

Riku Kontulainen

# VAKUUMIJÄRJESTELMÄN TEHOKKUUDEN KARTOITUS

Opinnäytetyö

Insinööri

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri
Tekijä/Tekijät	Riku Kontulainen
Työn nimi	Vakuumijärjestelmän tehokkuuden kartoitus
Toimeksiantaja	HKScan Finland Oy
Vuosi	2022
Sivut	21 sivua
Työn ohjaaja(t)	Jyrki Liikanen

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä HKScan Finland Oy:n Mikkelin tehtaahan vakuumijärjestelmään. Tavoitteena oli tehtaahan vakuumijärjestelmän toiminnan kartoittaminen mahdollisia korvausinvestointeja varten keräämällä nykyisestä järjestelmästä tietoa. Työ palvelee HKScan Finland Oy:n Zero carbon -hanketta, joka tähtää hiilineutraaliin ruokaketjuun.

Opinnäytetyön teoriaosuus koostui tehtaahan vakuumijärjestelmää käsittelevästä tiedosta. Tähän tietoon kuului teoriaa tyhjiötekniikasta, vakuumpumpuista sekä energiatehokkuudesta. Tyhjiötekniikkaan perehdyttiin yleisellä tasolla, ja osuus antaa hyvän käsityksen tyhjiön tuottamisesta sekä eri tyhjiöalueista. Vakuumpumpuista esille nostettiin niiden jaottelu eri pumpputyyppeihin sekä käytiin läpi yleisimmin käytetyn kiertosiipipumpun toimintaa. Energiatehokkuutta käytiin läpi sähkönkulutuksen, lämmöntalteenoton sekä erilaisten lämmönvaihtimien kautta.

Tutkimusosiossa hyödynnettiin tehtaahan omaa kiinteistöjärjestelmää, jolla saatiin käytitietoa vakuumpumppujen toiminnasta. Kiinteistöjärjestelmänä tehtaalla oli Siemensin Desigo Insight -järjestelmä, josta pumppujen toimintaa pystyi havainnollistamaan. Järjestelmä antoi pumppujen käytitietoa piirtämällä käyrää pumppujen päällä ollessa. Tästä nähtiin tietyllä ajanjaksolla, kuinka kauan pumput olivat päällä. Kiinteistö- sekä SAP-järjestelmän antaman tiedon perusteella työssä laskettiin pumppujen kustannukset vuositasona.

Työn tulokset osoittivat vakuumijärjestelmästä tulevat kustannukset, ja tätä kautta on tulevaisuudessa helpompaa miettiä korvausinvestointeja kyseiselle tekniikalle. Tulosten sekä teorian perusteella työssä ilmeni vakuumijärjestelmässä olevia epäkohtia, joihin tulevaisuudessa on hyvä perehtyä, jos korvausinvestoinneille nähdään tarvetta.

**Asiasanat:** Energiatehokkuus, vakuumpumput, tyhjiötekniikka, lämmöntalteenotto

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Riku Kontulainen
Thesis title	Mapping the efficiency of a vacuum system
Commissioned by	HKScan Finland Oy
Time	2022
Pages	21 pages
Supervisor	Jyrki Liikanen

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to get acquainted with the vacuum system of HKScan Finland Oy's Mikkeli plant. The objective was to survey the operation of the factory vacuum system for potential compensation investments by collecting information about the current system. The work serves HKScan Finland Oy's zero-carbon project, which aims at a carbon-neutral food chain.

The theoretical part of this thesis consisted of information about the factory vacuum system. This knowledge included theory on vacuum technology, vacuum pumps, as well as energy efficiency. Vacuum technology was introduced at a general level, and the section gives a good understanding of vacuum production and the different vacuum ranges. For the vacuum pumps, their division into different pump types was highlighted and the operation of the most used rotary vane pump was reviewed. Energy efficiency was achieved through electricity consumption, heat recovery and various heat exchangers.

The research section utilized the factory's own property system, which provided operating data on the operation of vacuum pumps. The real estate system at the factory was Siemens' Desigo Insight system, which illustrated the operation of the pumps. Based on the data provided by the real estate and the SAP system, the cost of pumps was calculated on an annual basis.

The results of this work showed the cost of the vacuum system, and through this, it will be easier in the future to think about compensation investments in that technology. Based on the results and the theory, the work revealed flaws in the vacuum system, which should be looked into in the future if the need for replacement investments is seen.

**Keywords:** energy efficiency, vacuum pumps, vacuum technology, heat recovery

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	5
3	HKSCAN FINLAND OY .....	6
4	TYHJIÖTEKNIikka .....	7
4.1	Tyhjiö .....	7
4.2	Tyhjiön mittaaminen.....	8
5	VAKUUMIPUMPUT .....	9
5.1	Kiertosiipipumppu .....	10
6	ENERGIATEHOKKUUS .....	12
6.1	Sähkönkulutus .....	12
6.2	Lämmöntalteenotto vakuumpumpuista .....	13
6.3	Lämmönvaihtimet .....	14
7	TUTKIMUS .....	14
7.1	SAP-järjestelmä.....	14
7.2	Siemensin Desigo Insight .....	15
7.3	Pumppujen sähkönkulutus.....	16
7.4	Pumppujen tiedot.....	19
8	POHDINTA .....	19
	LÄHTEET.....	21

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä HKScan Finland Oy:n kanssa. Työssä perehdytään Mikkelin toimipaikan vakuumijärjestelmään. Työn tarkoituksena on kartoittaa heidän vakuumijärjestelmänsä tehokkuutta, pyrkien mahdollistamaan uusia investointeja, jos niille on tarvetta. Vakuumijärjestelmän luotettava toiminta on välttämätön tehtaan tuotannon kannalta. Tuotannossa tarvittavan vakuumin tuottaminen kustannustehokkaasti tukee myös omalta osin tehtaan taloudellisia tavoitteita. Tämä selvitys tukee myös yrityksen energiatehokkuus- sekä hiilineutraalisuustavoitetta.

Investointeja varten tarvitaan kattavasti tietoa nykyisestä vakuumijärjestelmästä ja sen toimivuudesta. On huomioitavaa katsoa, kuinka hyvin nykyinen tekniikka toimii ja millaiset ovat sen kustannukset. Kustannuksia varten työssä tarkastellaan vikahistoriaa, jonka kautta näemme korjauskustannuksia. Pumppuille tehdään määräaikaishuoltoja tietyin väliajoin, ja nämä on myös otettava huomioon. Työssä mitataan pumppujen sähkönkulutusta, josta voi katsoa, kuinka paljon nykyinen tekniikka kuluttaa sähköä.

Työssä hyödynnetään tehtaan omaa kiinteistöautomaatiojärjestelmää, jona toimii Siemensin Desigo Insight. Sitä kautta saamme käyntitietoja pumppujen toiminnasta. Tarkoituksena on myös mitata reaaliaikaista tietoa pumppujen toiminnasta yhden työpäivän ajan, sillä pumppujen toiminta on suhteellisen samankaltaista päivittäin. Huomiota myös työssä kiinnitetään lämmön talteenottoon. Pyrkimyksenä on hyödyntää pumppujen tuottamaa lämpöä johonkin hyötykäyttöön sen sijaan, että lämpö menee hukkaan.

Tavoitteena on, kun työ on valmis, että Mikkelin toimipisteellä ollaan tietoisia vakuumipumppujen kustannuksista vanhalla pumpputekniikalla verrattuna uuteen tekniikkaan. Pyrkimyksenä on myös energiatehokkuuden parantaminen uusilla pumpuilla tai vanhoilla, jos mahdollista.

## 2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Työn tekemisen lähtökohtana on saada kustannustehokas kokonaisuus tehtaan vakuumijärjestelmästä. Pyrkimyksenä on vähentää saasteiden määrää

sekä hukkaan menevää energiaa. Hukkaan menevä energia syntyy lämpönä, jota ei hyödynnetä esimerkiksi kiinteistön lämmityksessä taikka lämminvesikierrossa.

Vakuumijärjestelmä Mikkelin tehtaassa on vanha, eikä sitä ole juurikaan uusittu. Pumppuja on kuitenkin investoitu lisää, mutta nämä pumput ovat lähinnä konekohtaisia, joten näitä ei päästä hyödyntämään keskusvakuumin toiminnassa. Sijainniltaan kyseiset konekohtaiset pumput on ripoteltu niiden koneiden läheisyyteen, jossa niitä tarvitaan. Konekohtaiset pumput tietenkin vähentävät keskusvakuumin tarvetta, mutta samaan aikaan ei niinkään palvele isompaa kokonaisuutta.

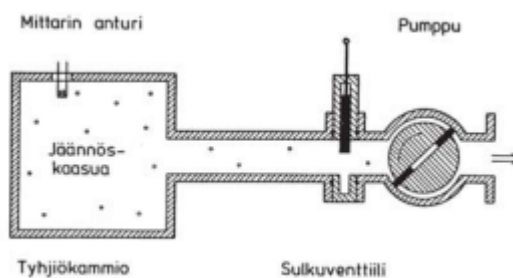
Tehtaan keskusvakuumijärjestelmään kuuluu yhteensä 7 vakuumpumppua. Pumput käyvät porrastuksella, eli kun vakuumin tarve nousee, lisää pumppuja lähtee käyntiin. Ajatukseltaan kyseinen toiminta palvelee hyvin tehdasta keskusvakuumin kohdalla, mutta energiatehokkuudessa tämä ei ole paras mahdollinen vaihtoehto. Kun vakuumin tarve nousee hivenenkin tietyn tarpeen ylitse, uusi pumppu lähtee käyntiin täydellä teholla, vaikkei niin suurelle vakuu- melle olisikaan tarve. Tässä kohtaa syntyy heti hukkaan menevää energiaa, sillä vakuumin tarve ja tuotto eivät kulje käsikädessä. Työssä pyritään kehittämään oikeanlainen ratkaisu, ettei kyseistä hukkaenergiaa syntyisi ja tätä kautta keskusvakuumin ylläpitoon ei syntyisi ylimääräisiä kuluja.

### **3 HKSCAN FINLAND OY**

HKScan Finland Oy on elintarviketeollisuuden yhtiö, jonka tavoitteena on kasvaa monipuoliseksi ruokataloksi. Liikevaihtoa yhtiöllä oli vuonna 2021 yli 1,8 miljardia euroa. Yhtiöllä on toimintaa Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Baltiassa sekä Puolassa. Tuotteita kuitenkin viedään muuallekin maailmaan, ja HK:n ateriosta päästäänkin nauttimaan kaiken kaikkiaan lähes 50 maassa. HKScanilla on käynnissä Zero Carbon -hanke, joka ajaa yhtiötä hiilineutraaliuuteen. Tavoitteena on saada hiilineutraali ruokaketju aina maataloilta kuluttajille saakka. Työ samalla edistää hiilineutraalisuutta, johon kyseinen hanke on tähtäämässä. (HKScan 2022.)

## 4 TYHJIÖTEKNIikka

Tyhjiösystemillä tarkoitetaan pääosin pumpun, sulkuventtiilin, tyhjiökammion ja mittarin kokonaisuutta. Erilaisia kokonaisuuksia voi tietenkin olla käyttötarkoituksen mukaan. Tällä kokonaisuudella saadaan aikaan tyhjiö. Tyhjiöllä tarkoitetaan tilaa, joka on suljettu, ja sieltä on poistettu höyryt ja kaasut mahdollisimman tarkasti pois. Yleensä tilaan jää kuitenkin vähän kaasuja sekä höyryjä ja tätä loppu jäämää kutsutaan jäännöskaasuksi, riippumatta sen koostumuksesta. Jäännöskaasun paine on ympäröivää tilaa pienempi, sillä sen ympäröivässä tilassa vallitsee ilmakehän paine. (Hulkko 2005, 2.)



Kuva 1. Vakuumijärjestelmä yksinkertaistettuna (Hulkko 2005, 2)

### 4.1 Tyhjiö

Kuten aiemmin jo todettiin, tyhjiöllä tarkoitetaan tilaa, josta kaasut ja höyryt on poistettu. Absoluuttista tyhjiötä ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista tuottaa, sillä aina jää hieman jäännöskaasua tilaan. Tähän vaikuttaa tilan materiaalit, sillä jokainen materiaali vuotaa hieman lävitse niiden seinämistä. (Saarinen 1981, 1.)

Jäännöskaasun määrän ja koostumuksen mukaan on määritelty eriasteisia tyhjiöitä sen perusteella, kuinka paljon jäännöskaasua on. Kuvassa 2 voi havainnollistaa eri tyhjiöalueet.

10 <sup>5</sup> ... 10 <sup>2</sup>	Pa	karkea tyhjiö
10 <sup>2</sup> ... 10 <sup>-1</sup>	Pa	välityhjiö
10 <sup>-1</sup> ... 10 <sup>-4</sup>	Pa	suurtyhjiö
10 <sup>-4</sup> ... 10 <sup>-7</sup>	Pa	hyvä suurtyhjiö
10 <sup>-7</sup> ... 10 <sup>-10</sup>	Pa	ultratyhjiö
10 <sup>-10</sup> ...	Pa	hyvä ultratyhjiö

Kuva 2. Tyhjiöalueet (Hulkko 2005, 4)

Paineen perusyksikkönä käytetään SI-järjestelmässä pascalia joka tarkoittaa samaa asiaa kuin Newton/neliometri (Hulkko 2005, 3). Tyhjiötekniikassa voi törmätä myös käsitteeseen torri (torr), joka on peräisin hydrostaatiikasta. Torri tarkoittaa samaa asiaa kuin elohopeamillimetri (mmHg). Normaalisti ilmakehässä vallitsee 101325 Pa (n. 10<sup>5</sup> Pa) korkuinen paine meren pinnan tasolla. Vaikka pascal on paineen perusyksikkö, on kuitenkin huomioitava, että paineesta puhutaan myös muilla nimillä, ja tästä syystä nekin on hyvä ottaa huomioon. Taulukosta 1 nähdään, kuinka eri paineen käsitteet ovat suhteessa toisiinsa. (Saarinen 1981, 4.)

Taulukko 1. Paineen eri yksiköitä ja niiden suhde toisiinsa. (muokattu Saarinen 1981, 5)

	Pa	torr	atm	dyne/m <sup>2</sup>	mbar
1Pa=1N/m <sup>2</sup>	1	7.5 · 10 <sup>-3</sup>	9.8·10 <sup>-6</sup>	10	10 <sup>-2</sup>
1torr(mmHg)	133.3	1	1.31·10 <sup>-3</sup>	1.33·10 <sup>3</sup>	1.33
1atm	1.01·10 <sup>5</sup>	760	1	1.01·10 <sup>6</sup>	1.01·10 <sup>3</sup>
1 dyne/m <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup>	7.7·10 <sup>-4</sup>	9.8·10 <sup>-7</sup>	1	10 <sup>-3</sup>
mbar	10 <sup>2</sup>	7.5·10 <sup>-1</sup>	9.8·10 <sup>-4</sup>	10 <sup>3</sup>	1

## 4.2 Tyhjiön mittaaminen

Tyhjiötä mitataan mittaamalla halutun kappaleen sisällä olevan jäännöskaasun kokonaispaine. Jäännöskaasun kokonaispaine lasketaan kaavalla 1.

$$p = \frac{x}{V}RT + \left(\frac{x}{V}\right)^2 (RTb - a) \quad (1)$$

jossa	p	paine
	V	astian tilavuus
	T	kaasun lämpötila

R	yleinen kaasuvakio
x	kaasun määrä mooleina
a ja b	van der Waalsin vakiot

Kyseisen kaavan voi kuitenkin katkaista toisen termin jälkeen. Tällöin kaava supistuu van der Waalsin kaasun yhtälöksi. Tämä johtuu siitä, että tyhjiössä kaasu on harvaa ja ensimmäinen termi on käytännössä vain merkityksellinen. Kaava supistuu ideaalikaasun tilanyhtälöksi

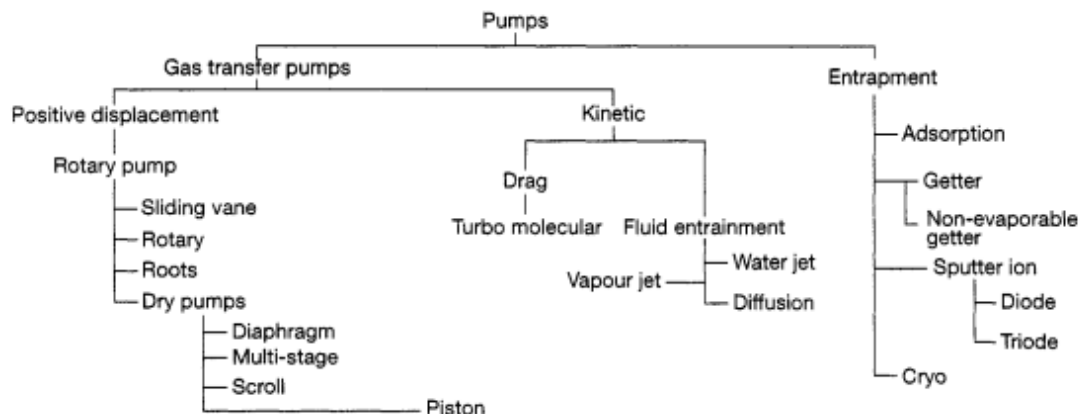
$$p = nKT \tag{2}$$

missä	n	kaasun molekyyliitiheys
	k	Boltzmannin vakio

Kokonaispaine jäännöskaasussa on suoraan verrannollinen kaasun lämpötilaan ja molekyyliitiheyteen, mutta ei riipu kaasumolekyylien massasta (Saarinen 1981, 3, 4).

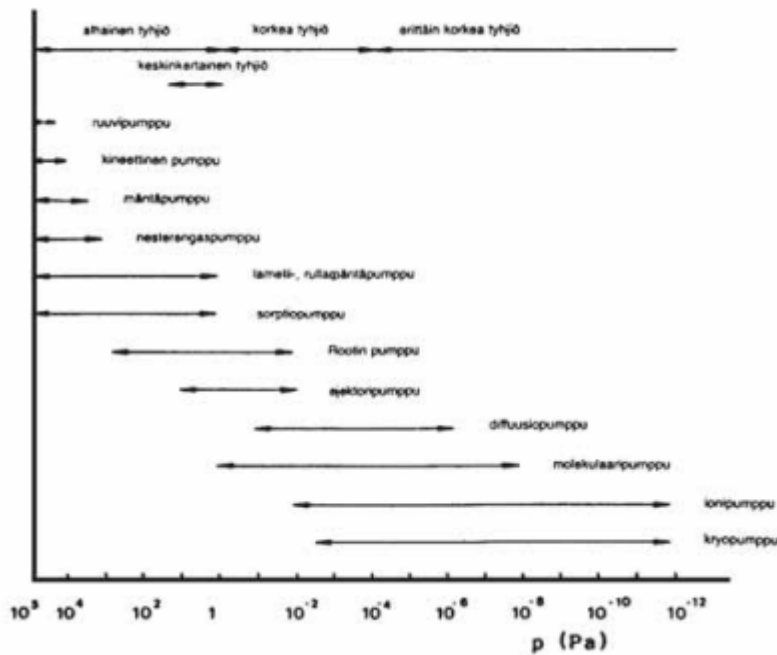
## 5 VAKUUMIPUMPUT

Vakuumpumppu on laite, joka muodostaa vakuumin tai parantaa/ylläpitää sitä. Pumput voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat kaasunsiirtopumput ja sieppauspumput. Pumput luokitellaan sen mukaan, kuinka ne poistavat kaasuja halutusta tilasta. (Chambers, Fitch & Halliday 1998, 60.)



Kuva 3. Tyhjiöpumppujen jakautuminen (Chambers, Fitch & Halliday 1998, 60)

Tässä työssä perehdytään enemmän vain niihin pumppuihin, jotka ovat työn kannalta merkityksellisiä. Näihin kyseisiin pumppuihin kuuluu kiertosiipipumput, joita HKScanin Mikkeli toimipaikalla pääsääntöisesti käytetään. Näiden pumppujen lisäksi joissain koneissa on keskusvakuumipumppujen lisäksi vielä toisiopumppu. Toisiopumppulla tehostetaan vakuumia entisestään. Nämä pumput ovat pääsääntöisesti vierintäpumppuja eli rootsin pumppuja.



Kuva 4. Eri pumpputyypin painealueet (Hulkko 2006, 2)

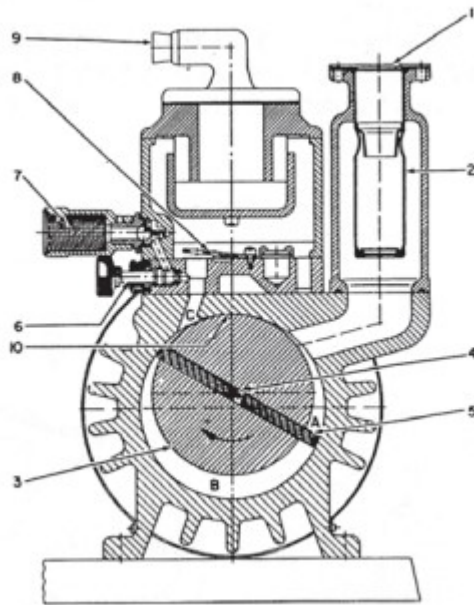
Kuvasta 4. voi huomata, että kaikki pumput eivät ala ilmakehän painealueesta, joka on  $10^5$  Pa. Tästä voi havaita, että osa pumpuista tarvitsee esipumpun, jolla saadaan painetta alhaisemmaksi, joka mahdollistaa pumpun toiminnan.

## 5.1 Kiertosiipipumppu

Kiertosiipipumppu eli rotary vane pump on luultavasti yksi käytetyimmistä pumpuista. Pumppuja on kaksi-, kolmi-, ja useampisiipisiä, sekä niitä on öljytiivisteisinä sekä kuiva toimisina. Työn kannalta ei ole olennaista esitellä laajemmin erilaisten pumppujen mekaanista toimivuutta, sillä tällä hetkellä tehtaassa on vain kyseisen mallisia pumppuja.

Öljyn tehtävä öljytäytteisissä pumpeissa on voidella pumppua, ettei se käy kuivana. Öljyllä on myös muita tehtäviä, kuten poistoventtiilin ja pumpun tiivistäminen, poistoventtiilin alle jäävän tilan täyttäminen sekä öljy toimii myös jäädytyksen tehostamiseen hyvin. Öljytäytteisissä pumpeissa tarvitaan öljynerottimet, joiden tehtävänä on erottaa poistoilmasta mahdollisimman tarkasti öljy takaisin pumpun öljytilaan.

Pumppuun sijoitetut venttiilit estävät öljyn kulkeutumisen imuaukon kautta pumpattavaan tilaan tai poistoaukon kautta ulos. Toiminto näkyy hyvin pumpun pysähtyessä, sillä venttiilit sulkeutuvat silloin ja estävät öljyn siirtymisen. Ilman virtausta pumpusta takaisin tyhjiötilaan on myös estetty venttiileillä, ja nämä venttiilit toimivat samalla myös pumpun ilmauksessa.



Kuva 5. Kaksisiipinen kiertosiipipumppu. 1. imuaukko, 2. suodatin, 3. roottori, 4. jousi, 5. siipi, 6. kaasuhuuhteluventtiili, 7. suodatin, 8. poistoventtiili, 9. poistoaukko, 10. öljyn tiivistämä rako (Hulkko 2006, 3)

Kuvasta 5 näkee kaksisiipisen kiertosiipipumpun rakenteen. Kuvasta voi huomata, että roottori ei ole aivan keskellä pesää, vaan se on laakeroitu epäkeskeisesti pesää nähden. Pumpun toiminnan kannalta on tärkeää, että se on kytketty oikein ja pyörimissuunta on oikea, sillä muuten se vaurioittaa pumppua. Pyörimissuunta on kuvassa 5 merkattu nuolella roottoriin, mutta jokaiseen pumppuun on erikseen merkattu nuolella sen pumpun pyörimissuunta.

Pumpussa siivet liikkuvat pesän seinämiä vasten ja samalla edes-takaisin roottorin urissa. Pumpun imu syntyy, kun kuvassa 5 näkyvän A tilavuus suurenee, jonka seurauksena pumppu imee imuaukon ja suodattimen läpi ilmaa tyhjiötilasta. Samaan aikaan B tilavuus pienenee ja ilma liikkuu kohti C kanavaa, josta ilma poistuu poistoventtiiliin sekä poistoaukon kautta pois pumpusta. (Hulkko 2006, 6.)

## 6 ENERGIATEHOKKUUS

Työssä energiatehokkuutta voi tarkastella lähinnä sähkönkulutuksen mukaan. Jokaisessa vakuumpumpussa on moottorina 3-vaiheoikosulkumoottori, josta sähkönkulutusta on lähdetty tarkastelemaan. Lämmöntalteenottomahdollisuudet ovat huonoja nykyisellä tekniikalla, mutta tulevaisuuden kannalta ne on hyvä tuoda työssä myös esille.

### 6.1 Sähkönkulutus

3-vaiheoikosulkumoottorille menevää syöttötehoa voidaan tarkastella seuraavalla kaavalla. (ABB 2020.)

$$P_{\text{syöttö}} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (3)$$

jossa	Psyöttö	Teho	[W]
	U	jännite	[V]
	I	virta	[A]
	cos(φ)	tehokerroin	

Kun kaavasta 3 on saatu tulos, tätä täytyy vielä laskea eteenpäin, jotta nähdään kuinka paljon sähköenergiaa, moottori tarvitsee tietyllä aikavälillä. Kaavassa käytetään yleisesti tehon yksikkönä kW.

$$E = Pt \quad (4)$$

Kaava 4 antaa tällöin, kuinka monta kilowattituntia moottori käyttää. Tätä kaavaa hyödynnetään, kun tarkastelee sähkönkulutusta rahallisesti.

## 6.2 Lämmöntalteenotto vakuumpumpuista

Vakuumpumput tuottavat lämpöä käynnissä ollessaan, ja normaalisti tämä lämpö päästetään ympäristöön nostaen huoneen lämpötilaa, jossa vakuumpumput sijaitsevat. Huoneilmaa voi joutua tasoittamaan lämpötilan nousun seurauksena. Tämän takia lisjäähdytystehoa voi tarvita huoneeseen, vaikka se olisi jo valmiiksi ilmastoitu. Varmistaakseen, ettei vakuumpumpun tuottama lämpö mene hukkaan, se voidaan ottaa talteen lämmönvaihtimella. Tämä keino ei ainoastaan poista lämmön tuottamaa rasitusta vaan myös mahdollistaa lämpöenergian käytännöllisemmän käytön.

Kun kaasu puristuu vakuumpumpussa, se lämpenee, ja tätä kutsutaan puristuslämmöksi. Tämä termodynaaminen ilmiö vaikuttaa myös vakuumpumpuissa, vaikka niiden tehtävä on poistaa ilmaa, mutta imuprosessissa syntyy lämpöä. Suhteessa moottorin tehonkulutukseen noin 70 prosenttia käytetystä energiasta muuttuu lämmöksi. Kiertosiipipumppua käsittelevässä alaluvussa ilmenee, miten puristusilmiö tapahtuu pumpun sisällä.

Ilman minkäänlaista lämmöntalteenottoa tämä ylimääräinen lämpö vapautuu ympäröivään tilaan hukkalämpönä. On kuitenkin järkevää käyttää tätä hukkalämpöä energian lähteenä, kuten lämmönvaihtimissa. Lämmönvaihdin mahdollistaa hukkalämmön muuntamisen käyttökelpoiseksi lämpöenergiaksi, ja sitä voi käyttää esimerkiksi lämmitysjärjestelmään taikka kuuman veden tuottamiseen. Yleensä noin 50–70 prosenttia moottorin energiankulutuksesta voidaan ottaa talteen energian kulutuksen vähentämiseksi sekä minimoimaan hiilijalanjälkeä.

Kun vakuumpumpuista ei oteta käyttöön lämmöntalteenottoa, syntyy tästä hukkaenergiaa. Samaan aikaan vakuumpumput tarvitsevat lisäviilennystä, kun ne tuottavat lämpöä ympäröivään tilaan. Tämä lisäviilennyt tuo lisäkustannuksia ja kolmea kilowattia hukkalämpöä tarvitsee yhden kilowatin lisäviilennystä tasoittaakseen lämmön. (Busch vacuum 2020, 4.)

### **6.3 Lämmönvaihtimet**

Öljy-vesilämmönvaihtimessa kiertosiipipumppu, joka on öljytiivistetty, lämmitää kammion öljyä sen ollessa käynnissä. Kammiossa tapahtuvan puristuksen aikana syntynyt lämpö siirtyy vaihtimen kautta veteen. Tämä jäähdyyttää öljyä ja mahdollistaa moottorin kuluttaman energian saamisen veden kautta lämmön muodossa.

Vesi-vesilämmönvaihtimia käyttävät pumpput, joiden käyttöneste on normaalisti vesi. Näihin kuuluu pääsääntöisesti nesterengastyhjiöpumput. Vaihtimessa lämpöenergia siirtyy vesikiertoon. Tämä tarkoittaa sitä, että käyttönesteen ja lämmin vesipiirin talteenottojärjestelmä eivät kosketa suoranaisesti toisiaan. Tällä vältytään, etteivät ne mene sekaisin keskenään.

Öljy-ilmalämmönvaihtimissa öljyn tuottama lämpö otetaan talteen ympäristön ilman kautta. Tämä tekniikka houkuttelee, sillä siinä minimoidaan korroosion tuleamista sekä se on helppo huoltaa.

## **7 TUTKIMUS**

Työssä kerättiin HKScan Finland Oy:n keskusvakuumin käytöstä tietoa. Tieto koostui SAP-järjestelmän antamasta tiedosta sekä Siemensin Desigo Insight -ohjelman antamasta vakuumpumppujen käytintiedosta. SAP-järjestelmään kirjatuista huoltotoista ilmeni, kuinka paljon pumpput vaativat huoltoa sekä mitä ne kustantavat. Siemensin Desigo Insight -ohjelmasta kerätty käyntitieto on ohjelman piirtämästä käyntikäyrästä kerättyä käyntitietoa.

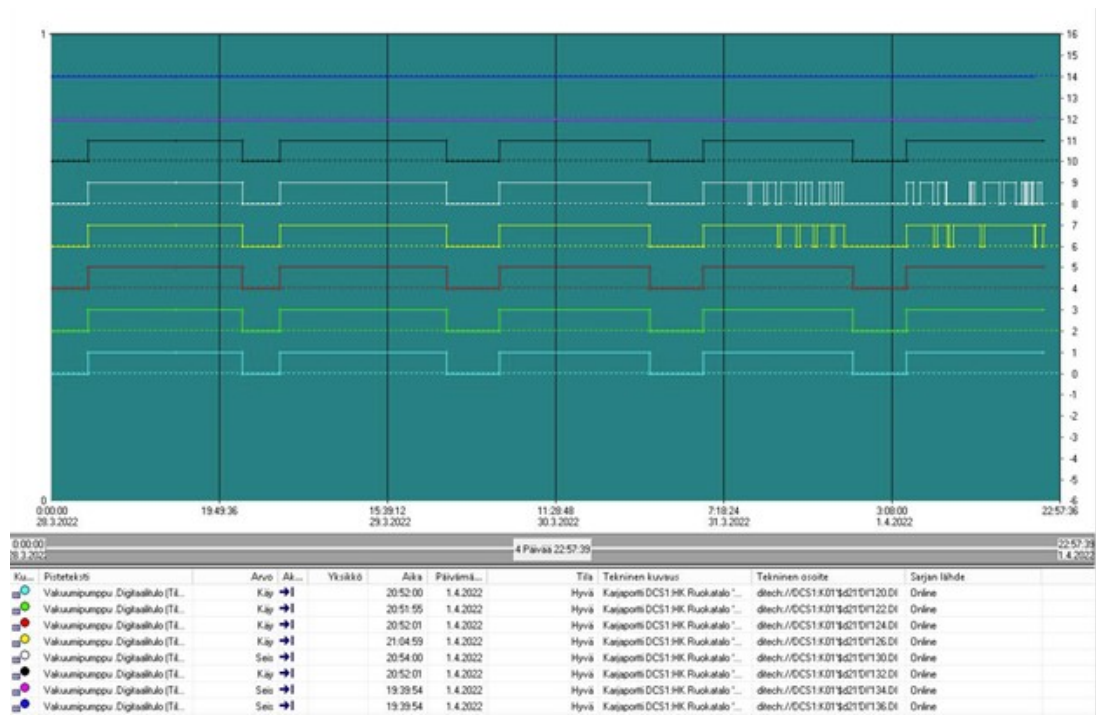
### **7.1 SAP-järjestelmä**

SAP-järjestelmään on kirjattu vuosittain tehty vuosihuolto. Vuosihuollon tekee Buschin omat asentajat. Huoltoon kuuluu tiivisteiden tarkistus/vaihto, öljyjen sekä öljysuodattimen vaihto sekä tarpeen mukaan muuta, jos sille tarvetta. Pumpuille ei ole eritelty SAP-järjestelmään, kuinka paljon huoltotyö maksaa pumppukohtaisesti, vaan sinne on merkitty kaikkien pumppujen huolto. Tämä ei anna kuitenkaan tarkkaa kuvaa siitä, vaatiiko jokin tietty pumppu vuosittain enemmän huoltoa kuin muut. Vuosihuolto kustantaa noin 9000 €, johon kuu-

luu huolto sekä varaosat. Vakuumpumppeihin vaihdetaan huoltojen yhteydessä uudet öljyt, jotka kustantavat vuosittain 1200 €. SAP-järjestelmän antamat tiedot osoittavat, että vuosittain huoltoon käytetään rahaa noin 10200 €. Summa on suuntaa antava, sillä tähän on laskettu vain vuosihuolto sekä öljyt. Pumput voivat vaatia isompia huoltoja aika ajoin, jolloin kustannukset nousevat, mutta tämä on harvinaisempaa.

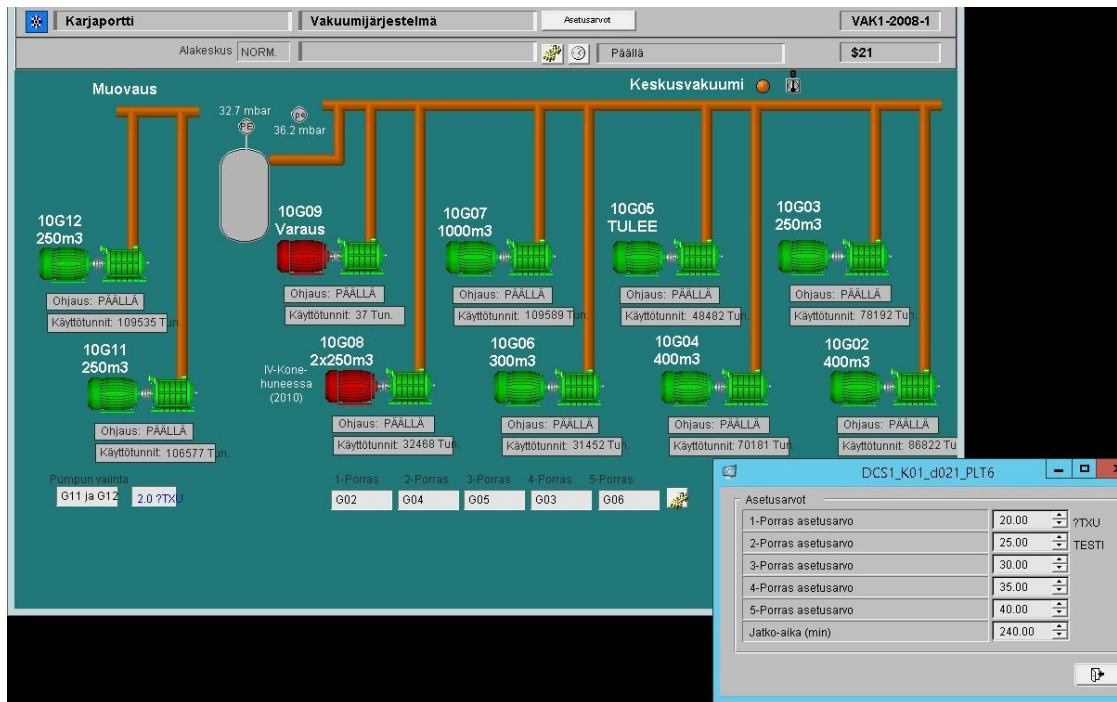
## 7.2 Siemensin Desigo Insight

HKScanin Mikkelin tehdas käyttää kiinteistöjärjestelmänä Siemensin Desigo Insight -järjestelmää. Työssä tiedonkeruuta vaikeutti kiinteistöjärjestelmään tuleva päivitys, jossa nykyinen järjestelmä muutetaan Desigo cc -järjestelmäksi. Desigo Insight -järjestelmän tiedonkeruumahdollisuus HK:n järjestelmästä oli todella huono. Jokaiselta pumpulta sai digitaalitiedon, josta näkyy, käykö pumppu vai ei, ja tämän kautta on kerätty käyntitieto (kuva 6).



Kuva 6. Pumppujen käyntitiedot

Havainnollistamista vaikeutti pumppujen huono nimeäminen, sekä järjestelmässä näkyi pumppuja, joiden paikalla ei fyysisesti sijaitse pumppua.



Kuva 7. Kaavio pumpuista

Kuvan 7 pumpuista 10G09:llä, 10G08:lla sekä 10G06:lla ei ole pumppua liitettyä keskusvakuumiin. Jokaiseen on kuitenkin jätetty ohjaus päälle, mutta näistä kolmesta pumpusta ainoastaan 10G06 on käytössä järjestelmän mukaan ja kytkeytyy päälle tarvittaessa. Pumppujen ohjaus tulee paineastiaan asennetusta painemittarista, joka lähettää kiinteistöjärjestelmään painetietoa millibaareina. Tämän millibaariarvon saamiseksi järjestelmään on täytynyt laittaa anturilta saamaan tietoon korjauskerrointa. Vakuumilinjassa on analoginen painemittari, johon vertaamalla saadaan kiinteistöjärjestelmään korjauskerroin.

Pumput lähtevät käyntiin, kun kiinteistöjärjestelmään tullut tieto saavuttaa, sille annetun arvon. Kuvasta 6 voi huomata, että käynnistys on määrätty viiteen porrastukseen ja kullekin porrastukselle on annettu oma arvo. Porrastukset näkyvät kuvassa 5, mutta tämä ei anna kuitenkaan oikeaa kuvaa, sillä ykkösportaassa kytkeytyy G02 sekä G07. Tämä käytäntö on kuitenkin kokonaan painemittarin varassa, joka syöttää tietoa kiinteistöjärjestelmään.

### 7.3 Pumppujen sähkönkulutus

Kiinteistöjärjestelmästä saadun käyntitiedon perusteella kullekin pumpulle pysyy laskemaan sähkönkulutuksen. Pumppujen moottoreista otetuista tyyppikil-

vistä sekä vaiheille menevästä virrasta on laskettu sähkön kulutus pumppu-kohtaisesti. Kiinteistöjärjestelmän muutostöiden seurauksena käyntitietoa on kerätty vain viikolta, mutta tämä antaa yleiskuvaa sähkönkulutuksesta. Taulukon 2 käyntitiedot on kerätty päiväkohtaisesti, ja tämän jälkeen ne on laskettu yhteen.

Taulukko 2. Käyntitiedot tunteina päiväkohtaisesti

	28.3.2022	29.3.2022	30.3.2022	31.3.2022	1.4.2022	Viikossa ollut käynnissä
10G02	18:12	19:35	17:41	17:41	17:45	90h 54min
10G03	18:12	19:35	17:41	17:41	17:45	90h 54min
10G04	18:12	19:35	17:41	17:41	16:35	89h 44 min
10G05	18:12	19:35	17:41	15:11	15:00	85h 39 min
10G07	18:12	19:35	17:41	17:41	17:45	90h 54 min
10G11	18:12	19:35	17:41	17:41	17:45	90h 54min
10G12	18:12	19:35	17:41	17:41	17:45	90h 54min

Pumppuja pyörittävistä moottoreista on mitattu joka vaiheelta virta-arvot ja syötetty ne taulukkoon 3.

Taulukko 3. Moottorien virta-arvot (A)

	10G02	10G03	10G04	10G05	10G07	10G10	10G11
L1	26,2	19,20	27,3	17,9	28,5	9,5	9,4
L2	25,1	19,6	26,7	17,9	28,2	9,4	9,3
L3	25,5	18,5	28,1	17,50	27,6	9,1	9,1
ka	25,60	19,10	27,37	17,77	28,10	9,33	9,27

Taulukkoon 4 on koottu jokaisen pumpun moottorin tyyppikilven arvot.

Taulukko 4. Pumppuja pyörittävien moottorien tyyppikilpien arvot

	v	Hz	min -1	kW	Cosφ	A
10G02	400	50	960	18.5kw	0,79	38
10G03	400	50	1455	5.5kW	0,82	12,80
10G04	400	50	975	22kW	0,81	42,80
10G05	400	50	1455	7.5kW	0,86	14,10
10G07	400	50	970	22kw	0,81	44
10G10	400	50	1440	5.5kw	0,84	12
10G11	400	50	1440	5.5kw	0,71	13,8

Taulukkojen 3 ja 4 mukaan on laskettu moottorille syötetty teho kaavalla 3. Tässä on kuitenkin otettava huomioon, että paikalla 10G03 sekä 10G05 on

pumppukokonaisuudet. Näihin kuuluu kaksi saman tehoista pumppua, ja tämän kautta on myös kaksi moottoria.

Taulukko 5. Moottorille syötetty teho

	W	kW
10G02	14011	14,01
10G03	10850	10,85
10G04	15357	15,36
10G05	10585	10,59
10G07	15769	15,77
10G10	5431	5,43
10G11	4558	4,56

Taulukon 2 ja 5 arvoja hyödyntäen kaavalla 4 on laskettu, kuinka monta kilowattituntia moottorit tarvitsevat pyöriäkseen tarkasteltuna ajankohtana. Taulukkoon 6 on laskettu kilowattitunti sekä sähkönkulutus euroina. Sähkönhinta perustuu viime vuoden sähkönhinnan keskiarvoon 12 kk ajalta, joka oli 6,8 snt/kWh.

Taulukko 6. Energian kulutus sekä sen hinta euroina

	kWh	Euroa
10G02	1273,65	86,61
10G03	986,35	67,07
10G04	1378,10	93,71
10G05	906,68	61,65
10G07	1433,43	97,47
10G10	493,74	33,57
10G11	414,35	28,18
Yhteensä	6886,30	468,27

Taulukosta 6 voi havaita, kuinka paljon vakuumpumput kustantavat viikkotasolla. Saadakseen paremman kuvan on tämä summa kerrottu 52, jotta on nähtävissä kustannukset vuositasolla. Vakuumpumput kustantavat vuositasolla pelkästään sähkönkulutukseen 24350 €. Tähän kuitenkin pitää lisätä vielä vuosittain tehty huolto (10200 €), jonka jälkeen vakuumpumput kustantavat vuodessa 34550 €.

## 7.4 Pumppujen tiedot

HKScan Finland Oy:n Mikkelin toimipaikalla ei ole nopeasti saatavilla tietoa vakuumpumppujen tyypeistä, ja tämän seurauksena koen tarpeelliseksi koota tyyppikilvistä taulukon. Taulukko 7 auttaa tulevaisuudessa tarjouspyyntöjen suhteen.

Taulukko 7. Vakuumpumppujen tyyppikilvet

	Type	No:	p	Oil ISO VG
10G02	RC 0630 B 462 ZZZZ	C0001000143	20 hPa (mbar)	100 / 15l
10G03	RA 0302 D5Z1 CWZZ	C1107000412	0.1 hPa (mbar)	100 / 6.5 L
	RA 0302 D5Z1 CWZZ	C1107000039	0.1 hPa (mbar)	100 / 6.5 L
10G04	RA 1000 B 401 EKBN	C0619000113	0.5 hPa (mbar)	100 / 30 L
10G05	RA 0302 D5Z3 DIXZ	C1149000461	0.1 hPa(mbar)	100 / 6.5 L
	RA 0302 D5Z3 DIXZ	C1149000460	0.1 hPa (mbar)	100 / 6.5 L
10G07	RA 1000 B 4ZI EKZZ	PF04960101	0.5 mbar	100 / 30 L
10G10	Ei dataa saatavissa			
10G11	RA 0250 D 501 XXX	C9927000178	0.5 mbar	100 / 6.5 L

## 8 POHDINTA

HkScan Finland Oy:n Mikkelin toimipaikan keskusvakuumilinjasto on toiminnaltaan vakaa, mutta se sisältää paljon epäkohtia, jotka uudella tekniikalla pystytään poistamaan. Toimivuudeltaan vakuumilinjasto ajaa, sille tarkoitetun asian, mutta sen ohjauksessa on parannettavaa kuten myös lämmöntalteenotto mahdollisuuksissa.

Portaittain tapahtuva ohjaus ei suoraan ole verrannollinen vakuumin tarpeeseen, sekä porrastuksessa voi ilmetä ongelmia. Ongelmaksi työnaikana havaitsin, että pumppu voi olla päällä vain hetken, jonka jälkeen se kytkeytyy pois päältä. Tämä toiminto saattoi ilmetä useasti jopa tunnin sisällä.

Paineanturi, joka antaa pumpuille käynnistystiedon on epävarma, sillä se tarvitsee korjauskertoimen, jonka pystyy järjestelmään syöttämään väärin tai se voi kadota sieltä. Väärää tietoa antava anturi voi pitää kaikkia pumppuja päällä, vaikka vakuumin tarve olisi todella pieni tai olematon.

Lämmöntalteenotto mahdollisuudet ovat huonot, sillä nykyisten pumppujen tuottama lämpö päästetään huoneilmaan. Vakuumipumput sijaitsevat huoneessa, jonka lisäjähdytystä on vaikeaa lähteä tutkimaan sen laajuuden ja muodon vuoksi. Tämän seurauksena lisääjähdystä ei ole lähdetty tarkemmin määrittelemään. Tulevaisuudessa kannattaakin harkita pumppujen sijoittamista uudelleen, jolloin lisääjähdys on helposti seurattavissa. Pumppujen sijainti on myös suunniteltava niin, että niiden lämmöntalteenotto mahdollisuuksia päästään hyödyntämään. Tämä kuitenkin toisi lisäkustannuksia, sillä nykyisillä pumpuilla ei ole Pumppujen tuottamaa hukka energiaa voisi käyttää tarpeen mukaan, vaikka veden lämmittämiseen.

Vakuuminlinjaston kokonaisuutta ei ole mitattu, minkä seurauksena on todella haastavaa mitoittaa uusi kokonaisuus, jonka saisi kulkemaan käsikädessä vakuumin tarpeen mukaan. Vakuuminlinjan sekä sitä tarvitsevien koneiden yhteistilavuus täytyisi saada selville, jotta mitoitus päästään toteuttamaan. Tällä hetkellä toteutuksen voi tehdä ainoastaan nykyisten pumppujen mukaan, mutta tässä ei nähdä, kuinka suuri tehoisia pumppujen täytyy olla todellisuudessa. Vakuuminlinjaston kokonaisuus olisi hyvä mitata tulevaisuudessa, jonka jälkeen voi pyytää tarjousta uusien pumppujen hankinnalle.

Tulevaisuudessa olisi hyvä mitata vakuuminlinjaston sekä sitä käyttävien koneiden yhteistilavuus. Yhteistilavuuden kautta olisikin hyvä lähteä pyytämään tarjousta uuden pumppukokonaisuuden hankintaan. Tässä on hyvä miettiä sijainti uudelleen sekä lämmöntalteenotto mahdollisuudet.

## LÄHTEET

ABB. 2001. Tekninen opas nro 7. Sähkökäytön mitoitus. PDF-dokumentti. Saatavissa:

[https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf) [viitattu 29.05.2022].

Busch vacuum. 2020. White paper efficient use of waste heat. PDF-dokumentti. Saatavissa:

[https://www.buschvacuum.com/documents/10180/521178/Busch\\_Whitepaper\\_HeatRecovery\\_EN.pdf](https://www.buschvacuum.com/documents/10180/521178/Busch_Whitepaper_HeatRecovery_EN.pdf) [viitattu 8.6.2022].

Chambers, A., Fitch, R. K. & Halliday, B.S. 1998. Basic Vacuum Technology. Second Edition. London: The Institute of Physics.

HkScan Finland Oy. Yrityksen WWW-sivut. Saatavissa:

<https://www.hkscan.com/fi/> [viitattu 26.03.2022].

Hulkkonen, V. 2006. Tyhjiötekniikka pumput. Fluid klinikka no 15. Fluid Finland. PDF-dokumentti. Saatavana:

<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/14.tyhjiotekniikka-pumput.pdf> [viitattu 27.03.2022].

Hulkkonen, V. 2005. Tyhjiötekniikan perusteet. Fluid klinikka no 12. Fluid Finland. PDF-dokumentti. Saatavana:

<https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/15.tyhjiotekniikan-perusteet.pdf> [viitattu 26.03.2022].

Saarinen, K. 1981. Tyhjiön mittaaminen. Jyväskylän yliopisto. Fysiikan laitos. Pro gradu -työ.