapascal, MPA. Pascalin lisäksi käytetään yksikköjä baari (bar) ja millibaari (mbar). Myös yksikköä torri (Torr) käytetään jossain tapauksissa. (Fluid Finland 2/2005.)

Tyhjiön paine voidaan myös esittää prosentteina ja tätä kuvastaa taulukko 1.

Taulukko 1. Tyhjiön suuruus prosentteina esitettynä (Karjalainen 2016a).

Tyhjiö %	Abs. paine (mbar, hPa)
0	1013
90	100
95	50
98	20
99	10
99,5	5
99,9	1

2.5 Tyhjiötekniikan sovellutuksia

Tyhjiötekniikkaa käytetään monissa eri käyttökohteissa kaikilla tyhjiön painealueilla ja niiden käyttösovellutukset eroavat toisistaan. Käyttösovellutukset voidaan luokitella joko eri painealueilla saavutettujen ilman fysikaalisten ominaisuuksien mukaan tai tavoitteena olevan käyttötarkoituksen mukaan. Kuviossa 5 on esitelty tyhjiötekniikan eri käyttökohteita. (Fluid Finland 2/2005.)

Kuviossa 5 esitetyt painealueet vastaavat kuviossa 1 painealueita siten, että

- alhainen tyhjiö vastaa karkeatyhjiötä
- keskinkertainen tyhjiö vastaa välityhjiötä
- korkeatyhjiö vastaa suunnilleen suurtyhjiötä
- erittäin korkea tyhjiö vastaa hyvää suurtyhjiötä ja sen lisäksi se sisältää myös ultratyhjiön ja hyvän ultratyhjiön. (Fluid Finland 2/2005.)

Painealue	Fysikaalinen tila	Tavoite	Käyttö, sovellus
	↑ alhainen paine	saavuttaa paineero	tartunta, nosto kuljetus (pneumaattinen, puhdistus, suodatus) muovaus
alhainen tyhjiö	↑ alhainen molekyyliitiheys	poistaa aktiivisia aineosia ilmasta	lamput (hehku, loisteputki, elektroniputki) sulatus, sintraus pakkaus
keskinkertainen tyhjiö	↕	poistaa absorboituneet tai liuennet kaasut vähentää energiansiirtoa	eristys, vuodon havaitseminen kuivaus, vedenpoisto, tiivistys jäähdytyskuivaus, kuivatislaus, kyllästys lämpöeristys sähköeristys tyhjiömikrovaaka avaruussimulointi
korkea tyhjiö	↑ suuri keskimäär. vapaa matka	välttää törmäyksiä	elektroniputket, katodiputket, tv, valokennot, valomonistimet, röntgen kiihdyttimet, massaspektrometrit, isotooppiseparaattorit elektronimikroskoopit elektronisuihkuhitsaus, kuumennus pinnoitus (terminen, reaktiivinen) höyrystys, katodipölynnys)
erittäin korkea tyhjiö	↑ pitkä kerroksenmuodostumisaika	puhdistaa pintoja	molekyyllitilaus kitka, adheesio, emissiotutkimukset materiaalien soveltuvuus avaruuskäyttöön

Kuvio 5. Tyhjiötekniikan käyttökohteita (Fluid Finland 2/2005).

2.6 Historia

Tyhjiön historia lasketaan alkavan vuodesta 1654, jolloin Otto Von Guericke havainnollisti tyhjiötä Magdeburgin puolipallojen avulla, mutta ensimmäiset teollisuuskäyttöön tarkoitetut tyhjiöpumput valmistuivat vuonna 1904. Tällöin A. Pfeiffer rakensi tyhjiöpumpun H.A Fleussin patentin mukaan. Näitä tyhjiöpumppuja käytettiin teollisuudessa mm. hehkulamppujen valmistuksessa. Ensimmäisillä tyhjiöpumpuilla pystyttiin saavuttamaan noin 0,03 Pa:n paine, kun nykyaikaisilla kaupallisilla tyhjiöpumpuilla pystytään saavuttamaan 10^{-10} Pa:n paine. (Fontell ym. 1986, 106.)

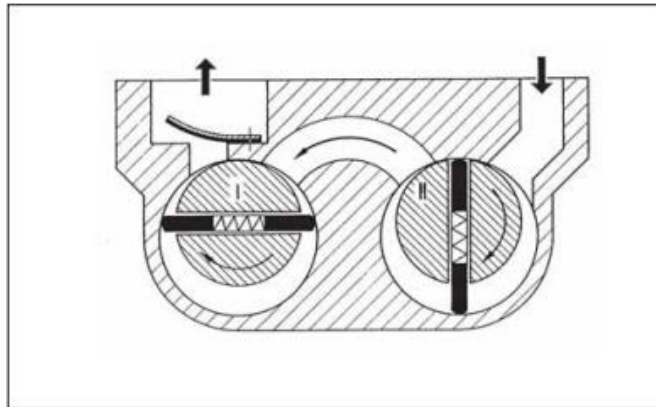
2.7 Tyhjiöpumput

Tyhjiöjärjestelmän tärkein komponentti on tyhjiöpumppu. Tyhjiöpumpulla poistetaan pumpattavasta tilavuudesta kaasufaasissa olevia atomeja ja molekyyliä. Pumppeja pyöritetään yleisesti sähkömoottoreilla. Tyhjiöpumput luokitellaan yleensä pumppausmekanismin mukaan, oli se sitten fysikaalinen tai kemiallinen ilmiö. Monet tyhjiöpumput käyttävät kuitenkin useampaa mekanismia hyväkseen pumppauksen aikana. Yleisimpiä luokkia ovat mekaaniset pumput, ajoainepumput ja turbomolekyyli-pumput. Mekaanisiin pumppuihin kuuluvat kiertosiipi-, kiertomäntä-, trokoidi-, nesterengas- ja vierintäpumput. Mekaaniset pumput muodostavat yleisimmän pumppuryhmän ja soveltuu suurten kaasumäärien pumppaukseen, silloin kun tavoiteltava loppupaine on vaatimaton. Ajoainepumpuista tärkeimmät ovat suihku- ja diffuusiopumput. Nämä pumput soveltuvat laajalle painealueelle karkeasta tyhjiöstä ultratyhjiöalueelle saakka, ja nämä pystyvät käsittelemään suuria kaasuvirtauksia. Turbomolekyyli-pumpuilla päästään normaalista ilmanpaineesta lähes ultratyhjiölle saakka, ja nämä ovat pumput muodostavat tavallaan mekaanisten pumppujen laajennuksen. (Fontell ym. 1986, 106-107.)

2.7.1 Kiertosiipipumppu

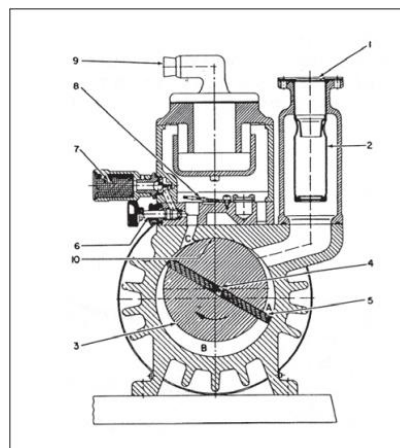
Kiertosiipipumppu on hyvin yleinen mekaaninen pumppu, ja tätä pumppua käytetään yleensä karkea- ja välityhjiön alueilla eli painealueella 0,1 Pa – 10^5 Pa. Pumpausnopeus näillä on yleensä 1-1000 m^3/h ja kierrosnopeudet ovat yleensä noin

1500 rpm. Näitä pumppuja on öljytiivistisiä ja kuivana toimivia. Öljyn tehtävänä näissä pumpussa on voitelu, mutta tämän lisäksi myös pumpun tiivistäminen, poistoventtiin alle jäävän hukkatilan täyttäminen ja jäähdytyksen parantaminen. Jotta tällä pumpulla saavutettaisiin alhaisempi loppupaine, voidaan pumput kytkeä sarjaan kaksiasteiseksi pumpuksi, jolloin saavutettava loppupaine voi olla jopa 0,01 Pa. Kaksiasteisen siipipumpun periaatetta kuvastaa kuvio 6. (Fluid Finland 2/2006.)



Kuvio 6. Kaksiasteinen siipipumppu (Fluid Finland 2/2006).

Kuviosta 7 ilmenee kiertosiipipumpun toimintaperiaate. Epäkeskeisesti laakeroitua roottoria (3) pyöritetään nuolen suuntaan, jolloin roottorissa olevat siivet liukuvat pesän seinämää pitkin ja samanaikaisesti ne liikkuvat edestakaisin roottorin urissa. Pumppu imee ilmaa imuaukon (1) ja suodattimen (2) kautta tyhjiötilasta, kun imukammion (A) tilavuus kasvaa, mikä aiheuttaa sen, että puristusammion (B) tilavuus pienenee. Pumput tekevät yhden kierroksen aikana siipien lukumäärän mukaisen määrän sekä imu- että puristusvaiheita. Siipien lukumäärä vaihtelee 2:sta 7:ään. Ilman poistuminen pumpusta tapahtuu poistoventtiin (8) kautta poistoaukkoon (9). (Fluid Finland 2/2006.)

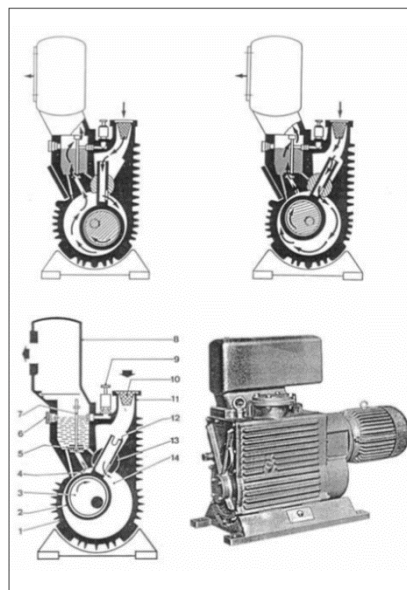


Kuvio 7. Kaksisiipinen kiertosiipipumppu (Fluid Finland 2/2006).

2.7.2 Kiertomäntäpumput

Kiertomäntäpumppuja käytetään yleensä suurten tilavuuksien pumppaukseen, joko yksin tai rootsipumppujen kanssa. Nämä pumput ovat pitkäikäisiä ja toimintavarmoja. Saavutettava loppupaine on 1,0 Pa ja kierrosnopeuden ovat yleensä 400-600 rpm:n välillä. Öljyn tehtävät ovat samat kuin kiertosiipipumpuissakin: voitelu, tiivistäminen, hukkatilan täyttäminen ja jäähdytys. (Fluid Finland 2/2006.)

Kiertomäntäpumpun toimintaperiaate selviää kuvioista 8. Kun pesän keskellä olevaa akselia pyöritetään, pitkänomainen kiertomäntä (2), johon on kiinnitetty ontto luisti (12), kiertää epäkeskon (3) vaikutuksesta pesässä. Tästä seuraa se, että imukammion (14) tilavuus suurenee ja puristusammion tilavuus pienenee. Tämä aiheuttaa sen, että pumppu imee imusuodattimen (10) ja luistiventtiilin (13) kautta ilmaa imukammioon ja samanaikaisesti epäkesko (3) puristaa puristusammion ilmaa ulos öljytiivisteen poistiventtiilin (5) kautta. (Fluid Finland 2/2006.)



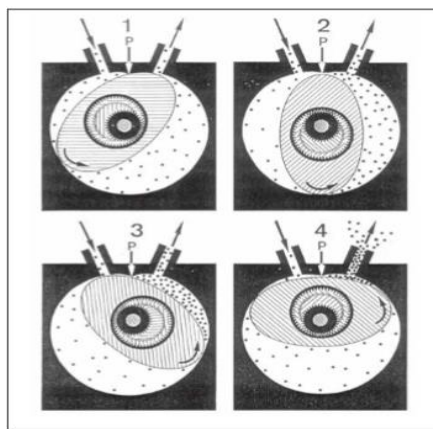
Kuvio 8. Kiertomäntäpumppu (Fluid Finland 2/2006).

2.7.3 Trokoidipumppu

Trokoidipumppuja käytetään raskaissa ja kuluttavissa teollisuussovellutuksissa, sillä ne ovat erittäin kestäviä. Nämä pumput ovat vain yksiasteisia ja saavutettava

loppupaine on vain 5 Pa. Pumppausnopeudet näillä on yleensä 400 - 1000 m³/h. (Fluid Finland 2/2006.)

Trokoidipumpun toimintaperiaate selviää kuvioista 9. Ellipsinmuotoinen mäntä ja tiivistyskohta P jakavat pesän kahteen osaan: imukammioon ja puristuskammioon. Kun pesässä olevaa akselia pyöritetään, hammaspyörän ja hammaskehän välityksellä pyörii myös ellipsinmuotoinen mäntä. Tästä aiheutuvasta männän pyörimisliikkeestä pumppu imee ilmaa imuaukosta imukammioon ja samalla puristaa ilmaa puristuskammioista poisto aukkoon. Trokoidipumppu tekee yhden kierroksen aikana kaksi imu- ja puristusvaihetta. (Fluid Finland 2/2006.)

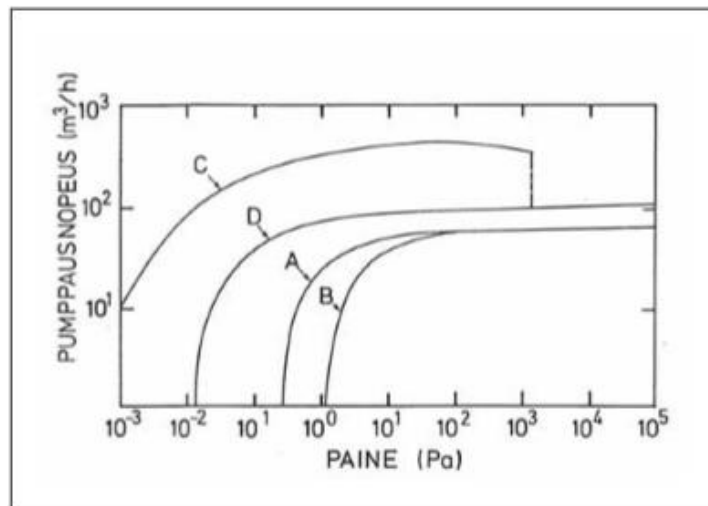


Kuvio 9. Trokoidipumpun toimintaperiaate (Fluid Finland 2/2006).

2.7.4 Vierintäpumput

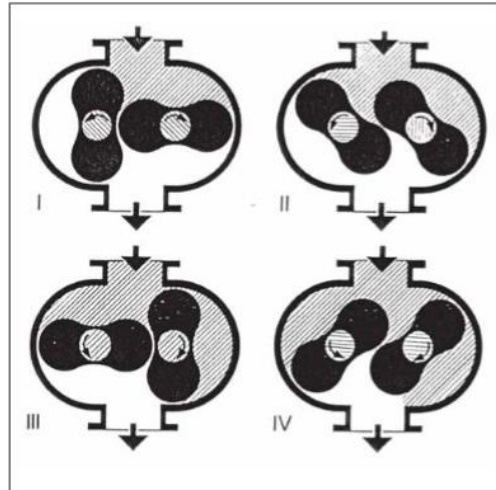
Vierintäpumput tunnetaan myös yleisesti nimellä rootsipumppuna ja näitä käytetään silloin, kun poistettava kaasu ei saa päästä kosketukseen öljyn tai muun voiteluaineen kanssa. Yleisimmät käyttökohteet löytyvätkin elintarvike- ja pakkausteollisuudesta. Näiden pumppujen kanssa käytetään yleensä esipumppua, kuten kiertosiipi- tai kiertömäntäpumppua, koska paine-ero pumpun yli saa olla korkeintaan 1–10 kPa pumpusta riippuen. Esipumppujen avulla saavutetaan joko parempi loppupaine tai suurempi pumppausnopeus. (Fluid Finland 2/2006.)

Vierintäpumppujen kanssa käytetään yleisesti esipumppua, kuten kiertosiipi- tai kiertömäntäpumppua, koska tällä yhdistelmällä saadaan taloudellisemmin suurempi pumppausnopeus. Tämä johtuu siitä, että pelkillä kiertosiipi- tai kiertömäntäpumpun kokoja suurentamalla ei pääse yhtä taloudellisesti samoihin pumppausnopeuksiin. Pumppuyhdistelmällä saavutettua etua kuvastaa kuvio 10, jossa on verrattuna yksittäisen kiertosiipipumpun ja pumppuyhdistelmien pumppausnopeuteen ja loppupaineeseen. Pumppuyhdistelmällä voidaan tavoitella joko parempaa loppupainetta tai pumppausnopeutta. Parempaa loppupainetta tavoitellessa pumppuyhdistelmällä kutsutaan kuljetusmoodiksi, jolloin esipumpun pumppausnopeus on yhtä suuri kuin vierintäpumpun. Jos taas tavoitteena on parempi pumppausnopeus, sitä kutsutaan puristusmoodiksi, jolloin esipumpun pumppausnopeus on noin kymmenesosa vierintäpumpun pumppausnopeudesta. (Fluid Finland 2/2006.)



Kuvio 10. A) kiertosiipipumppu 60m³/h ja vierintäpumppu 60m³/h (kuljetusmoodi) B) kiertosiipipumppu 60 m³/h yksinään C) kiertosiipipumppu 100m³/h ja vierintäpumppu 500m³/h (puristusmoodi) D) kiertosiipipumppu 100m³/h yksinään (Fluid Finland 2/2006).

Vierintäpumpun toimintaperiaate selviää kuviosta 11. Kuviossa olevat nuolet osoittavat ilman menosuunnan, eli imu- ja poistoaukon. Pumpun pesässä olevien roottorien pyöriessä toisiaan vastakkaisesti suuntiin pumppu imee ilmaa imuaukosta ja puristaa ilman seinämiä pitkin poistoaukkoon. Roottorit kulkevat hyvin lähellä toisiaan, sillä välystä niillä on korkeintaan noin 0,1 mm. (Fluid Finland 2/2006.)



Kuvio 11. Vierintäpumpun eli rootsipumpun toimintaperiaate (Fluid Finland 2/2006).

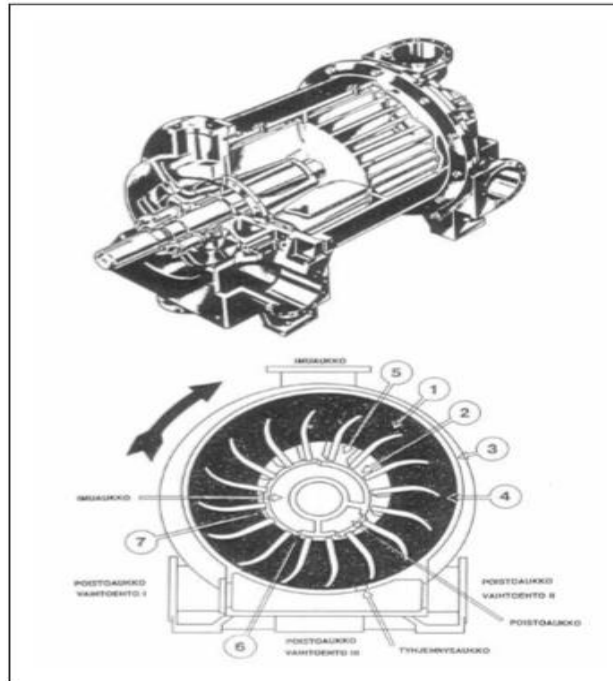
2.7.5 Nesterengaspumput

Nesterengaspumppuja käytetään pääasiassa suurten höyrymäärien poistamiseen, joita löytyy prosessi-, kemian- ja lääketieteellisyydestä, tyhjiökuivaus- ja haihdutusprosesseista sekä vedenkäsittelylaitoksilta. Näiden pumppujen suuri etu on siinä, että pumppausprosessi on puhdas. Näissä pumpuissa käytetään nesteitä jäähdytysaineina sekä estämään siipien väliin jäävien tyhjiötilojen välinen virtaus. Nesteinä käytetään yleisesti vettä, mutta kemianteollisuudessa nesteinä toimii pääasiassa rikkihappo tai kloroformi. Nestettä on tarpeen syöttää pumppuun jatkuvasti, sillä nesteen höyrynpaine kasvaa lämpötilan mukana ja tällä tavoin voidaan saada parempi loppupaine. (Fluid Finland 2/2006.)

Nesterengaspumppujen pumppausnopeudet vaihtelevat paljon, riippuen pumpun koosta ja sen pyörimisnopeudesta. Pumppausnopeudet vaihtelevat 10.000–25.000 m³/h. Saavutettava loppupaine riippuu käytettävästä nesteestä, mutta vettä käytettäessä saavutettava loppupaine on noin 4 kPa. Loppupainetta voidaan huomattavasti parantaa kytkemällä suihkupumppu imuaukkoon ja tämän imuaukkoon vierintäpumppu. Tällöin saavutettava loppupaine on noin 0,1 kPa. (Fluid Finland 2/2006.)

Nesterengaspumpun toimintaperiaate selviää kuvioista 12. Pumpun pesä on osaksi nesteellä täytetty, ja siinä on epäkeskisesti laakeroitu siipipyörä. Kun siipipyörä pyörii, pesässä oleva neste lentää keskipakovoiman vaikutuksesta pesän seinämää

vasten. Tämä aiheuttaa sen, että siipien väliin muodostuu siipipyörän keskiosan ympärille kuunsirpin muotoinen nesteestä vapaa tila. Tällöin imuvaiheen puolella olevien siipien välit suurenevät ja painevaiheen puolella olevat siipien välit pienevät. Tällöin pumppu imee kaasuja imuvaiheen aikana siipien väliin ja puristaa sen poistovaiheessa poistoaukkoon. (Fluid Finland 2/2006.)

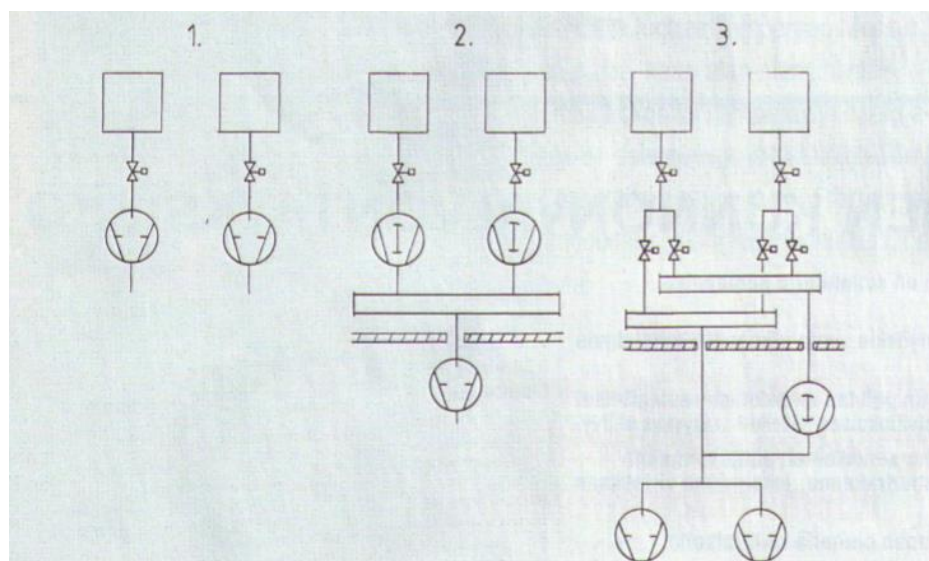


Kuvio 12. Nesterengaspumpun toimintaperiaate (Fluid Finland 2/2006).

3 KESKITETTY TYHJIÖJÄRJESTELMÄ

Keskitettyjä tyhjiöjärjestelmiä on monilla erilaisilla tuotantoaloilla, joissa tyhjiötä käytetään suuressa mittakaavassa, kuten Atria-Chickillä. Tyhjiöpakkaamisen suurimpia kohteita Suomessa on elintarvikkeiden pakkaus. Keskitetyllä tyhjiöjärjestelmällä tarkoitetaan lyhyesti sitä, että tyhjiöputkisto menee koneelta toiselle, sen sijaan, että jokaisella koneella olisi oma tyhjiöpumppu, jolla saavutetaan tarvittava loppupaine. (Karjalainen. 2016b.)

Keskitetyt tyhjiöjärjestelmät voivat erota toisistaan riippuen käyttökohteesta. Järjestelmät yleensä nimetään tyhjiöputkistojen lukumäärän mukaisesti, kuten yksi- tai kaksiputkijärjestelmäksi. Yksiputkijärjestelmässä käytetään nimensä mukaisesti yhtä tyhjiöputkea, josta haaroitetaan liitännät eri käyttökohteisiin. Tämä ratkaisu on helpoin ja tällaisia ratkaisuja löytyy esimerkiksi kirjapainosovellutuksista ja tupakanteollisuudesta. Atria-Chickillä käytetään myös yksiputkijärjestelmää, vaikkakin putkia on kaksi, mutta molemmissa putkissa on eritasoiset tyhjiöt. Syy siihen, minkä takia putkistoja täytyy olla kaksi eritasoiselle tyhjiölle, on se, että tyhjiötekniikassa ei ole niin sanottuja paineenalentimia, kuten paineilmatekniikassa. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää samaa putkistoa eritasoisille tyhjiöille, jos painetasoissa ei ole suuria eroja, voidaan sitä erityyppisin pumppujärjestelyin putkistoja yhdistää niin, että ne ovat osaltaan yhtä ja osaltaan eriytettyä putkistoa. Kuvioista 13 selviää yksiputki- ja kaksiputkijärjestelmän erot. (Karjalainen 2016b.)



Kuvio 13. Periaatepiirros järjestelmistä. 1. Pelkkä tyhjiöpumppu 2. Yksiputkijärjestelmä 3. Kaksiputkijärjestelmä (Karjalainen 2016b).

Keskitetyllä tyhjiöjärjestelmällä on useita etuja verrattuna konekohtaisiin pumppuratkaisuihin. Huomattavin etu on tyhjiöpumppujen lukumäärän pieneminen. Tämä perustuu siihen, että tyhjiöpumput tekevät työtä ainoastaan osan käyntiajastaan. Etenkin tahdeittain tapahtuvissa tyhjiön käyttötyöjaksoissa kyseinen tilanne on poikkeuksetta säännönmukainen. Keskitetyn tyhjiöjärjestelmän avulla voidaan tyhjiöpumppujen koko käyntiaika hyödyntää, jolla saadaan pienennettyä käynnissä olevaa pumppukapasiteettia. Muita huomattavia etuja keskitetyssä järjestelmässä ovat

- melutason pieneminen tuotanto-osastoilla, koska tyhjiöpumput eivät ole välittömässä läheisyydessä
- energiasäästöt, jotka tulevat automatiikan avulla
- järjestelmän valvonta helppo toteuttaa
- mahdollisuus käyttää varajärjestelmää tyhjiöpumppujen osalta, jos tyhjiöpumppuihin tulee teknisiä ongelmia
- tyhjiöpumppujen tuottaman lämmön poistuminen jäähdytettävistä tuotantotiloista. (Karjalainen 2016b.)

Kustannussäästöistä osa toteutuu vasta ajan myötä, koska alkuinvestointi saattaa näyttää suurehkolta johtuen siitä, että koko järjestelmä joudutaan rakentamaan alusta alkaen putkistoinen ja automatisointineen. Kun keskitetty tyhjiöjärjestelmä on kerran toteutettu ja se on käytössä pitkän ajanjakson, kaikki syntyvät kustannussäästöt kertyvät ja kasvattavat investoinnin kannattavuutta. (Karjalainen 2016b.)

Keskitettyssä tyhjiöjärjestelmän putkiston tiiveydellä on suuri merkitys sen toimivuuteen, koska sitä käytetään samalla tyhjiösäiliönä. Tämän takia putkiston materiaaliksi on hyvä valita putkea, jonka halkaisija olisi mahdollisimman suurta. Tällä tavoin saadaan siirrettyä tyhjiö lähelle konetta, jossa sitä käytetään. Tämän etuna on myös se, että vältetään mahdollisilta putkihäviöiltä, joita etenkin pitkissä putkistoissa aina syntyy. (Karjalainen 2016b.)

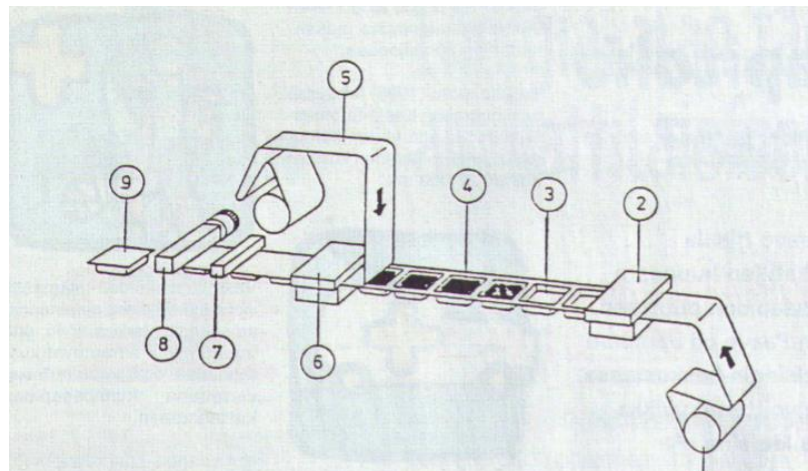
Jos keskitetyn tyhjiöjärjestelmän tyhjiö on karkeatyhjiö alueella, eli paineen ollessa noin $10 \cdot 10^3$ Pa – 100 Pa absoluuttista painetta, voidaan putkistossa käyttää normaalirakenteisia palloventtiilejä. Näitä palloventtiilejä on yleensä jokaista konetta

enemmän missä tyhjiötä käytetään. Näin saadaan vähennettyä vuodon riskiä, jos konetta ei käytetä. (Karjalainen 2016b.)

3.1 Pakkauskonelinjastot

Tässä opinnäytetyössä perehdytään keskitetyn tyhjiöjärjestelmän käyttöön pakkauskonelinjastossa ja sen riittävyteen. Pakkauskonelinjastolla tarkoitetaan tässä tapauksessa pakkauskonetta ja laatikointirobottia. Pakkauskonetta on syvävetokone, ja sitä käytetään elintarvikkeiden pakkaamiseen. Pakkauskonelinjastossa pakataan tuotteet niille sopiviin tuotekuppeihin, ja ne nopeuttavat tuotantoa ja helpottavat pakkaustyöskentelyä.

Kuviosta 14 selviää syvävetokoneen toimintaperiaate. Syvävetokone muotoilee alikalvosta 1-8 kuppia muovauspäässä, jonka jälkeen kuppeihin asetetaan pakattava tuote, joko automaattisesti tai manuaalisesti. Tämän jälkeen kupit siirtyvät saumauspäähän, jossa kupista poistetaan huoneen ilmanpaine ja tilalle laitetaan suojakaasu ja saumataan kuppi kalvolla. Kun kupit on saumattu, asennetaan yläkalvoon etiketti ja irrotetaan kupit toisistaan leikkureilla. Tämän jälkeen pakatut tuotteet siirtyvät laatikointirobotille, joka siirtää nämä niille tarkoitettuihin kuljetuslaatikoihin.



Kuvio 14. Syvävetokoneen toimintaperiaate. 1) Kalvorulla 2) Muovauspää 3) Tuotekuppi 4) Tuote tuotekupissa 5) Yläkalvo 6) Saumauspää 7) Etiköijä 8) Leikkuri 9) Valmis tuote (Karjalainen 2016b).

3.2 Tyhjiön käyttö pakkauskonelinjastossa

Pakkauskonelinjastolle tulee kaksi tyhjiöputkea, joissa on eritasoiset tyhjiöt. Itse pakkauskoneessa tyhjiötä käytetään jossain tapauksissa muovauspäässä, jolloin tyhjiön suuruus on noin $40 * 10^3$ Pa. Tämän lisäksi tyhjiötä käytetään jokaisen pakkauskoneen saumauspäässä, jossa tuote kupista poistetaan huoneen ilmanpaine. Tuotekupissa käy tällöin noin $10 * 10^2$ Pa:n paine, mutta tämän jälkeen tuotekuppeihin ohjataan suojakaasu. Tällä tavoin tällöin tuotteen säilyvyys pitenee huomattavasti, koska huoneilman poistaminen heikentää hapettumisprosessia ja estää hapestusta riippuvaisten mikro-organismien lisääntymisen. (Multivac.)

Laatikointirobotilla tyhjiötä käytetään tuotteiden nostamiseen. Robotin nostokädessä on työkalu, jossa on noin 20 - 30 imukuppia, johon tyhjiö ohjataan venttiileillä. Tyhjiön suuruus on noin $40 * 10^3$ Pa.

4 TYHJIÖ LASKENTAA

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on selvittää keskitetyn tyhjiölinjan tyhjiön tuotto ja tarvittavan tuoton selvittäminen uuden pakkauskonelinjaston myötä. Tätä lähdettiin selvittämään keskitetyn tyhjiölinjan tyhjiöpumppujen tuotoista ja sen putkistoista. Tyhjiöpumppujen tuotto selviää niiden valmistajien antamista teknisistä tiedoista, mutta tarvittavan tuoton selvittämiseen käytetään paine-erojen antaman tilavuuden muutosta. Putkistoista selvitetään paine-ero.

Laskutoimituksissa on käytetty kuvitteellisia pakkauskonelinjojen, tahtien, imukuppien ja tuoterasioiden lukumääriä, ja lisäksi tyhjiöpumppujen kapasiteettia ja putkistojen kokoa on muutettu työn tilaajan pyynnöstä.

4.1 Saumaustyökalulle menevä keskitetty tyhjiöjärjestelmä

Tässä osiossa on laskettu saumaustyökalulle menevän keskitetyn tyhjiöjärjestelmän tyhjiöpumppujen tuotto ja sen tarve sekä sen putkiston paine-ero.

4.1.1 Tyhjiöpumput

Saumaustyökalulle menevässä keskitetyssä tyhjiöjärjestelmässä on seuraavat tyhjiöpumput:

Tyhjiöpumppu 1	1000 m ³ /h
Tyhjiöpumppu 2	700 m ³ /h

Pumppujen yhteenlaskettu tilavuusvirta on siis noin 1700 m³/h, eli 0,472222 m³/s.

Tyhjiöpumppujen tarvittavan tuoton selvittämiseksi täytyy selvittää sen käyttökohde ja tässä tapauksessa se on jokaisen pakkauskonteen saumaustyökalu. Saumaustyökalusta täytyy selvittää sisätilavuus, koska pumppujen riittävyys lasketaan niiden tilavuusvirroilla. Lähes jokaisessa pakkauskonteissa on toisistaan eroavat sau-

maustyökalut niillä saumattavien tuotekuppien koosta ja määrästä riippuen, ja muutenkin sisätilavuus on vaikeasti määriteltävissä, koska jokaisen pakkauskoneen saumaustyökalu pitäisi purkaa. Sisätilavuuden määrittämiseksi valittiin yhden tuotekupin koko, joka oli keskivertoa suurempi, jolloin saadaan myös varmuuslukua laskentoihin. Laskuissa ei ole myöskään huomioitu pakattavan tuotteen viemää tilavuutta. Tämän tuotekupin tilavuus [m³] laskettiin kaavalla:

$$V = a * b * c \quad (1)$$

Jossa a = pituus

b = leveys

ja c = korkeus

Laskemalla tämä kaava:

$$V = 0,13 \text{ m} \times 0,17 \text{ m} \times 0,075 \text{ m} = 0,001658 \text{ m}^3$$

Tästä saatu tilavuuden tulo kerrotaan jokaisen pakkauskoneen saumaustyökalujen tuotekuppien määrällä per tahti, jolloin saadaan selville saumaustyökalujen yhteenlaskettu tilavuus per tahti. Tuotekuppia per tahti:

Pakkauskone 1 1 tuotekuppia

Pakkauskone 2 6 tuotekuppia

Pakkauskone 3 6 tuotekuppia

Uusi pakkauskone 4 10 tuotekuppia

Tästä saadaan yhteensä 23 tuotekuppia per tahti, joten tästä tulosta voidaan selvittää tilavuusvirta normaalissa ilman paineessa [m³/s], jos jokaisen pakkauskoneen tahti on 20/min kaavalla:

$$Q_2 = V * x * r / 60 \quad (2)$$

Jossa Q₂ = tilavuusvirta normaalissa ilman paineessa [m³/s]

V = tilavuus [m³]

x = tuotekuppien määrä per tahti

ja r = tahtien määrä minuutissa

Laskemalla tämä kaava:

$$Q_2 = 0,001658 \text{ m}^3 * 23 * 20 / 60 = 0,0127111 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tämän jälkeen voidaan laskea paine-eron vaikutus, kun normaalista ilmanpaineesta mennään tyhjiöön normaalin ilmanpaineen ja putkistossa olevan tyhjiön vaikutuksena:

$$Q_1 = Q_2 * p / p_0 \quad (3)$$

Jossa Q_1 = tilavuusvirta tyhjiössä [m^3/s]

Q_2 = tilavuusvirta normaalissa ilman paineessa [m^3/s]

p = normaali ilmanpaine [Pa]

ja p_0 = putkiston tyhjiön suuruus [Pa]

Laskemalla tämä kaava:

$$Q_1 = 0,0127111 \text{ m}^3/\text{s} * 1013 * 10^2 \text{ Pa} / 2000 \text{ Pa} = 0,643829 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kun tätä tulosta verrataan tyhjiöpumppujen tilavuusvirtaan $0,472222 \text{ m}^3/\text{s} < 0,643829 \text{ m}^3/\text{s}$ huomataan, että pumppujen kapasiteetti ei riitä. Mutta koska putkistoon on tavoiteltu 2000 Pa abs-painetta, vaikka sinne riittäisi 3000 Pa abs-paine. Laskemalla paine-eron vaikutus uudestaan käyttäen putkistossa olevaa 3000 Pa abs-painetta:

$$Q_1 = 0,0127111 \text{ m}^3/\text{s} * 1013 * 10^2 \text{ Pa} / 3000 \text{ Pa} = \mathbf{0,429219 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Kun tätä tulosta verrataan tyhjiöpumppujen tilavuusvirtaan $0,472222 \text{ m}^3/\text{s} > 0,429219 \text{ m}^3/\text{s}$ huomataan, että pumppujen kapasiteetti riittää, kun putkistoon tavoitellaan 3000 Pa :n abs-painetta.

4.1.2 Putkisto

Putkistojen riittävyden varmistaminen tehtiin putkiston paine-erolla. Laskuissa huomioitiin putkiston koko pituus, joka on 44 m ja putken sisähalkaisija 74 mm. Paineeron selvittämiseen käytettiin Darcyn kaavaa:

$$\Delta p = \lambda_L \rho L v^2 / 2 d \quad (4)$$

Jossa Δp = paine-ero [Pa]

λ_L = kaasun kitkavastuskerroin

ρ = tiheys [kg/m³]

L = putken pituus [m]

v = virtaavan kaasun nopeus [m/s]

ja d = putkiston sisähalkaisija [m]

Tämän kaavan selvittämiseen täytyy selvittää kaasun kitkavastuskerroin, joka selviää kaavasta:

$$\lambda_L = 64 / Re \quad (5)$$

Jossa Re = Reynoldsin luku

Reynoldsin luku selviää pyöreälle putkelle kaavasta:

$$N_{Re} = \rho d v / \eta \quad (6)$$

Jossa N_{Re} = Reynoldsin luku pyöreälle putkelle

ρ = tiheys [kg/m³]

d = putkiston sisähalkaisija [m]

v = virtaavan kaasun nopeus [m/s]

ja η = Kaasun viskositeetti

Kaasun viskositeetti on paineesta riippumatonta, jolloin voidaan käyttää normaalille ilmalle annettua viskositeetti lukua, mutta kaasun tiheys on paineesta riippuvaa, jonka selvittäminen onnistuu kaavasta: (Noppa, ei päiväystä)

$$\rho = M p / R T \quad (7)$$

Jossa ρ = tiheys [kg/m³]

M = molekyyli massa [kg/mol]

$p = \text{paine [Pa]}$

$R = \text{kaasuvakio [Pa m}^3\text{]}$

ja $T = \text{lämpötila [K]}$

Laskemalla tämä kaava:

$$\rho = 0,028964 \text{ kg/mol} \times 3000 \text{ Pa} / 8,31446 \text{ Pa m}^3 \times 278 \text{ K} = 0,037592 \text{ kg/m}^3$$

Tämän jälkeen, kun tiedetään ilman tiheys 3000Pa abs-paineessa, täytyy selvittää putkistossa olevan kaasun virtausnopeus, joka selviää kaavasta:

$$v = (Q / 60 / 60) / r^2 \pi \quad (8)$$

Jossa $v = \text{virtausnopeus [m/s]}$

$Q = \text{tyhjiöpumppujen tilavuusvirta [m}^3\text{/h]}$

ja $r = \text{putken sisäsäde [m]}$

Laskemalla tämän kaavan:

$$v = (1700 \text{ m}^3\text{/h} / 60 / 60) / (0,037 \text{ m})^2 \times \pi = 109,798 \text{ m/s}$$

Tämän jälkeen voidaan selvittää Reynoldsin luku:

$$N_{Re} = 0,037592 \text{ kg/m}^3 \times 0,074 \text{ m} \times 109,798 \text{ m/s} / 17,4 \times 10^{-6} \text{ kg/ms} = 17553,8$$

Tästä Reynoldsin luvusta voidaan laskea kaasun kitkavastuskerroin.

$$\lambda_L = 64 / 17553,8 = 0,003646$$

Tämän jälkeen, kun tiedetään kaasun kitkavastuskerroin, virtausnopeus ja tiheys, voidaan laskea putkiston paine-ero Darcyn kaavalla:

$$\Delta p = 0,003646 \times 0,037592 \text{ kg/m}^3 \times 44 \text{ m} \times 109,798 \text{ m/s} / 2 \times 0,074 \text{ m} = \mathbf{4,47 \text{ Pa}}$$

Tästä tuloksesta voi päätellä, että putkisto on riittävä.

4.2 Roboteille ja muovauspäähän menevä keskitetty tyhjiöjärjestelmä

Tässä osiossa on laskettu roboteille ja muovauspäähän menevän keskitetyn tyhjiöjärjestelmän tyhjiöpumppujen tuotto ja sen tarve, ja sen putkiston paine-ero.

4.2.1 Tyhjiöpumput

Roboteille ja muovauspäähän menevässä keskitetyssä tyhjiöjärjestelmässä on seuraavat tyhjiöpumput:

Tyhjiöpumppu 1

60 m³/h

Tyhjiöpumppu 2

90 m³/h

Yhteenlaskettu tilavuusvirta tyhjiöpumpuilla on 150 m³/h, tämä muutettuna m³/s on 0,041667 m³/s.

Tarvittavan tuoton selvittämiseen täytyi selvittää tyhjiön käyttökohde ja niiden tilavuudet. Tässä tapauksessa se on robottien nostotyökalun imukupit ja pakkausko-
neiden muovauspäät.

Imukuppien koko ja määrät vaihtelevat eri roboteille. Imukupin kooksi valittiin Ø12,5 x 35 mm. Imukuppien määrä per pakkauskonelinjasto:

Pakkaus kone 1 8 imukuppia

Pakkaus kone 2 24 imukuppia

Pakkaus kone 3 20 imukuppia

Uusi pakkaus kone 4 32 imukuppia

Imukuppien yhteenlaskettu määrä on 84kpl. Tällöin näiden yhteenlaskettu tilavuus on:

$$V = r^2 \pi h x \quad (9)$$

Jossa r = säde [m]

 h = korkeus [m]

ja x = imukuppien lukumäärä

Laskemalla tämä:

$$V = (0,00625 \text{ m})^2 * \pi * 0,035 \text{ m} * 84 = 0,000361 \text{ m}^3$$

Imukuppien yhteistilavuus on 0,000361 m³, mutta tyhjiötävää tilavuutta on paljon jokaiselle imukupille menevissä letkuissa, jotka ovat venttiilien jälkeen, on tämä saatu tilavuus kerrottu kahdella, eli tilavuudeksi saadaan silloin 0,000722 m³.

Pakkaus koneessa 2 muovauspäässä käytetään tyhjiötä tuotekuppien muovaukseen, jolloin niidenkin tilavuus täytyy myös selvittää. Tilavuuden selvittämiseen käytettiin samaa tuotekupin kokoa, kuin saumauspään tilavuuden selvittämisessäkin. Tuotekuppia per pakkaus kone:

Pakkaus kone 2 6 tuotekuppia

Muovauspäiden tilavuus saadaan kaavasta 1:

$$V = 6 \times 0,001658 \text{ m}^3 = 0,009948 \text{ m}^3$$

Imukuppien ja muovauspäiden yhteistilavuus on tällöin $0,01067 \text{ m}^3$.

Koska roboteilla ja pakkaus koneilla on sama tahti, voidaan tilavuusvirta normaalissa ilmanpaineessa laskea samanaikaisesti. Kaava 2:

$$Q_2 = 0,01067 \text{ m}^3 * 20 / 60 = 0,003557 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tästä voidaan laskea sitten paine-erojen antaman tilavuuden muutoksena, riittääkö pumppukapasiteetti, jos putkistossa on $40 * 10^3 \text{ Pa}$ abs-paine kaavasta 3:

$$Q_1 = 0,003557 \text{ m}^3/\text{s} * 1013 * 10^2 \text{ Pa} / 40000 \text{ Pa} = \mathbf{0,009007 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Tätä tulosta, kun verrataan tyhjiöpumpun tilavuusvirtaan $0,041667 \text{ m}^3/\text{s} > 0,009007 \text{ m}^3/\text{s}$ voidaan päätellä, että pumppukapasiteetti on riittävä.

4.2.2 Putkisto

Roboteille ja muovauspäille menevässä putkiston laskuissa on käytetty samoja kaavoja kuten saumauspäille menevään putkiston laskuissa. Putkiston pituus 44 m ja sisähalkaisija 41 mm.

Putkistossa olevan virtausnopeuden selvittämisessä on käytetty kaavaa 8:

$$v = (150 \text{ m}^3/\text{h} / 60 / 60) / (0,0205 \text{ m})^2 \times \pi = 31,5596 \text{ m/s}$$

Kaasun tiheyden selvittämiseen on käytetty kaavaa 7:

$$\rho = 0,028964 \text{ kg/mol} \times 40000 \text{ Pa} / 8,31446 \text{ Pa m}^3 \times 278 \text{ K} = 0,501233 \text{ kg/m}^3$$

Reynoldsin luvun selvittämiseen on käytetty kaavaa 6:

$$N_{Re} = 0,501233 \text{ kg/m}^3 \times 0,041 \text{ m} \times 31,5596 \text{ m/s} / 17,4 \times 10^{-6} \text{ kg/ms} = 37274$$

Kaasun kitkavastuskerroin on selvitetty kaavasta 6:

$$\lambda_L = 64 / 37274 = 0,001717$$

Paine-eron selvittämiseen on käytetty kaavaa 4:

$$\Delta p = 0,001717 \times 0,501233 \text{ kg/m}^3 \times 44 \text{ m} \times 31,5596 \text{ m/s} / 2 \times 0,041 \text{ m} = \mathbf{14,57 \text{ Pa}}$$

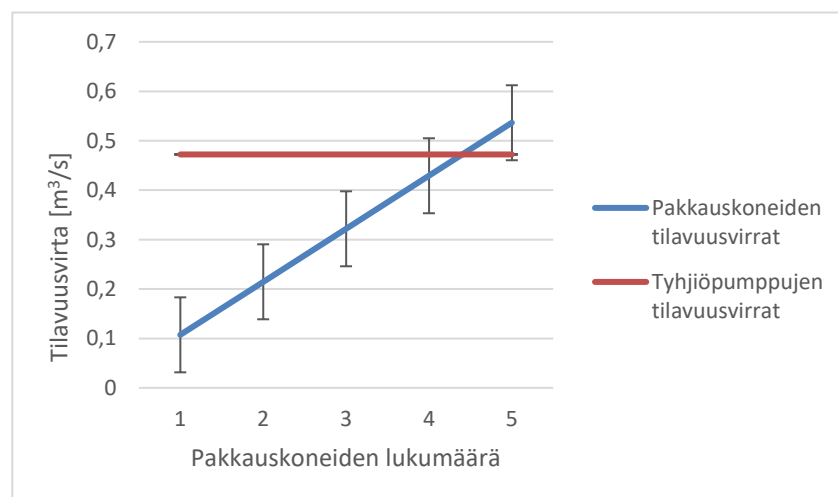
Tästä saadusta tuloksesta voidaan huomata, että putkisto on riittävä, koska paine-erot putkistossa on vain 14,57 Pa.

5 TULOKSIEN ANALYSOINTI

Tulosten analysointi jaetaan kahteen osaan, saumaustyökalun keskitettyyn tyhjiöjärjestelmään ja robottien ja muovauspään keskitettyyn tyhjiöjärjestelmään.

5.1 Saumaustyökalun keskitetty tyhjiöjärjestelmä

Saumaustyökalun keskitetyn tyhjiöjärjestelmän tyhjiö laskennasta voidaan todeta se, että tyhjiöpumppujen kapasiteetti ja putkisto on riittävä uuden pakkauskonelinjaston jälkeen. Tyhjiöpumppujen kapasiteetiksi eli tuotoksi saatiin $0,472222 \text{ m}^3/\text{s}$ ja tarvittavaksi tuotoksi saatiin $0,42909 \text{ m}^3/\text{s}$, kun putkistoon tavoitellaan $30 \cdot 10^2 \text{ Pa}$ absoluuttista painetta. Putkistoon on turha tavoitella liian hyvää tyhjiötä, koska siitä ei tule lisähyötyä, vaan energiaa menee vain hukkaan. Putkiston paine-eroksi saatiin $4,47 \text{ Pa}$, kun laskuissa huomioitiin koko putkiston pituus 44 metriä ja paineeksi asetettiin $30 \cdot 10^2 \text{ Pa}$. Jos ajatellaan tämän järjestelmän heikkoa kohtaa, se löytyy tyhjiöpumppujen kapasiteetista, koska uuden pakkauskonelinjaston jälkeen tuotto ei ole paljoa yli tarvittavan tuoton. Tätä kuvastaa kuvio 15, jossa on laskettu neljän pakkauskonteen saumaustyökalun keskimääräisen tilavuusvirran $0,10727 \text{ m}^3/\text{s}$ avulla, jos tähän keskitettyyn tyhjiöjärjestelmään tulee vielä lisäksi viides pakkaus-kone. Tällöin tarvittava tuotto menee ylitse tämänhetkisen tuoton.



Kuvio 15. Tilavuusvirran nousu [m³/s] per pakkaus-kone

5.2 Robottien ja muovauspään keskitetty tyhjiöjärjestelmä

Robottien ja muovauspään keskitetyn tyhjiöjärjestelmän tyhjiö laskennasta voidaan todeta sen, että tyhjiöpumppujen kapasiteetti ja putkisto on riittävä. Tyhjiöpumppujen kapasiteetti on $0,041667 \text{ m}^3/\text{s}$ ja tämänhetkinen tarve on $0,009007 \text{ m}^3/\text{s}$. Putkiston paine-ero on vain $14,57 \text{ Pa}$, kun laskuissa huomioitiin koko putkiston pituus 44 metriä .

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli tarve tarkastella nykyistä keskitettyä tyhjiöjärjestelmää, koska tähän kytkettäisiin uusi pakkauskonelinjasto. Suurin tarve oli varmistaa, että keskitetyn tyhjiölinjan kapasiteetti riittää uuden pakkauskonelinjaston jälkeen. Kapasiteetin riittävyys laskettiin tyhjiöpumppujen tuoton ja sen tarpeen mukaan, ja sekä keskitetyn tyhjiöjärjestelmän putkistoista laskettiin paine-erot. Laskujen tuloksista pystyi toteamaan sen, että keskitetty tyhjiöjärjestelmän tyhjiöpumppujen kapasiteetti ja niiden putkisto on riittävä uuden pakkauskonelinjastonkin jälkeen. Saumauspään järjestelmän tyhjiöpumppujen kapasiteetti on nykyisellään riittävä. Mikäli tyhjiötarve kasvaa, tulee kapasiteetin kasvattaminen ajankohtaiseksi.

Uusi pakkauskonelinjasto ehdittiin asentamaan ennen kuin tämä työ valmistui, koska tämä vei kauemman aikaa kuin oli suunniteltu. Nyt kun linjasto on kytkettynä keskitettyyn tyhjiöjärjestelmään, voidaan todeta, että laskutoimitukset ovat paikkaansa pitäviä, koska kaikki toimii suunnitellusti.

Työ oli kaikilta osiltaan haastava, koska itselläni ei ollut kokemusta aiheesta ja aiheeseen liittyvää lähdemateriaalia oli melko haastavaa löytää. Parannettavaa löytyy varsinkin aikataulun kiinnipidossa.

LÄHTEET

Atria Oyj. 2016. Atria-konserni. [Verkkosivu]. Atria Oyj. [Viitattu 6.4.2016]. Saatavana: <http://www.atriagroup.com/atria-konserni/Sivut/default.aspx>

Fluid Finland. 2/2005. Fluid klinikka no 12. Veli Hulkkonen. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 10.1.2017]. Saatavana: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/15.tyhjiotekniikan-perusteet.pdf>

Fluid Finland. 2/2006. Fluid klinikka no 15. Veli Hulkkonen. [Verkojulkaisu] [viitattu 10.1.2017]. Saatavana: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/14.tyhjiotekniikka-pumput.pdf>

Fontell, A., Marula, J., Nieminen, R., Söderlund, C., Valli, K., Vehanen, A., Vulli, M. & Ylilampi, M. 1986. Tyhjiötekniikka. Helsinki: Suomen tyhjiöseura.

Karjalainen, P. 2016a. Peruskoulutusmateriaali. Toimitusjohtaja. Busch vakuumelektroniikka Oy. Powerpoint esitys.

Karjalainen, P. 2016b. Keskitetyt Tyhjiöjärjestelmät. Toimitusjohtaja. Busch vakuumelektroniikka Oy. Artikkel.

Noppa. Ei päiväystä. Viskositeetti ja pintajännitys. Ei henkilötekijää. [Verkojulkaisu]. [viitattu 1.2.2017]. Saatavana: <https://noppa oulu.fi/noppaimages/766106P/VISKOSITEETTI%20JA%20PINTAJANNITYS.pdf>

Multivac. Ei päiväystä. Vakuumpakkaus takaa säilyvyyden. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.11.2016]. Saatavana: <https://fi.multivac.com/fi/ratkaisut/pakkaustyyppit/tyhjiopakkaukset/>

