



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JANI KIRKANEN

Adsorptiokuivainten kuivausaineen vaihdon tehostaminen

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Kirkanen Jani	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä maaliskuu 2022
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Adsorptiokuivainten kuivausaineen vaihdon tehostaminen		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan Tutkinto-ohjelma		
<p>Työn tarkoituksena oli kehittää ja kokeilla adsorptiokuivainten kuivausaineen vaihtoon käsitäytön ja ejektoritäytön tilalle alipaineella toimiva täyttömenetelmä, tarvittavat laitteet ja työohje Oy Atlas Copco Kompessorit Ab:n käyttöön</p> <p>Laitteisto rakennettiin helposti saatavilla olleista ja edullisista komponenteista. Alipaineen lähteeksi käytettiin olemassa olevaa teollisuusimuria. Alipaineistamalla kuivaimen torni adapterin avulla saatiin kuivausaine liikkumaan letkuja pitkin. Kuivausaineen virtauksen säätöä varten valmistettiin siihen soveltuva imuputki. Koeajot suoritettiin todellisissa täyttötilanteissa asiakkaiden luona. Työssä tutkittiin siirron muodostaman pölyn määrää ja määriteltiin sopivat perussäädöt imuputkelle.</p> <p>Lopputuloksena saatiin toimiva järjestelmä helpottamaan kuivausaineen vaihtotyötä. Samalla onnistuttiin vähentämään työntekijä tarvetta kuivausaineen vaihtotyössä.</p>		
Avainsanat Kompessorit, paineilma, ilmankosteus, adsorptio, kuivaus,		

Author(s) Kirkanen Jani	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2022
	Number of pages 41	Language of publication: Finnish
Title of publication Increase of desiccant change in adsorption dryers		
Degree programme Mechanical Engineering		
<p>Purpose of this thesis was to develop and test vacuum equipment filling method and work instructions for adsorption driers desiccant change to replace man powered and ejector filling for Oy Atlas Copco Kompressorit Ab.</p> <p>The equipment was constructed from accessible and inexpensive components. An existing industrial vacuum cleaner was used for a vacuum source. By creating vacuum in dryer and using an adaptor was it possible to get the desiccant to transfer through hoses. Suction pipe was constructed for adjusting desiccant flow. Test runs was carried out in real desiccant change work at customers. Dust formation and basic adjustments for the suction pipe was examined during this thesis.</p> <p>The result was a functional system to ease of desiccant change work and the need of workers for desiccant change decreased as well.</p>		
Keywords Compressors, air pressure, air humidity, adsorption, drying		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 OY ATLAS COPCO KOMPRESSORIT AB.....	7
3 KUIVAUSAINEIDEN VAIHTO	8
3.1 Kuivausaineiden vaihdon tarve	8
3.2 Kuivausaineiden tyhjennys	9
3.2.1 Tyhjennyksen jälkeiset muut toimenpiteet	9
3.3 Täyttö aikaisemmilla menetelmillä	10
4 KAASULAIT	11
4.1 Yleiset kaasulait	11
5 PAINEILMA JA PAINEILMAN KUIVAUS	12
5.1 Paineilma kompressorit.....	12
5.1.1 Mäntäkompressori	14
5.1.2 Ruuvikompressori.....	15
5.2 Paineilman kuivaus	19
5.2.1 Kuivain tyypit	22
5.2.2 Jäähdytyskuivain.....	22
5.2.3 Membraani eli kalvokuivain.....	24
5.2.4 Adsorptiokuivaus	24
5.2.5 Adsorptiokuivain	25
5.2.6 Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate	28
6 KUIVAUSAINEIDEN VAIHTO ALIPAINEEILLA.....	30
6.1 Täyttö alipaine menetelmällä	30
7 ALIPAINETÄYTTÖLAITTEISTO	30
7.1 Alipainelaitteiston rakenne.....	30
7.2 Imuri.....	30
7.3 Tornin täyttöyhde	32
7.4 Kuivausaineen imuputki.....	33
7.5 Maadoitukset	34
8 ALIPAINETÄYTTÖ LAITTEISTON KYTKENTÄ JA KÄYTTÖ	35
8.1 Laitteiston kytkentä.....	35
8.2 Tiiviiden tarkastus	36
8.3 Täyttö tapahtuma.....	37
9 KUIVAUSAINEEN SIIRTO	38
9.1 Kuivausaineen hajoaminen pölyksi.....	38
9.2 Suutin säädön muut vaikutukset.....	40

10 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

PDP (Pressurized dewpoint) – Paineellinen kastepiste (C °)

ADP (Atmospheric dewpoint) – Atmosfäärinen kastepiste (C °)

PPM (Parts per milloin) – Suhdeluku

p – paine (Pascal)

V – tilavuus (m³)

T – lämpötila (Kelvin)

n – hiukkasten lukumäärä

NTP – normaali lämpötila ja paine

1 JOHDANTO

Tämän tilaaja on Oy Atlas Copco Kompessorit Ab. Työn tarkoituksena oli kehittää ja kokeilla paineilman adsorptiokuivainten kuivausaineen täyttöä helpottavaa alipainelaitteistoa ja menetelmää. Aiemmillä menetelmillä suurissa adsorptiokuivaimissa käsityönä täyttö sitoi useampia työntekijöitä, työ oli raskasta ja aikaa vievää, koska kuivaimet voivat olla useampia metrejä korkeita. Paineilma toimista ejektoria käytettäessä vaati ejektori paljon paineilmaa. Työn aikainen kuivausainepöly likasi työskentelytilan ja oli terveysriski työntekijöille. Kuivausainepöly on vahvasti ihoa ja limakalvoja kuivaava. Ejektori käyttöön ei aina ollut myös riittävästi paineilmaa saatavilla, jos esimerkiksi työ tehtiin jonkin tehtaan vuosihuollossa, ja kompressorit eivät olleet käytössä tai asiakkaalla olevien kompressoreiden paineilman tuotto oli ejektorille riittämätön. Lopputuloksena saatiin laitteisto ja sen käyttöön liittyvät työohjeet Oy Atlas Copco Kompessorit Ab käyttöön. Laitteiston suunnittelun lähtökohtana oli käyttää olemassa olevia ja edullisia, sekä helposti saatavilla olevia laitteita, komponentteja ja materiaaleja.

2 OY ATLAS COPCO KOMPRESSORIT AB

Oy Atlas Copco Kompessorit Ab kuuluu maailman johtavimpiin kompressori ja paineilmaratkaisuja toimittavaan globaaliin Atlas Copco konserniin. Yritys myy ja huoltaa erityyppisiä paineilma ja kaasukompressoreita, paineilman jälkikäsitteilylaitteita, kuten paineilmankuivaimia. Lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu alipainepumput, happi- ja typpigeneraattorit. Oy Atlas Copco Kompessorit Ab:n markkina alue on Suomen lisäksi Baltian maat. Atlas Copco tuli Suomeen ensimmäisen kerran vuonna 1908, kun Oy Julius Tallberg Ab myi ensimmäisen kompressorin Ahlströmin Viipurin tehtaalle. Yrityksen nimi muuttui Oy Julius Tallberg Ab:stä Oy Atlas Copco Ab:ksi 1950 luvulla. 1987 Suomeen perustettiin oma Atlas Copco myyntiyhtiö ja vuonna 1990 yhtiö sai divisioonajakaisen organisaation. Samalla muodostettiin kolme operatiivista yksikköä, Oy Atlas Copco Kompessorit Ab, Oy Atlas Copco Louhintatekniikka Ab ja

Oy Atlas Copco Tools Ab. Vuonna 2016 Atlas Copco juhli 110 vuottaan Suomessa. (Atlas Copco Kompessorit, 2022.) Yrityksen pääkonttori Suomessa on sijainnut Vantaan Hakkilassa vuodesta 2014 lähtien. Huoltoasentajat ovat kuitenkin sijoittuneet ympäri maata, kattaen koko suomen alueen. Yrityksessä toimii maailmanlaajuisesti 40,000 työntekijää yli 180 maassa. Liikevaihto oli vuonna 2020 10 miljardia euroa ja käyttökate 19.2 %. (Atlas Copco Kompessorit, 2022.)

Oy Atlas Copco Kompessorit Oy:n liikevaihto oli vuonna 2020 25 miljoonaa euroa ja liikevoitto 3,0 %. Vuoden 2020 lopussa henkilöstömäärä oli 86. (asiakastieto.fi 5.2.2022.)



Kuva. 1. Atlas Copco Suomen pääkonttori Vantaa Hakkila 2015 (Atlas Copco)

3 KUIVAUSAINEIDEN VAIHTO

3.1 Kuivausaineiden vaihdon tarve

Vaihtotarpeen määrittelee usein valmistaja vaihtosuositukset tai, kun kuivausaine ei enää pysty saavuttamaan sille tyypillistä taattua kastepistettä. Kompessorista kuivaimeen pääsevä mahdollinen öljy imeytyy kuivausaineeseen ja tämän jälkeen öljyn kyllästävät kuivausaine rakeet eivät enää kuivaamaan paineilmaa. Ajansaatossa

alkaa kuivausaineen rakeiden sideaine rikkoutumaan pölyksi johtuen esim. lämpöelvytteisten kuivainten jatkuvasta lämmitys ja jäähdytys toiminnasta. Pöly tukkii kuivainta ja suodattimia heikentäen kuivaimen suoritus kykyä. Kuivaimen ylikuormitus rasittaa kuivausainetta. Liiallinen virtaus heikentää kuivaustehoa, koska ilma ei viivy kuivaimessa tarpeeksi kauan ja suuri virtausnopeus alkaa myös liikuttamaan kuivausaine rakeita ja rakeet alkavat jauhautua toisiaan vasten pölyksi.

3.2 Kuivausaineiden tyhjennys

Kuivausaineet tyhjenetään tornien alaosissa olevista tyhjennys yhteistä, joko valuttamalla kuivaus aineet keruu astioihin tai käyttämällä suurtehoimuria, esim. imuautoa. Kaikissa kuivain malleissa ei ole tyhjennys yhdettä torneissa, näissä tapauksissa kuivausaineet joudutaan imemään suurtehoimurilla tornien yläpäässä olevista tyhjennys yhteistä. Kaikissa kuivaimissa ei myöskään ole täyttö yhdettä torneissa. Täyttö- ja tyhjennys yhteiden puuttuessa, joudutaan irrottamaan lähtevän ilman putket torneista irti ja imemällä näiden yhteiden kautta kuivausaineet pois torneista.

3.2.1 Tyhjennyksen jälkeiset muut toimenpiteet

Tornien tyhjennyksen jälkeen tehdään tarkastus, jos kuivaimen yhden tornin painetilavuus ylittää 3000bar*1 on torni painelaiterekisteröitävä painelaite (Painelaite laki 6.12.2016/1144, 2016, 9 § 51 mom.). Rekisteröityihin painelaitteisiin suoritetaan normaalisti hyväksytyyn tarkastuslaitoksen suorittama määräaikainen neljän vuoden välein painelaitelakiin perustuva painelaitteen määräaikaistarkastus. Pienemmissä rekisteröimättömissä kuivaimissa on myös hyvä tarkastaa kuivaimen tornit omavalvontaan perustuvana silmämääräisenä sisäpuolisena tarkastuksena. Tyhjennyksen jälkeen suoritetaan usein laitevalmistajan huolto-ohjelman suositusten mukaiset tarkastukset ja komponenttien vaihdot, kalibroinnit ja säädöt esim. elvytysilmapuhaltimen moottorin laakereiden vaihdot, venttiileiden tarkastukset tai vaihdot.

3.3 Täyttö aikaisemmillä menetelmillä

Aikaisemmin käytössä on ollut pääasiallisesti kaksi erilaista kuivausaineiden täyttö menetelmää. Ensimmäinen on käsin täyttö. Kuivausaine kauhotaan 208 l tynnyreistä tai suursäkeistä käsityönä ämpäriin ja nostetaan kuivaimen yläpäähän ja kaadetaan suppilon avulla täyttöyhteestä torniin. Lisäksi kuivaimen tornien korkeus voi olla useampia metrejä, joten tarvitaan työtelineet, joissa on hyvät kulkureitit. Tämä työ vie aikaa ja vaatii työntekijöiltä fyysisiä ponnisteluita, koska kuivausaine määrä voi olla useampia tuhansia kiloja yhdessä kuivaimessa. Oletetaan esimerkiksi, että kuivaimen tornit sisältävät yhteensä noin 5000 l kuivausainetta ja täyttö suoritetaan normaalilla kotitalouskäytössä olevalla 8l muoviämpärillä. Tämä tarkoittaa sitä, jos ämpäriin täytös on noin 7 l, että ei ihan täydestä ämpäristä valuisi lattialle kuivausainetta. Kuivausaineen vaihdossa pitäisi työtelineitä kiivetä edestakaisin noin 715 kertaa, jotta koko ainemäärä on kannettu kuivaimen täyttöyhteelle. Kaadettaessa kuivausainetta torniin, muodostuu kaadon yhteydessä ympäristön ilmaan kuivausainepölyä. Kuivausainepöly kuivaa paineilman lisäksi erittäin tehokkaasti työntekijän limakalvoja ja ihoa. Menetelmä vaatii, että käyttäjällä on hyvät pölyä läpäisemättömät työvaatteet, käsineet, hengitys- ja silmien suojaus. Kuivausaineen kantamisen ja kaadon yhteydessä pääsee yleensä myös kuivausainetta valumaan lattialle. Lattialla oleva pyöreärakeinen kuivausaine aiheuttaa erittäin suuren liukastumisvaaran. Isommissa kuivaimissa käsin täyttötyö sitoo kuivausaineen täyttötyöhön normaalisti 2–3 työntekijää.

Paineilma toimisen ejektorin käyttö kuivausaineen täytössä on tehokas täyttömenetelmä. Tämä menetelmä ei vaadi fyysistä ponnistelua ja siihen riittää yksi työntekijä. Ejektorin vaatii kuitenkin paljon paineilmaa, jotta se toimii. Aina ole saatavilla tarpeeksi paljon paineilmaa ejektorin käyttöön esim., kun suurten kuivaimien kuivausaineiden vaihto joudutaan ajoittamaan tuotantolaitosten vuosihuoltoihin, jolloin voi koko paineilmaverkko olla muista korjaus- ja huoltotöistä johtuen paineeton. Ilman saatavuus voi olla myös ongelma silloin, kun teollisuuden paineilman mitoitus on tehty niin tarkkaan, että ilmaa ei enää riitä ejektorille tuotannon tarpeen lisäksi. Ejektorin käyttö aiheuttaa erittäin suuren kuivausainepöly kuormituksen ympäristöön kahdesta syystä. Kuivausaine pakkauksissa on jo valmiiksi hienojakoista kuivausainepölyä ja koska kuivausaine puhalletaan paineilman avulla torniin, tarvitsee kuljetukseen käytetty paineilma saada purettua tornista pois, niin kevyt pöly kulkeutuu ilman mukana ympäristöön. Lisäksi ejektoria käytettäessä on kuivausaineen nopeus hetkellisesti ejektorin

suutinten jälkeen suuri ja nopeus aiheuttaa kuivausaineen törmäilyä ja hankautumista kuivausainerakeet itsensä ja ejektorin letkun sisäseiniä vasten. Tämä lisää ympäristöön pääsevää pölymäärää entisestään. Työntekijällä on oltava tässäkin työssä hyvät pölyä läpäisemättömät työvaatteet, käsineet, hengitys- ja silmien suojaus. Täytön jälkeen on koko kuivaimen sijoitustilan taso pinnoilla kuivausaine pölyä, joka joudutaan siivoamaan pois. Välillä siivoaminen kaikkialta on lähes mahdotonta, johtuen korkeista asennustiloista, suurista ja haastavasti sijoitelluista putkistoista tai kaapelihyllyistä.

4 KAASULAIT

4.1 Yleiset kaasulait

”Boylen laissa kaasun paineen muutos on kääntäen verrannollinen kaasun tilavuuteen. Boylen laki pätee, kun lämpötila ja ainemäärä on vakio. (Tukiainen, Kulla, Pirinen, 2017, s.8) Boylen lain mukaan prosessi on isoterminen.

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

”Gay–Lussacin lain mukaan kaasun paine on suoraan verrannollinen kaasun lämpötilan muutokseen, mikäli kaasun tilavuus ja ainemäärä pysyvät vakiona.” (Tukiainen, Kulla, Pirinen, 2017, s.9) Gay-Lussacin lain mukaan prosessi on isobaarinen.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

”Avogadron lain mukaan kaasun tilavuus on suoraan verrannollinen sen ainemäärään silloin, kun kaasun ainemäärä, lämpötila ja paine ovat samat alku- ja lopputilanteessa.” (Tukiainen, Kulla, Pirinen, 2017, s.9)

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

”Charlesin lain mukaan kaasun tilavuus ja paine ovat suoraan verrannollisia, mikäli ainemäärä ja paine pysyvät vakiona.” (Tukiainen, Kulla, Pirinen, 2017, s.9) Charlesin lain mukaan prosessi on isobaarinen.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Yhdistämällä Boylen ja Gay-Lussacin lait saadaan ideaalikaasun yhtälö.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Laskelmissa käytetään aina kaasua NTP-olosuhteissa. NTP- olosuhde tarkoittaa, että kaasun lämpötila ja paine lähtö tilanteessa on 0 C ° ja paine on 100000 Pa (1 Bar atmosfääristä). Paineilma ei ole ideaalikaasu, vaan reaalikaasu, joka käyttäytyy hieman eri lailla (Tukiainen, Kulla, Pirinen, 2017, s. 8). Paineilmalaskelmissa voidaan kuitenkin käyttää ideaalikaasuyhtälöä, koska paineilma käyttäytyy normaali olosuhteissa lähes ideaalikaasun lailla (Siikalatvan Lukio, n.d., s. 1). Esimerkiksi 270 l eli 0,27 m³ säiliössä on 7 Bar paine. Vapautettaessa se normaalipaineiseksi kasvaa ilman tilavuus 1,89 m³. Käänteisesti ajateltuna tarvitaan 1890 l normaalipaineista ilmaa puristettavaksi 270 l säiliöön, jotta saavutetaan säiliöön 7bar paine.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow \frac{p_1 V_1}{p_2} = V_2 \rightarrow \frac{100000 Pa * 0,270 m^3}{700000 Pa} = V_2 \rightarrow \underline{1,89 m^3}$$

5 PAINEILMA JA PAINEILMAN KUIVAUS

5.1 Paineilma kompressorit

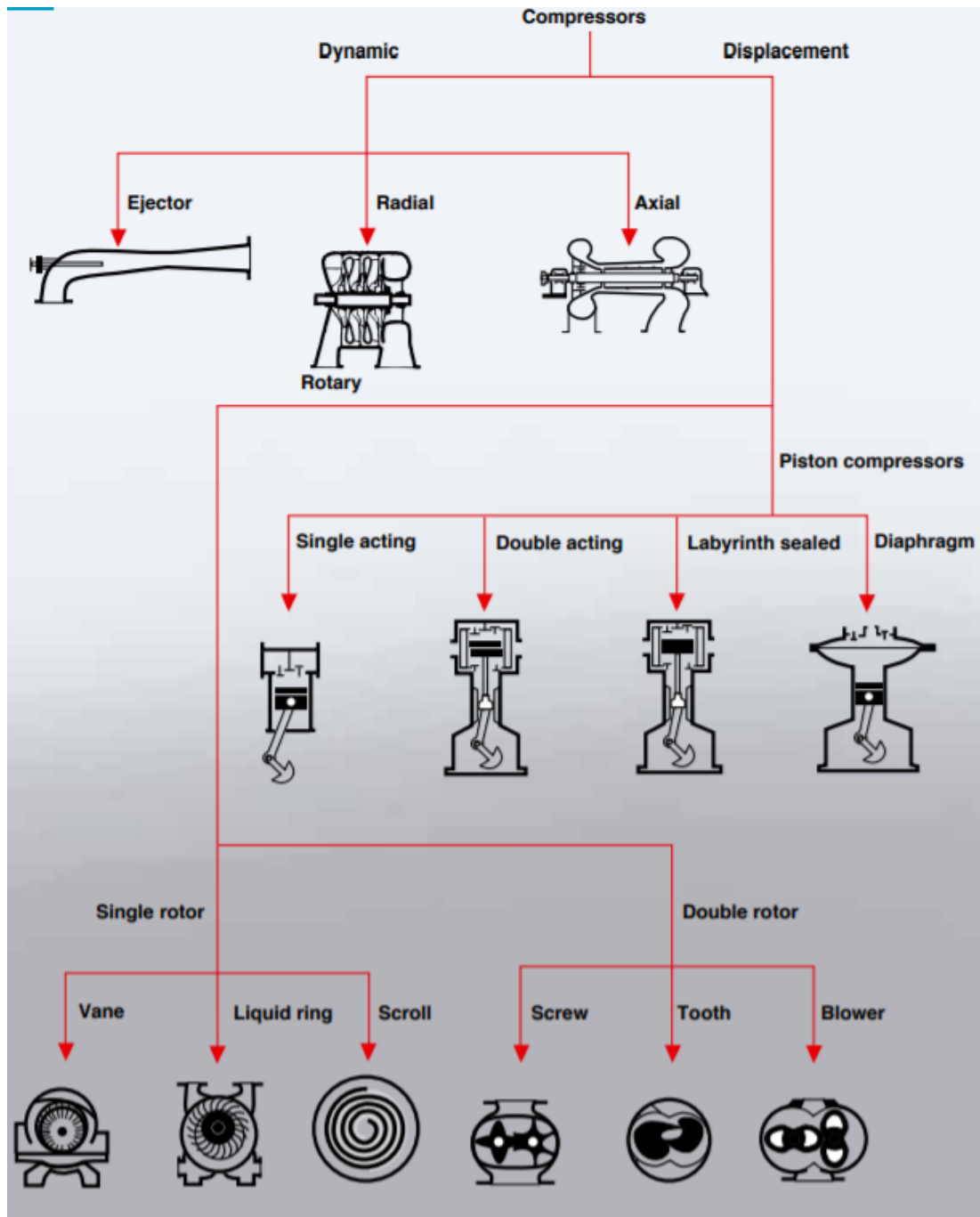
Laitteella, jolla korotetaan ilman painetta vähintään yhden baarin verrattuna imupaineeseen, kutsutaan sitä kompressoriksi. (Kuukka, 2010, s. 13) Kompressorin tyyppin valinta riippuu siitä, millaiseen käyttöön kompressorit on suunniteltu. Keskeisimmät

valintaperusteet ovat käyttötarkoitus, kompressorin tuotto, loppupuristus paine ja paineilman haluttu laatu. Kompessoreiden valinnassa on myös huomioitava ympäristön olosuhteet. Ympäristön lämpötila ja epäpuhtaudet vaikuttavat kompressorin kestävyys-teen ja myös tuottoon. Erittäin pölyisiin tiloihin, ei esimerkiksi öljyvapaata lamellikompressoria suositella asennettavaksi. Ympäristön, toisin sanoen imuilman lämpötila vaikuttaa suoraan kompressorin tuottoon (taulukko 1). Tämä perustuu suoraan Charlesin kaasulakiin, mitä suurempi lämpötila, sitä suurempi tilavuus vakio paineessa. (Tukiainen, Kulla, Pirinen, 2017, s.9)

Taulukko 1. Lämpötila ja kompressorin tuotto. (Hagner)

Imuilman lämpötila (°C)	Kompressorin tuoton muutos (%)
-30	16
-20	12
-10	9,7
0	5,5
5	3,7
10	2
15,6	0 referenssi lämpötila, yleensä 20 °C
20	-1,6
25	-3,6
30	-4,8
40	-8,4
50	-12
60	-15,5
70	-19

Kuvasta 2 voidaan nähdä yleisimmät käytössä olevat kompressorit ovat ruuvi-, mäntä- ja lamellikompressorit. Kompressorit tyypit jakautuvat kahteen pää ryhmään riippuen siitä onko kyseessä staattisesti vai kineettisesti puristava kompressorit, lisäksi staattisesti puristavat kompressori jakautuvat pyöriviin ja mäntä kompressoreihin (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s.23).



Kuva 2. Kompressori tyypit. (Atlas Copco)

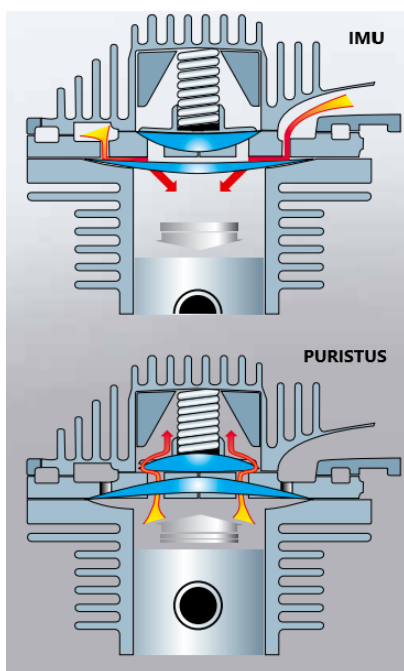
5.1.1 Mäntäkompressori

Yleisin mäntäkompressoreihin liittyvä laite, jonka lähes kaikki tunnistavat on polku-
pyöränpumppu. Sen toiminta periaate on yksinkertainen. Syliterin tilavuutta muute-
taan liikkuvan männän avulla, jolloin tilavuuden pienentyessä ilmanpaine kasvaa.

Mäntäkompressor on vanhin ja yleisin teollisuudessa käytetty kompressorityyppi. Mäntäkompressor on kaksitahtinen, eli siinä on puristus- ja imutahti. Mäntäkompressorityyppejä on useita, yksinkertaisimmat ovat yksisylinterisiä. Monimutkaisimmat voivat olla V-lohkoisia, useampi sylinterisiä, joissa puristus tapahtuu useammassa vaiheessa, näitä ovat esim. korkeapaineiset kompressorit, joiden tuottama loppupaine on satoja Bar painetta. Kompressoreissa on myös omatoimiset imu- ja poistoventtiilit, jotka toimivat sylinterin sisäisen ja ulkoisen paine-eron avulla.

(Atlas Copco compressed air book 9th edition. 2019).

Mäntäkompressorin männän liikkua alas imuvaiheessa ja ylös puristusvaiheessa (kuva 3), sulkee venttiililautaset ilman virtauksen, niin ettei imu vaiheessa imetä ilmaa paineistetulta puolelta ja puristusvaiheessa venttiili sulkee imukanavan, jotta ilmaa ei puristeta takaisin imukanavaan. (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s.35.)

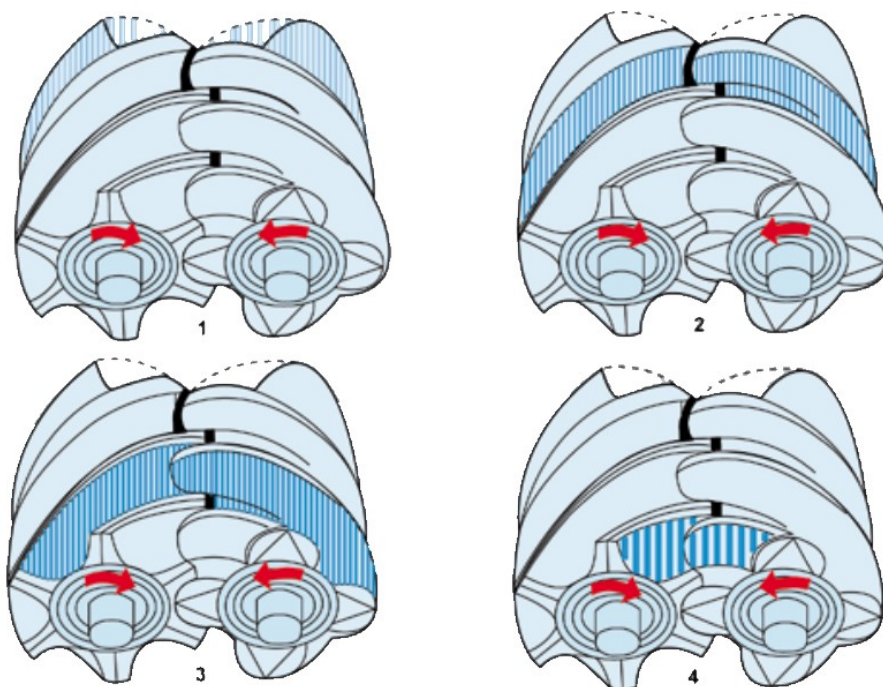


Kuva 3. Atlas Copco L sarjan imu- ja puristustahdit. (Atlas Copco)

5.1.2 Ruuvikompressor

Ruuvikompressor kehitettiin 1930 luvulla, kun tarvittiin suurta tuottoa ja tasaista painetta eri painealueilla. Ruuvikompressoreita on kahta tyyppiä, öljytiivistetty tai öljyvapaa ruuvikompressor. Ruuvikompressorin elementin pääkomponentit ovat

viisiharjainen naaras roottori ja neljäharjainen uros roottori, jotka kumpikin pyörivät toisiinsa nähden eri suuntaan (Kuva 4). Pyöriessään harjojen välinen tilavuus pienenee ja ilma puristuu kasaan. Jokaisella ruuvielementillä on oma sisäänrakennettu painesuhde, joka riippuu roottorin pituudesta, ruuvinharjan noususta ja ulospuhallusaukon geometriasta. Maksimaalisen energiatehokkuuden aikaansaamiseksi täytyy painesuhde mukauttaa haluttuun loppupaineeseen nähden. Ruuvikompressor ei pääsääntöisesti ole varustettu venttiileillä ja ruuviin ei muodostu mekaanisia voimia, jotka aiheuttavat epätasapainoa pyöriviin roottoreihin. Tämä tarkoittaa sitä, että roottoreiden pyörimisnopeudet ovat hyvin suuria ja näin ollen tilavuusvirtaukset ovat suuria ruuvielementin pienestä koosta huolimatta. Imu- ja loppupaineen painesuhteesta muodostuva aksiaalinen vasta voima otetaan vastaan aksiaalilaakereilla. (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 36.)



Kuva 4. Ruuvikompressorin puristusperiaate. (Atlas Copco)

Öllytiivistetyissä ruuvikompressoreissa käytetään öljyä, mukana puristustapahtumassa. Öljy ruiskutetaan ruuvielementin roottoreille ja laakereille.

Ruuvikompressorin öljyllä on 3 tarkoitusta.

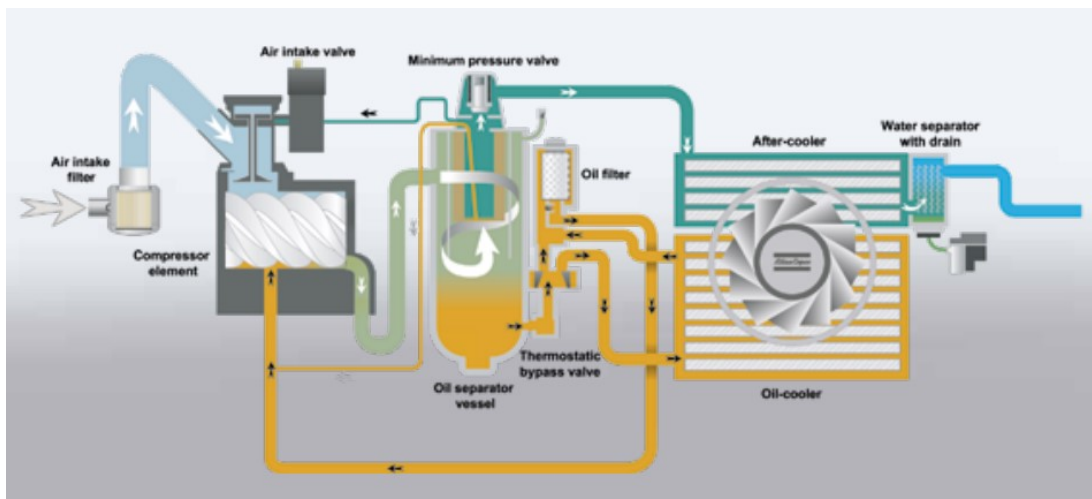
- Tiivistää roottoreiden väliset ja roottoreiden ja rungon väliset pienet ilmarootit, minimoiden sisäiset ohivirtausvuodot
- Jäähdyttää ja kuljettaa pois puristus tapahtumassa muodostuvaa lämpöä

- Voidella roottorit ja roottoreiden laakerit

Öljynkierto saadaan aikaiseksi kompressorin sisäisellä paine-erolla. Tilanteissa, joissa kompressori käynnistyy, kun lähtöpaine on normaali ympäristön paine, tarvitaan kompressoriin minimipaineventtiili. Tämä venttiili takaa sen että kompressorin sisäinen paine käynnistyksen jälkeen on aina öljynkierron vaatima vähimmäispaine, yleensä noin 4 Bar. Minimipaineventtiili toimii myös vastaventtiilinä verkostoon päin, jotta verkoston paine ei pääse kompressoriin päin, kun kompressori pysähtyy. Kompressori on myös varustettu öljynsuodatuksella, öljynerottimella, öljytermostaatilla ja öljynlauhduttimella. Öljyn lämpötilan pitäminen sopivalla tasolla on tärkeää, jotta kompressori ei käy liian kuumana tai liian kylmänä. Korkea lämpötila alkaa hajottamaan öljyä ja hapettumistuotteet eli hartsit muuttamaan öljyn ominaisuuksia. Lämpötilan noustessa korkealle putoaa öljyn viskositeetti liiallisesti. Viskositeetin pieneneminen pienentää öljypisaran kokoa ja öljynerotin ei enää pysty erottamaan pienempiä öljypisaroita ilmasta tehokkaasti. Tästä seuraa, että öljynerotin päästää öljyä ilman mukana paineilma- ja puristukseen loppupaine.

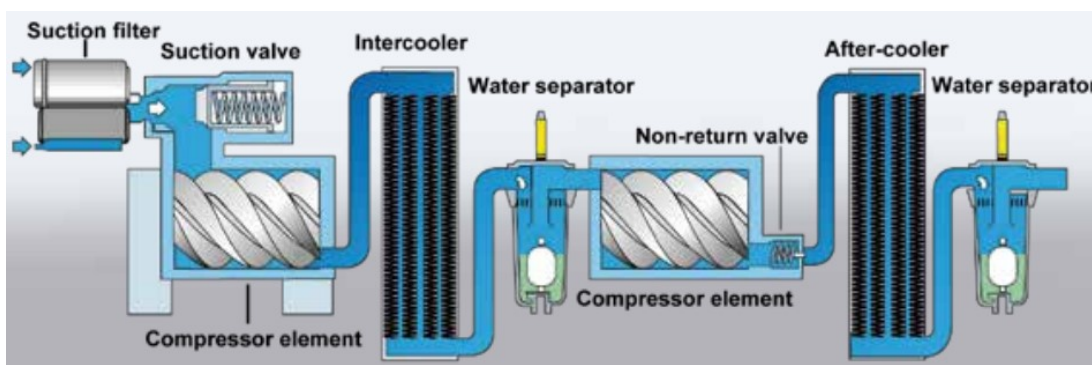
Liian alhainen käyntilämpötila ja kompressorin sisäinen paine aiheuttaa imuilman mukana ympäristössä tulevan kosteuden tiivistymisen vedeksi öljyn sekaan. Liiallinen vesipitoisuus pilaa öljyn ja aiheuttaa korroosiota ja laakerivaurioita (Atlas Copco Lubricants oxidation process, 2021)

Kompressorista lähtevä puristettu ilma on kuumaa, joten ilma jäähdytetään jälkijäähdyttimessä. Jäähdytyksen yhteydessä ilmassa oleva kosteus tiivistyy ja vesi poistetaan vedenerottimilla (kuva 5). Teollisuudessa on kuitenkin olemassa käyttösovelluksia, joissa ilmaa ei tarvitse jäähdyttää, tällaisia kohteita on esim. nestemäisten aineiden pulverisointi tai jauheiden suihkujauhatus.



Kuva 5. Öljyvoideltu ruuvikompressorin virtauskaavio. (Atlas Copco)

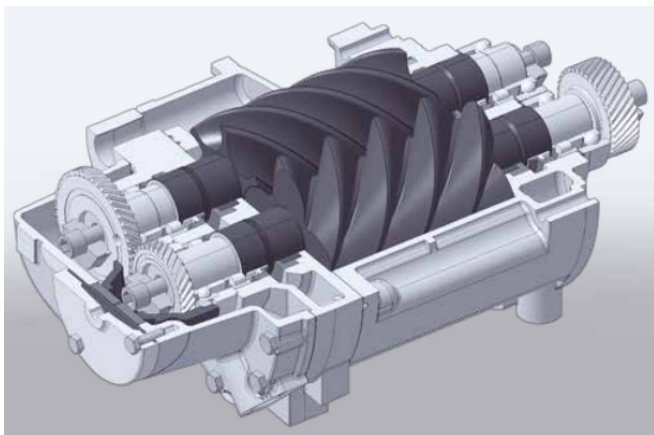
Öljyttömät ruuvikompressorit eivät tarvitse roottoreiden puristuspinoilla öljyä tiivistämässä tai voitelemassa, mutta koska öljyä ei ole myöskään siirtämässä lämpöä pois puristustapahtumasta, on puristus tehtävä kuvan 6 mukaisesti kahdessa vaiheessa (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 36).



Kuva 6. Öljyvapaa ruuvikompressorin ilman virtauskaavio. (Atlas Copco)

Ensimmäisessä eli matalapaine vaiheessa ilma puristetaan ympäristön paineesta noin 3 Bar. Tämän jälkeen puristettu ilma on noin 160–200 °C, joten tarvitaan välijäähdytin jäähdyttämään kuuma ilma ja jäähdytyksessä tapahtuvaan kosteuden tiivistymiseen vedenpoistin. 3 Bar jäähdytetty ilma johdetaan toiseen vaiheeseen, eli korkeapainevaiheeseen, jossa puristetaan haluttu loppupaine. Korkeapainevaiheen jälkeen ilma on, myös lämpötilaltaan 160–200 °C, joten ilma on jäähdytettävä jälkijäähdyttimessä ja jäähdytyksessä tiivistyvä vesi poistuu vedenpoistimen kautta. Toinen ero

öljytiivistetyn ja öljyttömän ruuvielementin välillä on se, että öljyttömät roottorit on pinnoitettu lämpöä ja kulutusta kestävällä, joustavalla pinnoitteella. Pinnoitteen takia ei haluta, että roottorit koskettavat toisiaan, tämä kuluttaisi pinnoitteen nopeasti pois. Kosketus estetään roottoreiden synkronointi hammaspyörillä. Öljyttömässä ruuvielementissä on kuitenkin voitelua vaativat laakerit ja synkronihammaspyörät, kuten kuvasta 7 voidaan todeta (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 36).



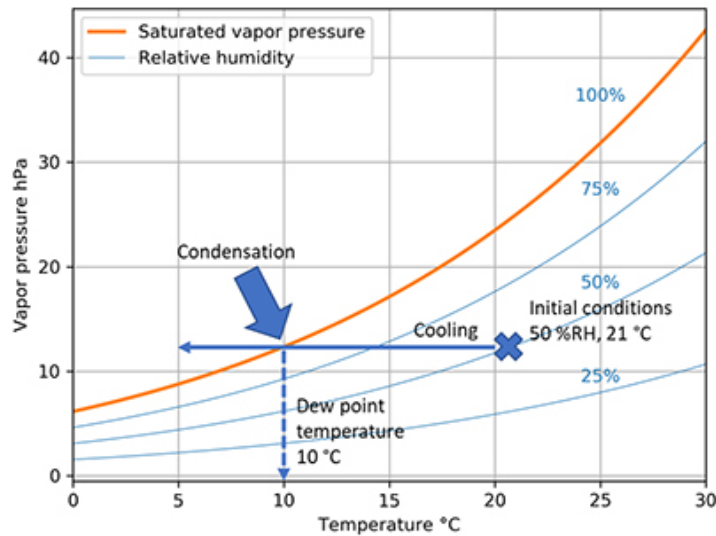
Kuva 7. Z-ruuvielementi leikkaus. (Atlas Copco)

Öljynkierto toteutetaan öljyttömissä ruuvikompressoreissa erillisellä öljypumpulla. Pumppu on sijoitettu pääakselille, josta se saa käyttövoiman kompressorin päämootorin kautta. Öljylle on oma öljynlauhdutin ja suodatin. Mekaanista öljypumppua on suojaamassa ylipaineventtiili (Atlas Copco Z theory, 2022).

5.2 Paineilman kuivaus

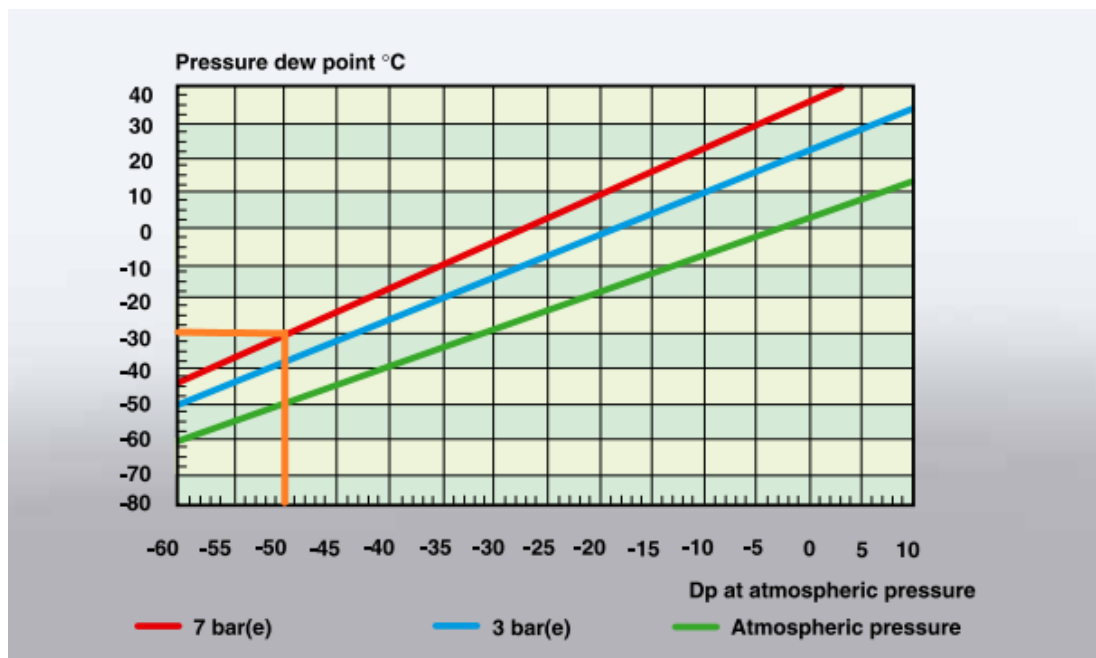
Kompressorilla tuotettu paineilma joudutaan usein kuivaamaan, jotta ilmassa oleva kosteus ei tiivistyisi paineilmaa käytäviin laitteisiin ja komponentteihin. Kastepisteellä tarkoitetaan sitä, että missä lämpötilassa paineilman sisältämä kosteus höyrymäisessä muodossa tekee ilman kylläiseksi, eli suhteellinen kosteus on 100 %. Kuvion 1 mukaisesti lämpötilan laskiessa alle kylläisen vesihöyry rajan, alkaa paineilman sisältämä kosteus tiivistymään pisaroiksi. (Partanen, 2020)

Kuvio 1. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden tiivistymisen suhde. (Vaisala)



Esimerkiksi kompressorin tuottaessa ilmaa 7 Bar loppupaineella 200 l/s, kun imuilman lämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 80%, kertyy paineilmajärjestelmään vettä 10 l/h. ((Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 46).). Kostean ilman ollessa suoraan kosketuksissa jonkin prosessin lopputuotteeseen, voi kosteus pilata lopputuotteen esim. aiheuttamalla paakkuja kuivattuihin jauheisiin tai pilaamalla ei vesiliukoisia nesteitä, kuten esimerkiksi ajoneuvoteollisuuden maalit. Kosteus aiheuttaa teräsputkiin ja laitteisiin korroosiota, ja korroosiotuotteet ovat epäpuhtauksia ilman seassa. Paineilman käytön tai ilmaa tarvitsevan tuotantolaitteiston sijaitessa ulkona, on myös muistettava, että paineilmajärjestelmässä oleva kosteus jäätyy talvella ulkoilman ollessa pakkasella, aiheuttaen toimintahäiriöitä ja laiterikkoja. Huomioitava on myös kylmään ulkoilmaan rinnastettavat elintarviketeollisuuden pakkashuoneet. Teollisuudessa käytetään kastepisteenä yleisesti yksikkönä PDP, (pressurized dewpoint) eli paineellinen kastepiste (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 46). Kastepiste muuttuu, kun paineistettu ilma laajenee. Tämä perustuu siihen, että ilman tilavuus kasvaa, vesipitoisuuden pysyessä saman. Kastepiste muuttuu, kun paineessa mitattu ilma päästetään normaalipaineiseksi. Kuvioista 2 pystytään toteamaan, että PDP:n ollessa -30 °C 7 Bar paineessa, on ADP eli atmosfäärinen kastepiste -50 °C (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 47).

Kuvio 2. Kastepiste ja paine muutostaulukko. (Atlas Copco)



Monella teollisuuden alalla on käytössä paineilman laatuun standardi ISO 8573-1:2010. Standardi määrittelee kolmen eri osa alueen puhtausluokat paineilmalle, ilmassa oleva kiintoaineet, vesipitoisuus ja öljy (taulukko 1). Jokaisesta osa-alueesta määräytyy puhtausluokka pitoisuuden mukaan. Esimerkiksi öljyvapaan kompressorin standardin mukainen luokka öljypitoisuudelle on nolla (ISO 8573-1:2010, 2010).

Taulukko 1. Paineilma puhtaus luokat. ISO 8573-1:2010. (Atlas Copco)

ISO 8573-1:2010	Dirt			Mass concentration mg/m ³	Water		Oil	
	Maximum number of particles per m ³				Vapor pressure dewpoint	Liquid g/m ³		Total oil (aerosol liquid and vapor) mg/m ³
	0.1 - 0.5 micron	0.5 - 1 micron	1 - 5 micron					
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than Class 1							
1	≤ 20000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70°C/-94°F	-	0.01	
2	≤ 400000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40°C/-40°F	-	0.1	
3	-	≤ 90000	≤ 1000	-	≤ -20°C/-4°F	-	1	
4	-	-	≤ 10000	-	≤ +3°C/+37.4°F	-	5	
5	-	-	≤ 100000	-	≤ +7°C/+44.6°F	-	-	
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10°C/+50°F	-	-	
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0.5	-	
8	-	-	-	-	-	0.5 - 5	-	
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-	
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10	

Sairaala ja terveydenhoitoalalla käytetään samaa standardia, useimmiten kastepiste mitataan ja ilmoitetaan sairaala ja terveydenhoitoalalla ppm:ssä. (Sairaala tekniikan yhdistys. 2014).

5.2.1 Kuivain tyypit

Kuivaimet jaetaan kolmeen pääryhmään, jotka ovat jäähdytyskuivaimet (kuva 8), adsorptiokuivaimet ja membraani- eli kalvokuivaimet. Jäähdytyskuivaimet toimivat kylmätekniikalla.

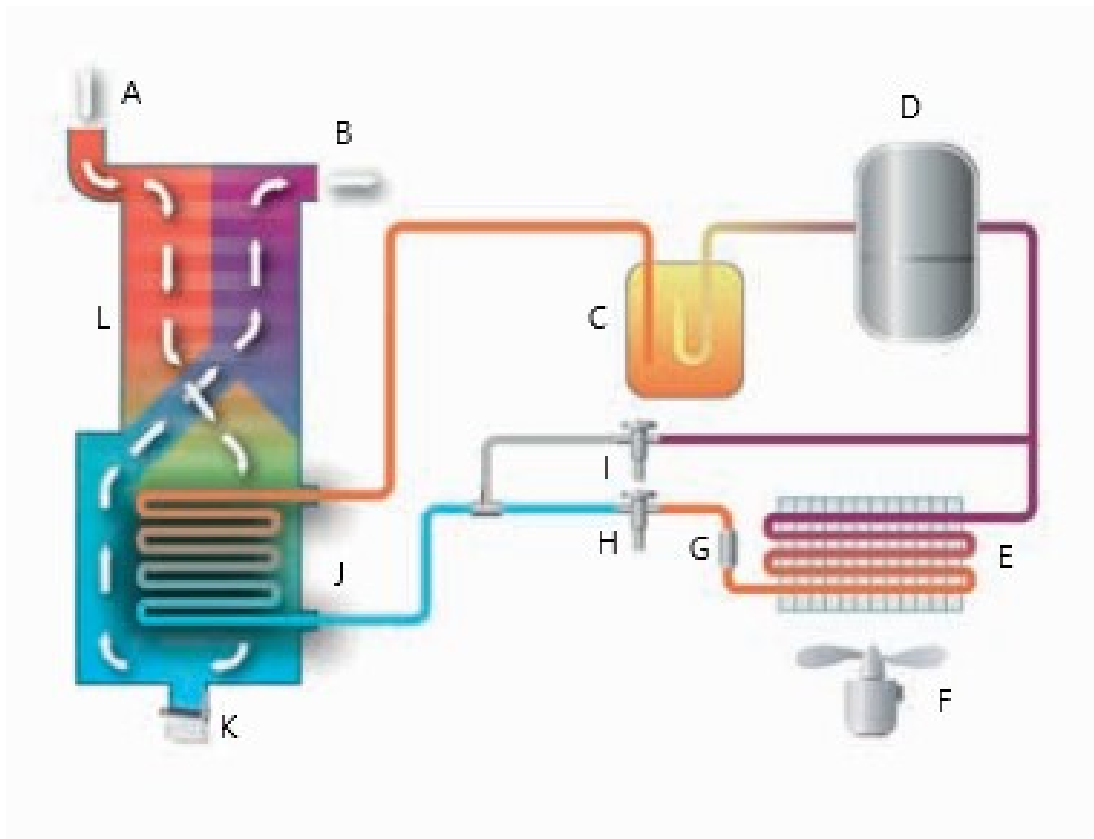


Kuva 8. Atlas Copco FD4000VSD jäähdytyskuivain (Atlas Copco)

5.2.2 Jäähdytyskuivain

Jäähdytyskuivaimilla saavutetaan noin 2 °C kastepiste. Jäähdytyskuivaimella ei päästä kastepisteessä alle 0 °C siitä syystä, että höyrystimeen tiivistyvä vesi jäätyy höyrystimeen. Kuvassa 9 on esitetty jäähdytyskuivaimen virtauskaavio. Kylmäkompressori (D) nostaa kylmäaineen paineen ja lämpötilan ympäristöä korkeammaksi. Lauhduttimessa (E) kylmäkaasua jäähdytetään jäähdytyspuhaltimen (F) avulla, jolloin kylmäkaasu jäähtyy ja luovuttaa lämpöenergiaa. Höyrystysventtiili (H) tehtävänä on paineron aikaansaaminen kylmäkompressorin imu- ja painepuolen välille. Höyrystysventtiilin jälkeen kylmäkompressori imee höyrystimen alipaineen puolelle ja kylmäaine sitoo lämpöenergiaa ja höyrystin jäähtyy. Kompressorista tuleva ilma (A) virtaa

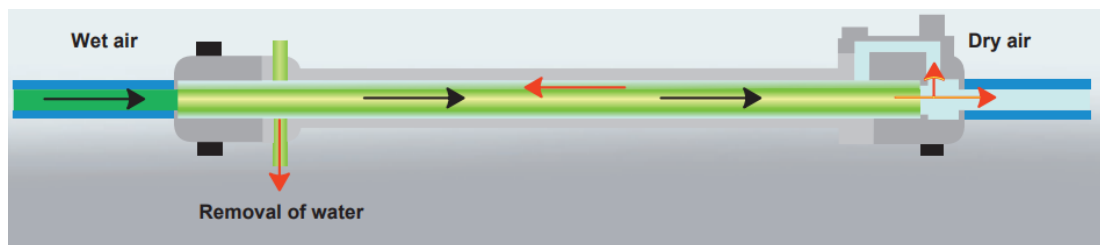
kylmäpiirin höyrystimen läpi (J), jotta jatkuvatoiminen kylmäpiiri ei jäähtyisi liikaa, säätää kuumakaasun ohitusventtiili (I) höyrystimen (J) lämpötilaa. Höyrystimessä ilmassa oleva lämpöenergia siirtyy kylmäkaasuun, jäädyttäen paineilman noin 2 °C. Kahden °C lämpötilassa ilmassa oleva kosteus tiivistyy ja valuu höyrystimen alla olevaan vedenpoistimeen (K). Ilma on kuivattua, mutta kylmää. Lämmitys tapahtuu ilma/ilma lämmönvaihtimessa (L), jossa kompressorilta tuleva kuivaamaton lämmin ilma lämmittää, kylmän ja kuivan ilman uudelleen normaalilämpöiseksi, ennen, kuin ilma johdetaan paineilma verkkoon (B). Kylmäaine virtaa takaisin kiertoonsa pisarankerottimen (C) kautta, jotta kylmäkompressoria vaurioittava pisaramainen kylmäaine saadaan poistettua kaasumaisesta kylmäaineesta. (Atlas Copco FX FD Refrigerant dryers, 2020)



Kuva 9. Jäähdytyskuivain periaate. (Atlas Copco)

5.2.3 Membraani eli kalvokuivain

Membraani eli kalvokuivaimen toiminta (kuva 10) perustuu ilmakaasun komponenttien tiettyyn läpikulkeutumiskykyyn. Membraanikuivaimen sisällä on tuhansia erittäin ohuita putkimaisia polymeerikuituja, joiden sisäpuoli on pinnoitettu erikoispinnoitteella. Pinnoitteen ominaisuutena on se, että pinnoite päästää ainoastaan kosteuden tunkeutumaan pinnoitekalvon läpi, ilman sisältämien muiden ainesosien happi, typpi jne. virratessa läpi polymeerikuitujen. Kuidun sisä- ja ulkopuolisen paine-eron johdun, kosteus tunkeutuu polymeerikuidun läpi. Kuidun ulkopintaa huuhdellaan kuivaimesta saadulla kuivalla paineilmalla, jotta kosteus saadaan poistettu kuitujen ulkopinnoilta ulos (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 52).



Kuva 10. Kalvokuivaimen toiminta periaate. (Atlas Copco)

5.2.4 Adsorptiokuivaus

Adsorptiokuivaus perustuu kuivaimen sisältämän hygroskooppisen aineen veden sitomiskykyyn. Vesi poistetaan hygroskooppisesta aineesta, joko kuumentamalla tai voimakkaalla paineen laskulla. Adsorptio ja absorptiokuivauksen erona on se, että adsorptiokuivausaine pystytään elvyttämään helposti ja on melko vaaratonta ja vakaata ainetta. Absorptiokuivaus on taas kemiallinen prosessi, jossa esim. rikkihappo (H_2SO_4) laimenee, kun happo absorboi ilmassa olevaa kosteutta. Absorptiokuivaimet vaativat suuren määrän imeytysainetta ja kastepisteen paraneminen on rajallista.

Yleisimmät paineilman kuivauksessa käytettävät kuivausaineet ovat Silikageeli, aktivoitu alumiinioksidi ja molekyyliseula.

(Atlas Copco compressed air book, 2019, s. 49–50.)

Silikageeli on amorfinen ja huokoinen piidioksidi (SiO_2). Silikageelillä saavutetaan paineilmassa noin -40 °C kastepiste. Silikageelin sitoman veden poistamiseen

vaadittava elvytyslämpötila on kohtuullisen alhainen, 120–140 °C. Perus silikageelin haittapuolena on, että se ei kestä pisaramaista vettä. Kuivausaineen pinnalle kondensoitua vesi rikkoo normaalin BASF Sorbead R silikageelin rakennetta. Tästä syystä täytetään Atlas Copco BD tornit osittain paremmin kondensoituvaa vettä sietävää BASF Sorbead WS:ää kuivaimessa ensimmäisenä adsorptio silikageelinä.

(BASF, 2022, s. 3.)

Aktivoitu alumiinioksidi (Al_2O_3) on yleisin käytetty kuivausaine johtuen se helposta saatavuudesta ja edullisesta hinnasta. Aktivoidun alumiinioksidilla päästään paineilman kastepisteeseen -51 °C ja sen elvytyslämpötila on noin $170\text{--}230\text{ °C}$, se kestää hyvin pisaramaista vettä ja emäksiä. Aktivoidun alumiinioksidin haittapuolena on sen herkkyys pitkäketjuisille raskaille hiilivedyille esim. kompressorin öljylle. Öljy tukkii alumiinioksidin huokoiset, estäen veden sitoutumista alumiinioksidiin. Toisena haittapuolena alumiinioksidilla on se, että kosteus alkaa hajottamaan alumiinioksidia osittain alumiinihydroksidiksi jatkuvassa korkeassa lämpötilassa.

(BASF, 2022, s. 1.)

Molekyyliseula kuuluu pääsääntöisesti zeoliitti luokan mineraaleihin. Zeoliitti on hydratoitua alkalimetallia tai alkalista alumiinisilikaattia. Erilaisia Zeoliitteja on löydetty 150 kappaletta, nämä eroavat toisistaan molekyylirakenteellisesti ja niillä on eri Al / Si pitoisuus. Paineilma kuivauksessa käytettäessä Zeoliittia, käytetään ainoastaan Zeoliitti A:ta ja Fausiittia. Molekyyliseula on huokoista ja hyvin vettä sitovaa ja sillä säästetään paineilmassa, jopa -100 asteen kastepiste. Zeoliitti vaatii kuitenkin korkean elvytyslämpötilan $230\text{--}290\text{ °C}$ ja se kestää huonosti ilman epäpuhtauksia, kuten happoja, emäksiä ja raskaita hiilivetyjä.

(BASF, 2022, s. 2.)

5.2.5 Adsorptiokuivain

Adsorptiokuivaimia on useampaa eri tyyppiä. Päätyypit ovat kuitenkin paineilma elvytteiset ja lämpöelvytteiset. Paineilma elvytteisessä kuivaimessa on kaksi kuivausainetta sisältävää tornia. Toisen tornin kuivatessa paineilmaa, toisesta poistetaan

kuivausaineeseen sitoutunut kosteus. Kosteuden poisto tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tornin paine pudotetaan erittäin nopeasti tyhjennysventtiilin kautta ulos. Tämä irrottaa suuren osan kuivausaineeseen paineessa sitoutuneesta vedestä. Toisessa vaiheessa kuivaavan tornin kuivatulla paineilmalla vastavirta huuhdellaan elvytettävää tornia, koska kosteus pyrkii tasapainoon kuivain ilman ja kostean kuivausaineen välillä, irtoaa kuivaus aineesta lisää kosteutta. Tornit vaihtavat ohjaus-elektroniikan ja venttiileiden avulla toistuvasti kuivaus ja elvytysvuoroa keskenään. Toiminnan ohjaus perustuu, joko aikapohjaiseen, jolloin vaihtoväli on 2–3 minuuttia tai kuivatun paineilman kastepisteohjaukseen. Kastepisteohjaus vaihtaa kuivaus vuorossa olevaa tornia elvytykseen, silloin kun kuivausaine alkaa kyllästymään eikä pysty enää sitomaan niin hyvin kosteutta itseensä, minkä seurauksena kastepiste alkaa kohoamaan. Tapahtumaa ohjataan kastepiste anturilla ohjelmoidulla kastepisterajalla. Paineilman sisältämästä kosteudesta ja kuivaimen kuormituksesta riippuen kastepiste voi pysyä useitakin tunteja alle tavoiterajan. Kuivausaineen kestävyiden ja riittävän kuivausaineen elpymisen takia on kuitenkin katsottu, että kuivaus toimintoa ei jatketa samalla tornilla yhtäjaksoisesti yli 24 tuntia, vaan tehdään kiinteään 24 tunnin maksimi kuivausaikaan liittyvä pakotettu vaihto tornien välillä. Paineilma elvytteiset kuivaimet (kuva 11) ovat rakenteellisesti yksikertaisia ja varmatoimisia, mutta ne kuluttavat 15–20 % kompressorin tuottamasta paineilmasta elvytykseen ja ovat siksi kalliita käyttää. (Atlas Copco compressed air book, 2019, s. 50).

Suuresta ilmapankulutuksesta johtuen tätä kuivain tyyppiä käytetään vain pienissä ja keskisuurissa kuivaimissa. (Atlas Copco Product Training, 2020)



Kuva 11. Atlas Copco CD25+. (Atlas Copco)

Lämpöelvytteisessä kuivaimessa (kuva 12) kuivausainetta kuumennetaan sähkövastuksilla tai kompressorista saatavalla hukkalämmöllä. Elvytyslämpötila riippuu aiemmin mainituista käytettävistä kuivausaineista. Toimintaperiaate on muuten sama paineilma elvytteisen kuivaimen kanssa, paitsi että kuivaimessa on lisäksi elvytysilmapuhallin ja sähkövastus. Lämpöelvytteisessä kuivaimessa ei myöskään tarvita äkillistä tornin paineen pudotusta. Lämpöelvytteinen kuivain käyttää sähköenergiaa ja puhallinta elvytykseen ja siksi näissä kuivaimissa paineilman kulutus on vähäistä. Elvytystapahtuma on paineilma elvytteiseen verrattuna paljon pidempi. Lämpöelvytteistä kuivainta ohjataan samoilla menetelmillä, kuin paineilma elvytteisiä kuivaimia. Ne ovat joko aikaohjaukseen tai kastepisteohjaukseen perustuvia. (Atlas Copco compressed air book 9th edition, 2019, s. 50.)

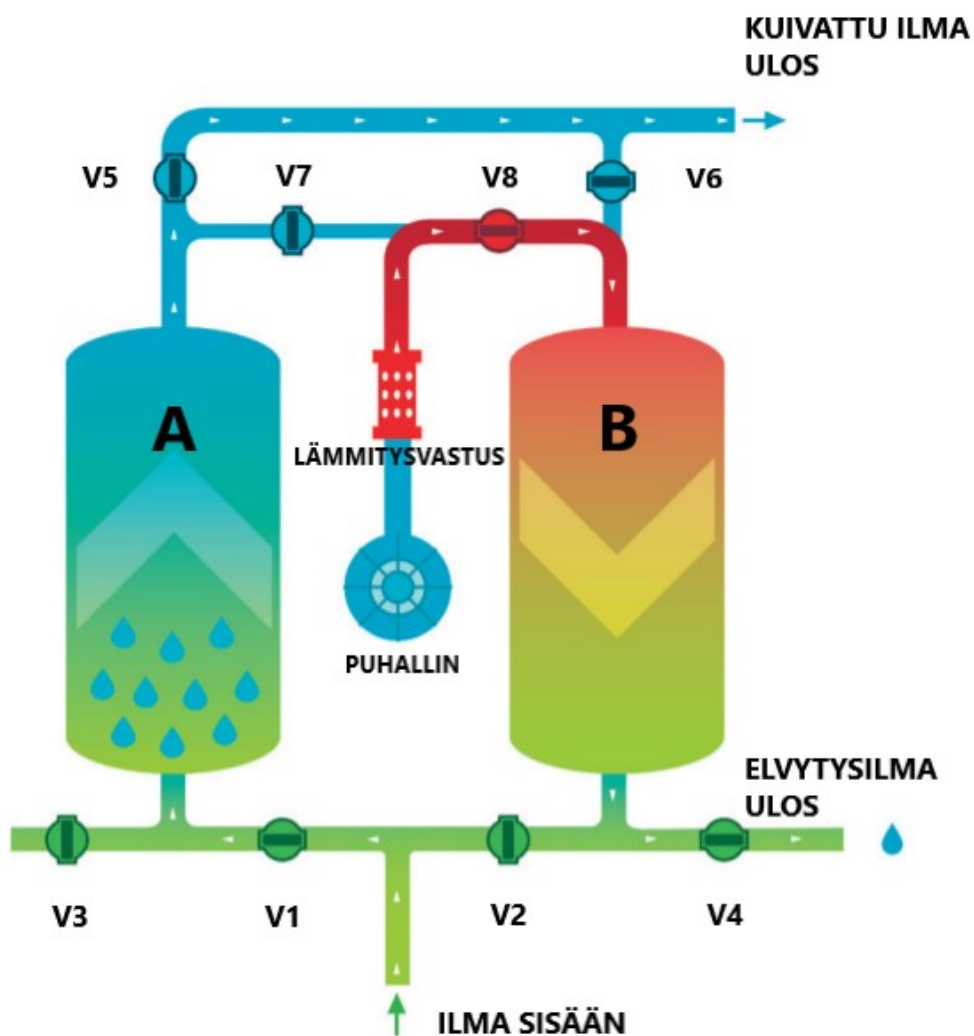


Kuva 12. Atlas Copco BD300 (Atlas Copco)

5.2.6 Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate

Alla olevassa kuvassa 13 esitetään Atlas Copco BD kuivaimen virtauskaavio. A torniin virtaa kosteaa paineilmaa V1 venttiilin kautta. Venttiilit V2 ja V3 ovat kiinni, jotta paine ei pääse B torniin tai elvytysilman ulospuhallukseen. V5 venttiili päästää kuivatun paineilman paineilmaverkkoon. A Tornin Elvytysilman tuloventtiili V7 on kiinni. B tornia elvytetään vastavirtahuuhtelulla puhaltimen ja lämmitysvastuksen avulla. Elvytysilman tuloventtiili V8 ja ulospuhallusventtiili V4 ovat auki. Elvytyslämmitys jakson lopussa vastuksesta kytkeytyy virta pois ja puhallin jatkaa jäähdyttämään. Lämpötilan pudottua tarpeeksi alas, pysähtyy puhallin ja venttiilit V4 ja V8 sulkeutuvat. Tornin B paine tasataan samaan paineeseen, kuin A tornin paine. Paineiden ollessa sama,

aukeaa B tornin tuloilma venttiili V2 ja lähtevän ilman venttiili V6. B torni kuivaan nyt paineilmaa rinnakkain A tornin kanssa. Tapahtuu vaihto A tornin tulo- ja lähtöventtiilit V1 ja V5 menevät kiinni. A tornin elvytysilmaventtiili V3 aukeaa ja paine purkautuu ympäristön paineeseen. Paineen saavuttaessa ympäristön paineen aukeaa A tornin elvytysilma venttiili V7, puhallin käynnistyy ja sähkövastukset kytkeytyvät päälle. Kuivain jatkaa tätä kiertoa ympäri aikaan tai mittaukseen perustuvassa ohjelmallisessa logiikkaohjauksessa (Atlas Copco Product Training, 2020)



Kuva 13. BD toiminta periaate. (Atlas Copco)

6 KUIVAUSAINOIDEN VAIHTO ALIPAINEELELLÄ

6.1 Täyttö alipaine menetelmällä

Aiemmin käytetyt täyttömenetelmät ovat pölyäviä, paljon paineilmaa vaativia ja työntekijöitä joudutaan sitomaan fyysisesti raskaaseen täyttö työhön useampia, lisäksi terveyshaitat kuivausaine pölystä aiheuttavat oman rasitteen työntekijöille. Lähtökohtana oli vaihtaa täyttömenetelmä helposti hallittavaan, paljon pölyttömämpään ja yhden työntekijän toimesta tehtävään täyttö työhön. Alipaineistamalla torni saadaan kuivausaine siirrettyä alipaineen avulla suoraan torniin letkua pitkin, ilman että pöly pääsee ympäristöön. Kuivaimen torni toimii eräänlaisena imurin esierottelu astiana. Raskeampi kuivausaine jää torniin ja kevyemmät pölyhiukkaset ja ilma jatkaa imurille. Imutapahtumassa letkuun pääsevää materiaali määrä pitää hallita jotenkin, jotta letku ei mene tukkoon letkussa olevan kuivausaineen liiallisesta määrästä johtuen. Saattoilman ja kuivausainerakeen määrää on pystyttävä säätämään sopivaksi.

7 ALIPAINIE TÄYTTÖLAITTEISTO

7.1 Alipainelaitteiston rakenne

Järjestelmän rakenteen suunnittelun lähtökohtana on edulliset ja helposti saatavilla olevat komponentit. Rakenteen tuli olla yksinkertainen ja sen käyttö helppoa.

7.2 Imuri

Alipaineen tekemiseen valittiin, jo olemassa oleva Kärcher teollisuusimuri (kuva 14). Imuri on varustettu kolmella, moottorilla, pölypussilla ja hienopöly suodattimella. Imuri pystyy tekemään 254 mBar alipaineen ja saavuttaa 222 l/s virtausnopeuden. (Kärcher esite)



Kuva 14. Kärcher NT70/3. (Kärcher)

Kuivausaine sisältää jo valmiiksi hienojakoista pölyä pakkauksissa ja pölypusseille sekä hienopölysuodattimille halutaan lisää käyttöikä, niin imuriin lisättiin ulkoinen pölynerottelusykloni (kuva 15) ja sykloniin keruu astia. Koska imuria käytetään myös normaaliin imurointiin ja alkuperäistä imuriletkua ei haluttu rikkoa tai imurin letkuliitosta muuttaa. Letkuiksi hankittiin Etra Oy:n antistaattista pölynimuriletkua (kuva 16) sisähalkaisijaltaan 38 mm ja 50 mm ja näihin letkuihin sopivat imuriletkuliittimet.



Kuva 15. Sykloni ja keruu astia asennettuna
(Kuvannut Jani Kirkanen)



Kuva 16. 38 ja 50 mm letkut
(Kuvannut Jani Kirkanen)

7.3 Tornin täyttöyhde

Tornin 2” sisäkierteiseen täyttöyhteeseen on hitsattu kahdesta pakoputken putkikäyrästä sisäkkäin erisuuntiin osoittavat päät (kuva 17). Kierreliitos on katkaistu 2” putki kaksoisnipasta ja hitsattu 63 mm putkikäyrään kiinni. Suuremman käyrän sisään on liimattu 50 mm Uponal viemäriputkesta katkaistu muhvi (kuva 18), jolla on saatu nopeasti kytkettävä ja irrotettava alipaineletkulle oikean kokoinen liitos.



Kuva 17. Täyttöyhde
(Kuvannut Jani Kirkanen)



Kuva 18. Täyttöyhteen 50 mm pää
(Kuvannut Jani Kirkanen)

7.4 Kuivausaineen imuputki

Imuputkessa (kuva 19) on käytetty sisäputkena $\text{\O} 30$ mm huonekaluputkea, ulkoputkena $\text{\O} 42$ mm pakoputken suoraa osuutta, IJoint käyttövesiputken puserrusliittintä ja $\text{\O} 50$ mm viemäriputken muhvia. IJoint puserrusliittimestä on poistettu kartiokiristys-holkki ja tilalle on asennettu 30x3mm O-rengas. $1 \frac{1}{4}$ " kierre on koneistettu halkaisijaltaan 42 mm pakoputken sisämittaaan sopivaksi ja liittimen syvyys rajoituksen olkapää on avarrettu niin, että 30 mm huonekaluputki mahtui IJoint liittimen läpi. Muokattua IJoint liittintä on käytetty, jotta sisäputken pään etäisyyttä saadaan säädettyä suhteessa ulkoputkeen ja IJoint liittimellä saadaan myös etäisyyssäätö lukittua. IJoint liitin on kiinnitetty $\text{\O} 42$ mm pakoputken päähän peltiruuvilla. Huonekaluputken toiseen päähän putken ulkopintaan on hitsattu kolme noin 30 mm pitkää 5 mm teräspalaa, jotka keskittävät putket toisiinsa nähden (kuva 20). Huonekaluputken letkuliitospäähän on liimattu 3D tulostettu soviteholkki, koska putki on halkaisijaltaan 30 mm ja imuriletku 38 mm. 42 mm pakoputken sivuun on leikattu IJoint liittimen päähän 30x40 mm reikä korvausilmaa varten. Korvausilman säätöä varten 50 mm viemäriputkesta on halkaistu holkki, jonka avulla korvausilma-aukon kokoa voidaan säätää. Uloimmanputken pää on lovettu niin, että vaikka putki osuisikin suorassa kulmassa kuivausaine astian pohjaan, jäisi putken ja astian pohjan väliin rako, eikä kuivausaine rakeen tulo loppuisi.



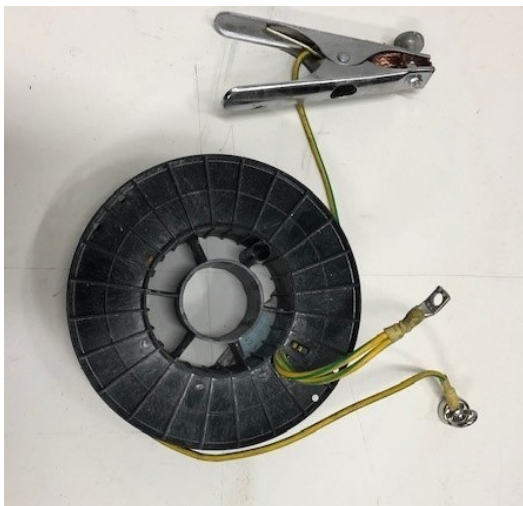
Kuva 19. Imuputki (Kuvannut Jani Kirkanen)



Kuva 20. Imuputken pää (Kuvannut Jani Kirkanen)

7.5 Maadoitukset

Liikkuessaan imuriletkuissa ja teräsputkissa aiheuttaa kuivausainerae staattista sähköä järjestelmään. Imuputki, imuri ja kuivain on maadoitettu maadoituskaapelilla keskenään. Tämä estää käyttäjän saamasta staattisen sähkön aiheuttamia sähköiskuja ja potentiaali tasaa laitteen komponentit ja kuivaimen keskenään, niin että pöly ei jää sähköisesti varautuneisiin komponentteihin kiinni. Maadoituksessa käytettiin monisäikeistä kelta/vihreää 6 mm² MKEM kuparikaapelia. Keskellä kaapelia on kaapeliin sopiva 8 mm reiällä varustettu kaapelikenkä, jonka saa kiinnitettyä imurin ruostumattomaan teräs säiliöön siipimutterilla (kuva 21). Toisessa päässä hitsauksessa käytettiin maadoituspuristin ja toisessa päässä maadoitus magneetti (kuva 22).



Kuva 21. Maadoituskaapeli ja kela
(Kuvannut Jani Kirkanen)

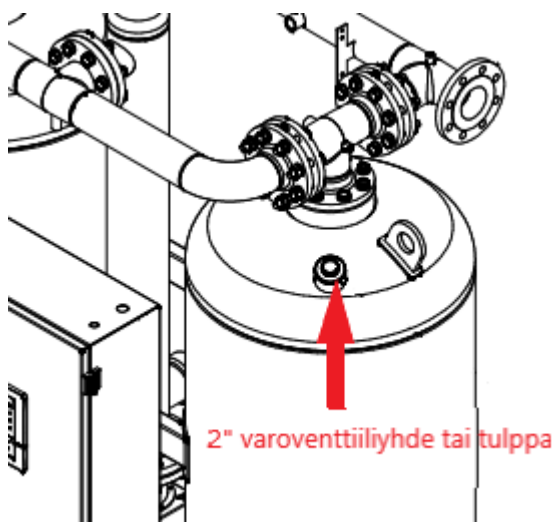


Kuva 22. Imurin maadoitus piste
(Kuvannut Jani Kirkanen)

8 ALIPAINETÄYTTÖ LAITTEISTON KYTKENTÄ JA KÄYTTÖ

8.1 Laitteiston kytkentä

Kuivaimen tyhjennyksen ja tarvittavien huoltojen ja tarkastusten jälkeen suoritetaan täyttö uusilla kuivausaineilla. Täytössä on huomioitava, että täyttöön vaadittavia kuivausaineita voi olla kahta erityyppistä, jotka täytetään eri kerroksiin. Kuivausaine tyyppit täytetään oikeassa järjestyksessä laitevalmistajan ohjeen mukaisesti. Imuri vaatii 230VAC 16A sähkösyötön. Sähkö on ainoa ulkoinen energian tarve järjestelmään. Täyttöyhde kytketään täytettävän tornin 2" varoventtiili yhteeseen tai olemassa olevan 2" täyttötulpan tilalle (kuvan 23). 2" liitoksen puuttuessa on tornin päällä oleva putkisto ja "strainer" sihti purettava pois, tällöin on myös estettävä ja varmistettava, että sihdin alla olevaan keskiputkeen ei pääse kuivausainetta. Putken voi peittää esim. vanerikiekolla tai pahvinpalalla, näiden paikalla pysyminen on vielä varmistettava ilmastointiteipillä.



Kuva 23. Kuivaimen täyttöyhteen asennus paikka. (Atlas Copco)

Imurin sykloniin ja täyttöyhteen isompaan yhteeseen kytketään 50 mm imuriletku. Imuputkeen ja täyttöyhteen pienpään yhteeseen kytketään 38 mm imuriletku. Maadoitus kelan kaapelikenkä kiinnitetään imurin säiliön kyljessä olevaan 8 mm ruuviin siipimutterilla. Maadoitus kenkä asennetaan kuivaimen runkoon tai putkilaippaan, jotka eivät ole maalattuja. Magneettinen maadoitus kiinnitetään imuputkeen.

8.2 Tiiviiden tarkastus

Järjestelmän toiminta vaatii tiiviin järjestelmän asennuksen, myös kuivaimen on oltava tiivis. Täyttöä ei voida suorittaa, jos kuivaimesta puuttuu huollon tai komponentti vaihdon takia esim. venttiili. Imuri käynnistetään ja kokeillaan kädellä imuputken päästä muodostuuko alipainetta ja ilman virtausta tarpeeksi. Alipainetta ja virtausta voi vertailla täyttöyhteen letkujen alipainetta ja virtausta ottamalla letkuja irti imurin käydessä. Jotkut kuivaimet, lähinnä ei Atlas Copcon valmistamat kuivaimet ovat rakenteellisesti sellaisia, että esim. elvytysilma puhaltimen ilmanotto on suljettava, koska alipaine pääsee avaamaan puhaltimen vastaventtiilin ja päästää järjestelmästä alipainetta pois. Puhaltimen ilmanoton voi sulkea teippaamalla imusihdin tukkoon ilmasointiteipillä.

8.3 Täyttö tapahtuma

Imuputken sisäputki säädetään aluksi 30 tai 60 mm sisemmälle ulkoputkeen nähden (kuva 24). Sääto riippuu siitä, kumpaa kuivausainetta imetään. Sääto tapahtuu löysämällä muovista puristusliitosta ja siirtämällä sisäputkea oikeaan mittaun, jonka jälkeen puristusliitos kiristetään ja sääto lukittuu. Sääto riippuu hyvin paljon kuivausaineen ominaispainosta ja pinnan karheudesta. Kuivausaineen virtausletkuun ei kannata jättää alenevia kohtia, vaan tasainen nousu on kaikkein paras. Imuputken saattoilma säätoaukko on täysin auki. (kuva 25). Imuputken sääto kannattaa tehdä niin, että kuivausainetta menee suurin mahdollinen määrä ilman. Letku alkaa heilumaan ja imu kuulostaa sykkivältä, kun materiaalia virtaa letkussa liian paljon. Imuputken säädön ollessa liian pitkä, kestää siirto huomattavasti pidempää.



Kuva 24. Imuputken sääto
(Kuvannut Jani Kirkanen)



kuva 25. Imuputken saattoilman sääto
(Kuvannut Jani Kirkanen)

Silikageeli on kevyempää ja helposti liikkuvaan, Silikageeli ominaispaino on 0,7–0,8 kg/l. (BASF, 2020) Alumiinioksi on raskaampaa ja huonommin liikkuvaa. Alumiinioksidin ominaispaino on 0,8 kg/l. (BASF, 2020) Täyttönopeus vaikuttaa myös kuivausaineen pölyämiseen ja jauhautumiseen, etenkin aktivoitulla alumiinioksidilla. Kuivausaineastian ollessa lähes tyhjä, voidaan saattoilma sulkea. Tämä nopeuttaa loppujen kuivausaineiden imua astiasta. Täyttötapahtumaa kannattaa tarkkailla ajoittain kellon kanssa, jotta todetaan, tarvitseeko imuripussi vaihtaa ja hienosuodatin puhdistaa. Sykloniin keruuastiaan kertyvä pöly on vähäistä, tämä kannattaa kuitenkin tyhjentää välillä. Ensimmäisen tornin ollessa täytetty ohjeiden mukaisella määrällä, irrotetaan täyttölaitteisto ja siirretä toiseen torniin. Tässä vaiheessa on muistettava asentaa

2” tulppa tai varoventtiili paikalleen. Paineentasaus linjan kautta pääsee paine tai alipaine toiseen torniin. Kummankin tornin täytön jälkeen, täyttölaitteet irrotetaan kuivaimesta ja avoin täyttöyhteen tulppa asennetaan paikalle. Kaikki tulppaukset ja venttiileiden asennot palautetaan takaisin normaaliin toiminta asentoon, jolloin kuivain paineistuu. Paineistuksen jälkeen tarkastetaan kuivaimen tiiviys ja käynnistetään kuivain, niin että kastepisteanturin sulkuventtiili on kiinni, jos kuivain on varustettu kastepisteanturilla. Kastepisteanturin sulkusuositus on 24 tuntia valmistajan ohjeiden mukaisesti. On myös suositeltavaa jättää lähtevän ilman linjasuodattimen vaihto suoritettavaksi 24 tunnin kuivaimen käytössä olon jälkeen. Tämä siksi että kuivaimen uusissa kuivausaineissa voi olla vielä ilman mukana liikkeelle lähtevää hienoa kuivausainepölyä, joka voi tukkia suodattimia

9 KUIVAUSAINEN SIIRTO

9.1 Kuivausaineen hajoaminen pölyksi

Kuivausaine pakkaukset sisältävät, jo valmiiksi valmistuksessa ja pakkaustoiminnassa syntyvää kuivausainepölyä. Pöly on muodostunut, kun kuivausaine on hieroutunut liikkueessaan tuotanto-, pakkauslaitteiden rakenteita vasten ja kuivausainerakeet itseään vasten. Sama hieroutuminen tapahtuu myös täytön yhteydessä, kun kuivausaine hieroutuu alipaineputkiin, liitosyhteisiin ja kuivausaine rakeet itseensä. Kokeiluissa huomattiin, että liian suuret siirtonopeudet kasvattavat jauhautumista ja pöly määrää tapahtumassa, etenkin alumiinioksidilla. Kokeissa käytettiin 30–70 mm imuputken säätöä. Taulukosta 2 voidaan todeta siirtonopeus suhteessa säätöön alumiinioksidilla ja silikageelillä.

Taulukko 2. Suutin säädön vaikutus siirtonopeuteen.

Aktivoitu alumiinioksidi

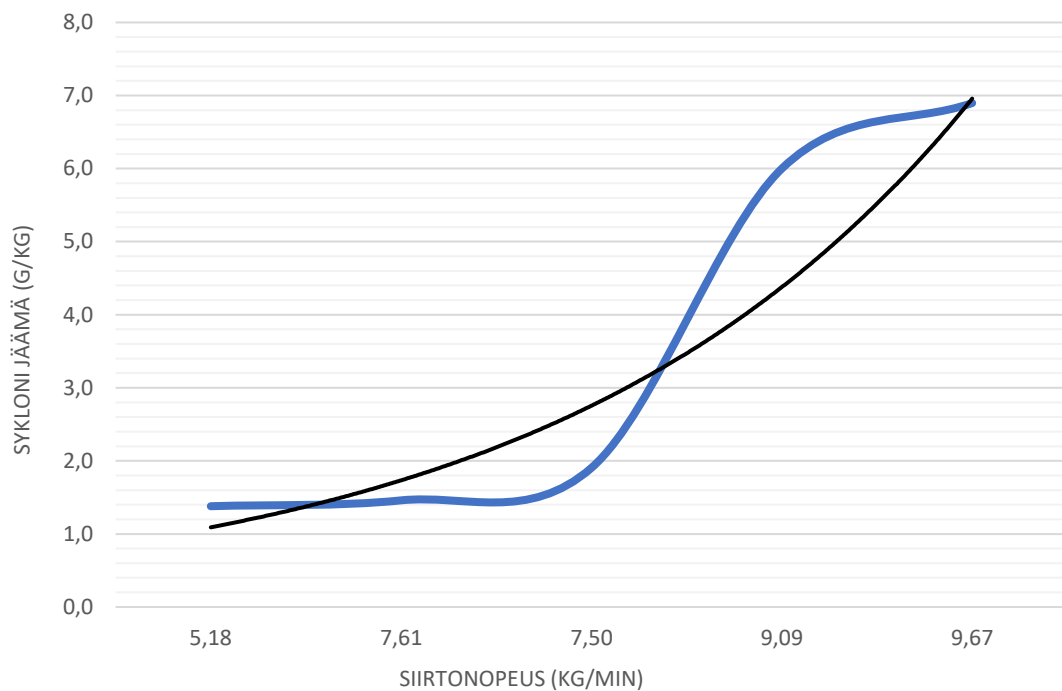
Suutin etäisyys (mm)	aika (min)	Ainemäärä (kg)	Nopeus (kg/min)
70	28	145	5,18
60	18	137	7,61
60	14	105	7,50
50	55	500	9,09
50	15	145	9,67

Silikageeli

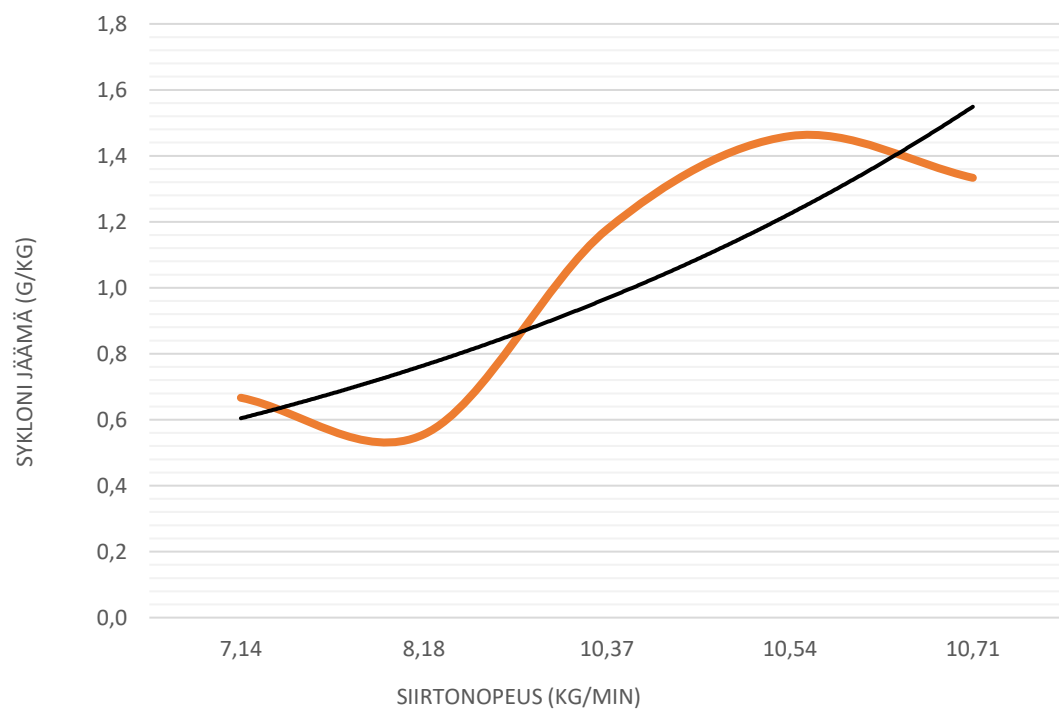
Suutin etäisyys (mm)	aika (min)	Ainemäärä (kg)	Nopeus (kg/min)
40	21	150	7,14
40	22	180	8,18
30	41	425	10,37
30	13	137	10,54
30	7	75	10,71

Sykloni jäämä mitattiin jokaisen pakkausten tyhjentämisen jälkeen. Käytössä ei ollut tarkkuusvaakaa, pöly mitattiin keittiö mitta-astioilla. Kunkin astian kokonaispölymäärän, kuluneen ajan ja syklonijäämän avulla laskettiin, kuinka monta grammaa pölyä kuivausainekiloa kohden muodostui alumiinioksidilla (Kuvio. 3) ja silikageelillä (Kuvio. 4). Mittausepä tarkkuudesta johtuen pölynmuodostuksen tuloksissa on hieman hajontaa. Silikageelin todettiin kestävän suuria siirtonopeuksia hyvin alumiinioksidiin verrattuna. Syklonin pölyn erottelukyky on valmistajan mukaan 90–95 %. Syklonin läpi pääsevä 5–10 % pölystä päätyy imurin pölypussiin. Pölypussi ei suodata ja kerää 100 % pussiin pääsevästä pölystä, vaan päästää osan vielä hienosuodattimeen. Kokeiden aikana todettiin myös, että hienosuodatin ei ollut 100 % suodattava, koska imurin ulospuhallus kanavat alkoivat värjäytyä täytön aikana harmaiksi. Optimaaliseksi siirtonopeudeksi muodostui noin 20 minuuttia tynnyrillistä kuivausainetta kohden. Nopeammassa siirroissa pölyn muodostus oli suurta ja hitaammilla siirtonopeuksilla täyttö työ kestää tarpeettoman kauan.

Kaavio 3. Siirtonopeuden vaikutus pölyn muodostumiseen alumiinioksidilla.



Kaavio 4 Siirtonopeuden vaikutus pölyn muodostumiseen silikageelillä.



9.2 Suutin säädön muut vaikutukset

Suutin säätö ei vaikuttanut pelkästään kuivausaineen jauhautumiseen. Kuivausaineen ominaispainosta ja nostokorkeudesta johtuen, liiallinen kuivausaineen siirtomäärä

letkussa sai letkun menemään tukkoon ja siirto loppui siihen asti, kunnes kuivausaineen määrää letkussa saatiin suuttimen säädöllä vähennettyä. Kuivausaineen siirtomäärän ollessa lähellä tukkeutumisrajaa, hyvänä indikaattori siitä oli sykkivä imu ja letkujen liikehtiminen samaan tahtiin. Tässä kohtaa säädettiin suuttimen etäisyyttä hie-man suuremmaksi, jotta virtaus oli tasaista.

10 YHTEENVETO

Työn tarkoituksen oli kehittää alipaineella toimiva kuivausaineen täyttölaitteisto korvaamaan käsivoimin tai ejektorilla täyttömenetelmä helpottamaan ja nopeuttamaan täyttötyötä. Suurempia ongelmia ei muodostunut työn aikana, lukuun ottamatta rikkoutunutta yhtä imurin moottoria. Täyttötyössä on tärkeää, että työtä tekevä henkilö on perehtynyt kuivaimen rakenteeseen tarpeeksi hyvin, jotta kuivaimen ei jää avoimia kohtia, joista alipaine pääsee vuotamaan. Tärkeää on myös työn alkaessa hienosäätää imuputken etäisyys vastaamaan eri nostokorkeuksille sopivaa säätöä. Karkean esisäädön lisäksi, silikageelillä 30 mm ja alumiinioksidilla 60 mm, on kuivausaineen liikkuvuutta havainnollistettava kellon ja aistin varaisesti. Esierottelusyklonin läpi pääsevä pöly tukkii hiljalleen imuripussin ja hienosuodattimen, joten siirtonopeutta on tarkkailtava ja vaihdettava imuripussi tarvittaessa. Täyttötyö voidaan toteuttaa yhden työntekijän voimin. Työ nopeutuu ja on lyhyemmän työaikansa takia kilpailukykyisempi kuivausaineiden vaihtotyön tarjouksia tehtäessä. Vaikka peruslaitteisto saatiinkin suunniteltua, rakennettua ja testattua, niin kehitysideoita on jo tullut muutamia, joita todennäköisesti toteutetaan tulevaisuudessa. Laitteisto ja menetelmä sai kokeiluissa hyvän vastaanoton ja kiitettävän palautteen sitä käyttäneiltä.

Työn aikana ymmärtämiseni alipaineella suoritettavaan materiaalin siirtoon kehittyi. Mitkä asiat vaikuttavat ja miten siirtotapahtumissa työn aikana silikageeli ja aktivoitu alumiinioksidi käyttäytyy eri tilanteissa. Huomiona kehittyi alipaineen hyvät ominaisuudet rakeisten ja jauhemaisten siirrossa. Pienten putkistovuotojen yhteydessä materiaalin vuotaminen kuljetusjärjestelmästä ulos jää pois, jos verrataan paineistettuun materiaalin siirtoon. Siirtonopeuden kasvaessa, kasvaa kiinteiden aineiden jauhautumista ja kuljetusjärjestelmän eroosiota.

LÄHTEET

Ahlsell www sivut. <https://www.ahlsell.fi/>

Atlas Copco Finland www sivut. 2021. <https://www.atlascopco.com/fi-fi>

Atlas Copco Compressed Air manual. 9th edition. 2019. Haettu 10.1.2022 osoitteesta <https://www.atlascopco.com>

Atlas Copco. Sisäiset koulutusmateriaalit 2022. Viitattu 15.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden

BASF CAT-002485 SorbeadAir, tech article. Haettu 18.1.2022 osoitteesta <https://catalysts.basf.com/industries/oil-gas/compressed-air-drying>

Hagner, Börje. Ax Suunnittelu. Energiakatselmoijan käsikirja osa 3. Julkaisija Motiva 2017. <http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>

ISO 8573-:2010. Compressed air. Part 1: Contaminants and purity classes. <https://www.iso.org/standard/46418.html>

Kuukka, Matti 2010. Kirkniemen paperitehtaan paineilmajärjestelmän energiatehokkuus. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004056099>

Kärcher International. NT70/3 esite. Haettu 18.1.2022. <https://www.kaercher.com>

Motonet www sivut. <https://www.motonet.fi/>

Painelaitelaki 16.12.2016/1144. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144>

Partanen, Joni. Dewpoint temperature – What does it mean and how can it be calculated? Syyskuu 23, 2020. Vaisala (www.vaisala.com/en/blog/2020-10/dew-point-temperature-what-does-it-mean-and-how-can-it-be-calculated)

Sairaalakaasujärjestelmien suunnittelu-, asennus- ja huolto-ohje. 2020. Suomen Sairaatekniikan yhdistys ry. Haettu 27.12.2021. <https://ssty.fi>

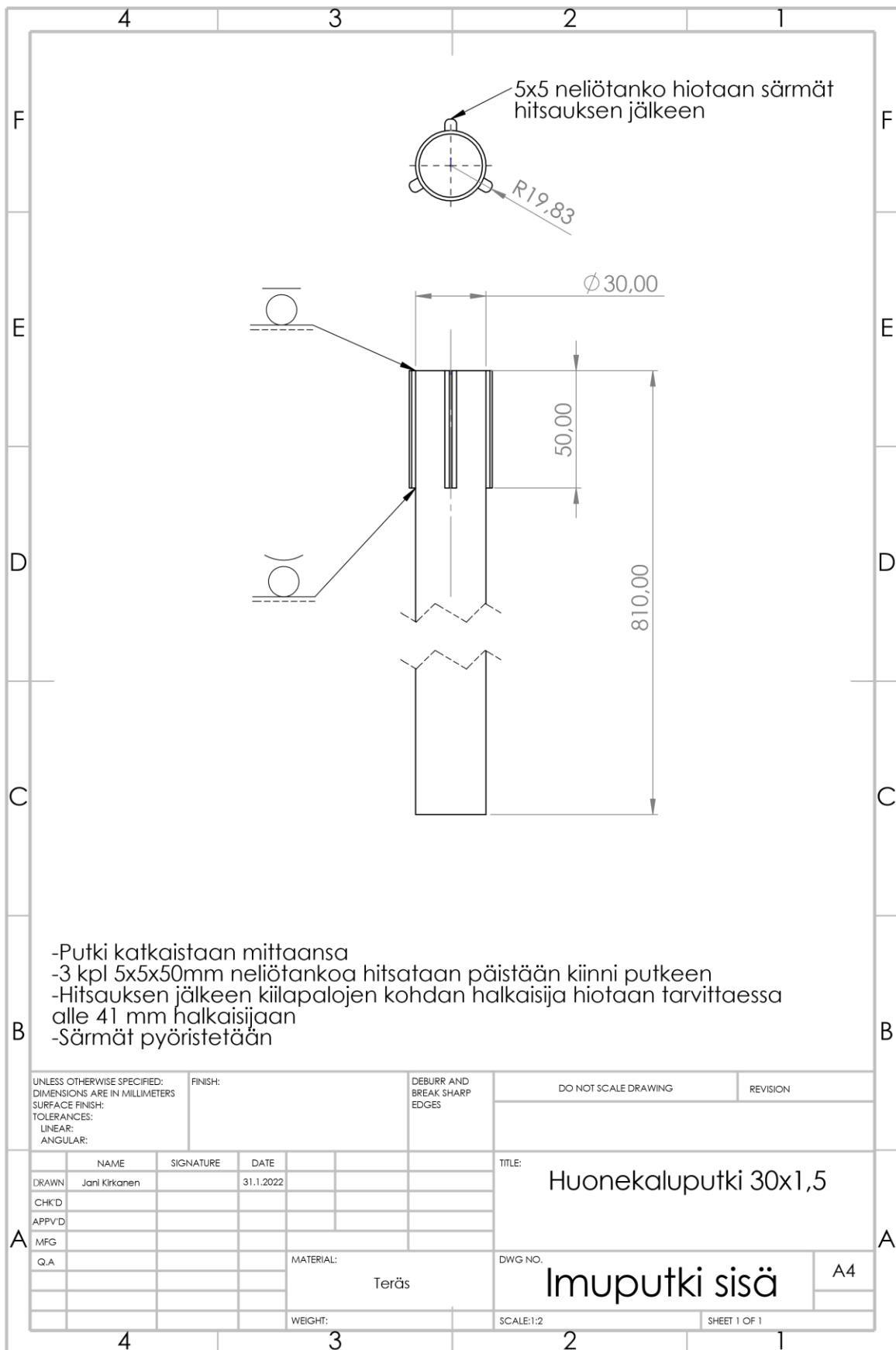
Siikalatvan Lukion. (n.d.) Lämpöoppi 2. Peda. Haettu 7.2.2022 osoitteesta <https://peda.net>

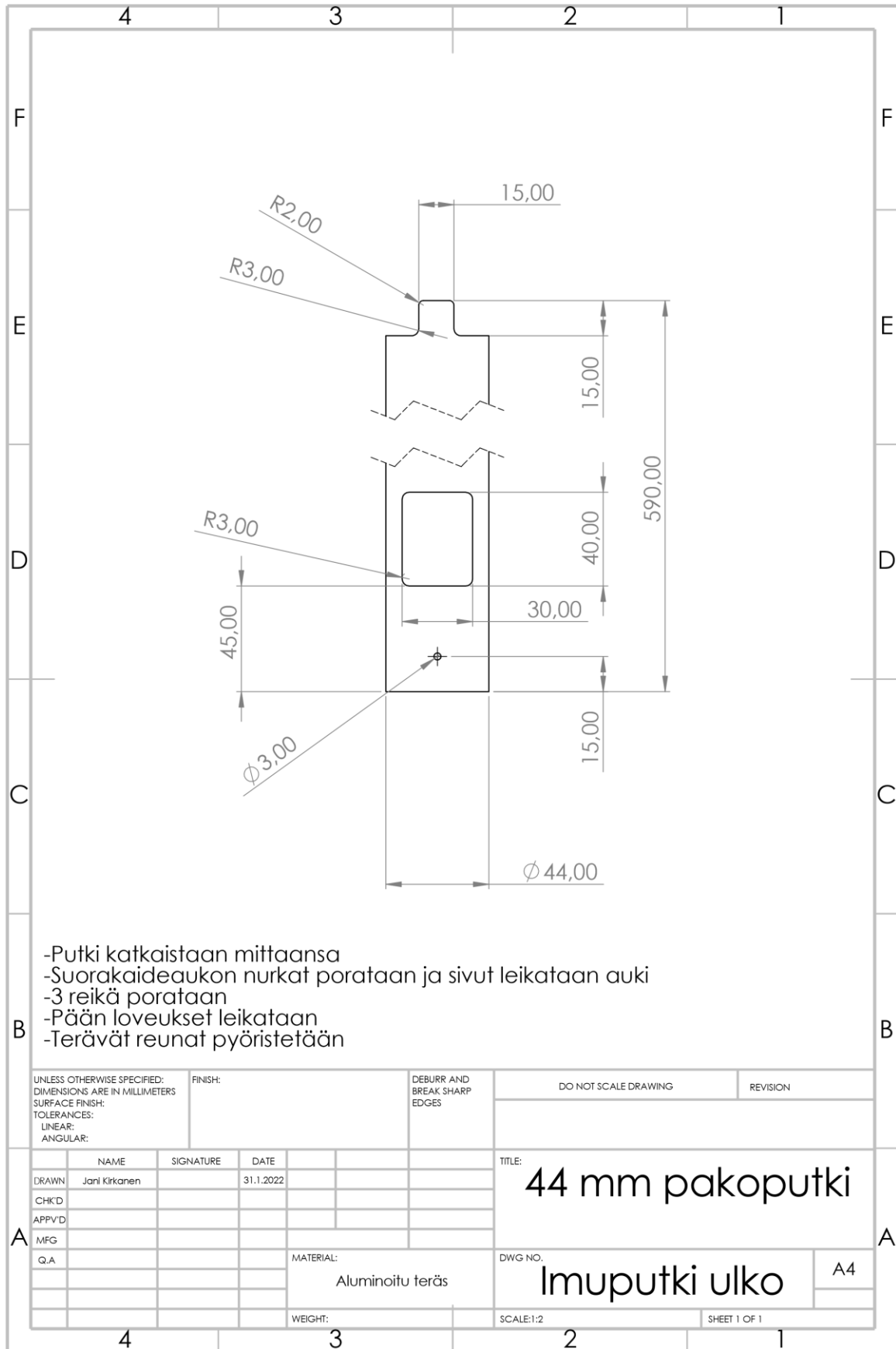
SLO verkkokaupan www sivut. <https://verkkokauppa.slo.fi/>

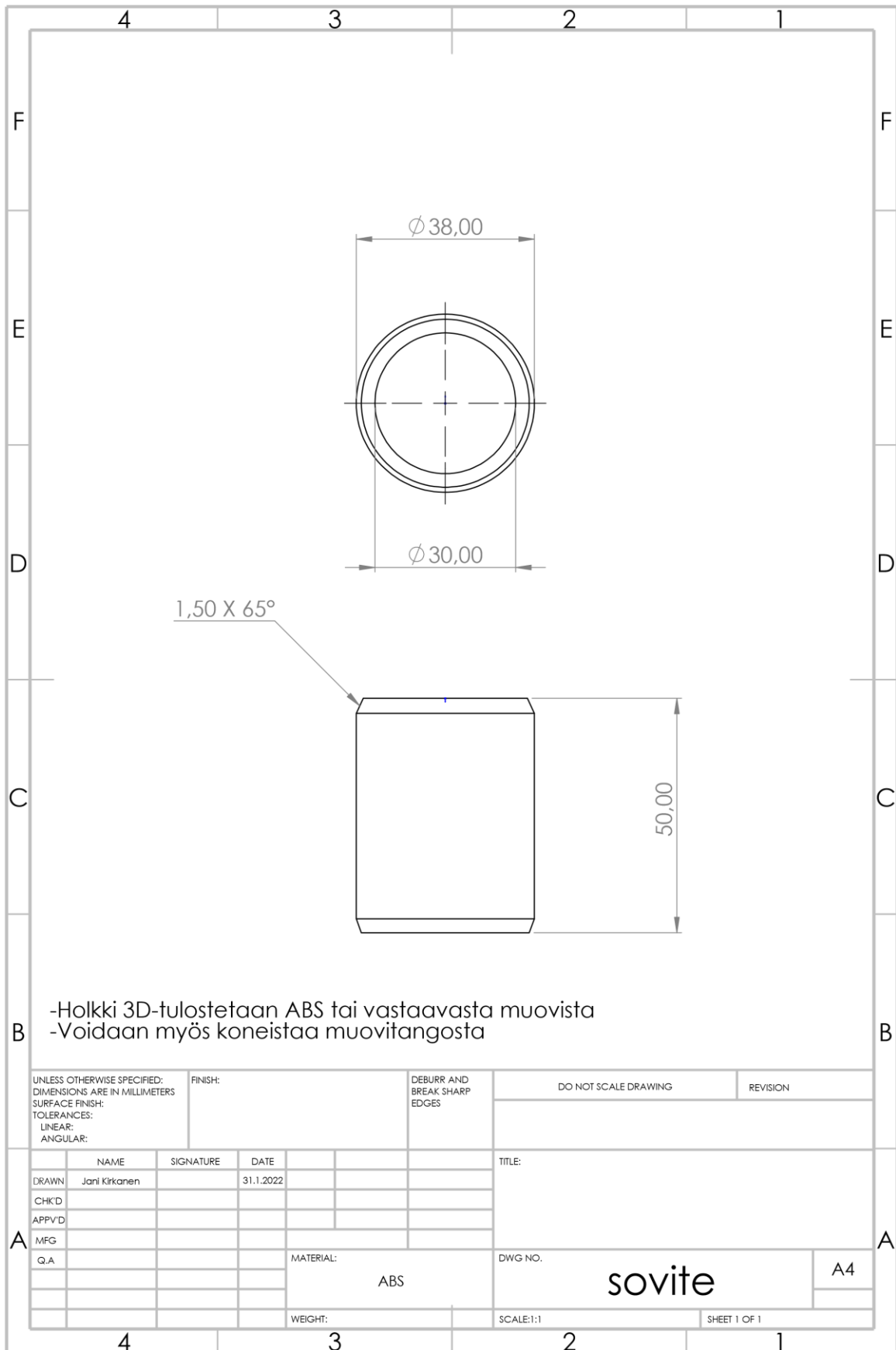
Tukiainen, Kulla, Pirinen. Kaasujen ominaisuudet ja yleinen tilayhtälö. Helsingin Yliopisto 2017 <https://journals.helsinki.fi/lumatb/article/download/1146/1138/3667>

Tarvikelista

Tuote	Valmistaja	Tyyppi/koko	Tuotenumero	Määrä	Yk-sikkö
Alipaine					
Imuri	Kärcher	NT70/3	Kärcher 1.667-274.0	1	kpl
Sykloni 50 mm liitoksilla	(Kiina)		Ebay	1	kpl
Kulmayhde HTP 88,9°	Uponor	50	Ahlsell 2430043U	2	kpl
Kulmayhde HTP 88,9°	Uponor	50	Ahlsell 2430243U	1	kpl
Kaksoismuhvi	Uponor	110	Ahlsell 2470166U	1	kpl
Tulppa	Uponor	110	Ahlsell 2470226U	1	kpl
Puhdistustulppa	Uponor	110	Ahlsell 2470196U	1	kpl
Pölymuriletku 38 mm	Etra	038	Etra 10320006911	7	m
Pölymuriletku 50 mm	Etra	051	Etra 10320006913	5	m
Pölymuriletkuliitin 38 mm	Etra	EL38	Etra 10320006420	2	kpl
Pölymuriletkuliitin 50 mm	Etra	EL50	Etra 10320006847	2	kpl
Maadoitus					
Kaapeli MKEM kevi	LTC	6 mm	SLO 421539	10	m
Maadoitus puristin 200A	Palokärki		Puulo 10080177	1	kpl
Tartuntamagneetti	(Kiina)		Ebay	1	kpl
Kaapelikengät	Ouneva Group	6-10 mm	SLO 5201204	2	kpl
Imuputki					
Huonekaluputki	Motonet	Ø 30 mm	Motonet 88-7123	2	m
Pakoputki suora	Fennosteel	Ø 44 mm	Motonet 14-8730	2	m
30/38x40 soviteholkki	Omavalmiste 3D-tuloste			1	kpl
Jatkoliitin komposiitti	IJoint	1 1/4"x32	Ahlsell 1909335	1	kpl
Viemäriputki muhvilla	Uponor	50'500	Ahlsell 2411113U	1	kpl
Tornin imuyhde					
Kaksoisnipa	Ahlsell	2"	Ahlsell 0753029	1	kpl
Pakoputken mutka 90°	Fennosteel	Ø 63 mm	Motonet 14-8605	1	kpl
Pakoputken mutka 90°	Fennosteel	Ø 40 mm	Motonet 14-8845	1	kpl
Viemäriputken muhvi	Uponor	Ø 50 mm	käytetty putkesta Ahlsell 2411113U	1	kpl
Kiinnitystarvikkeita					
Sikaflex 221 liimamassa					

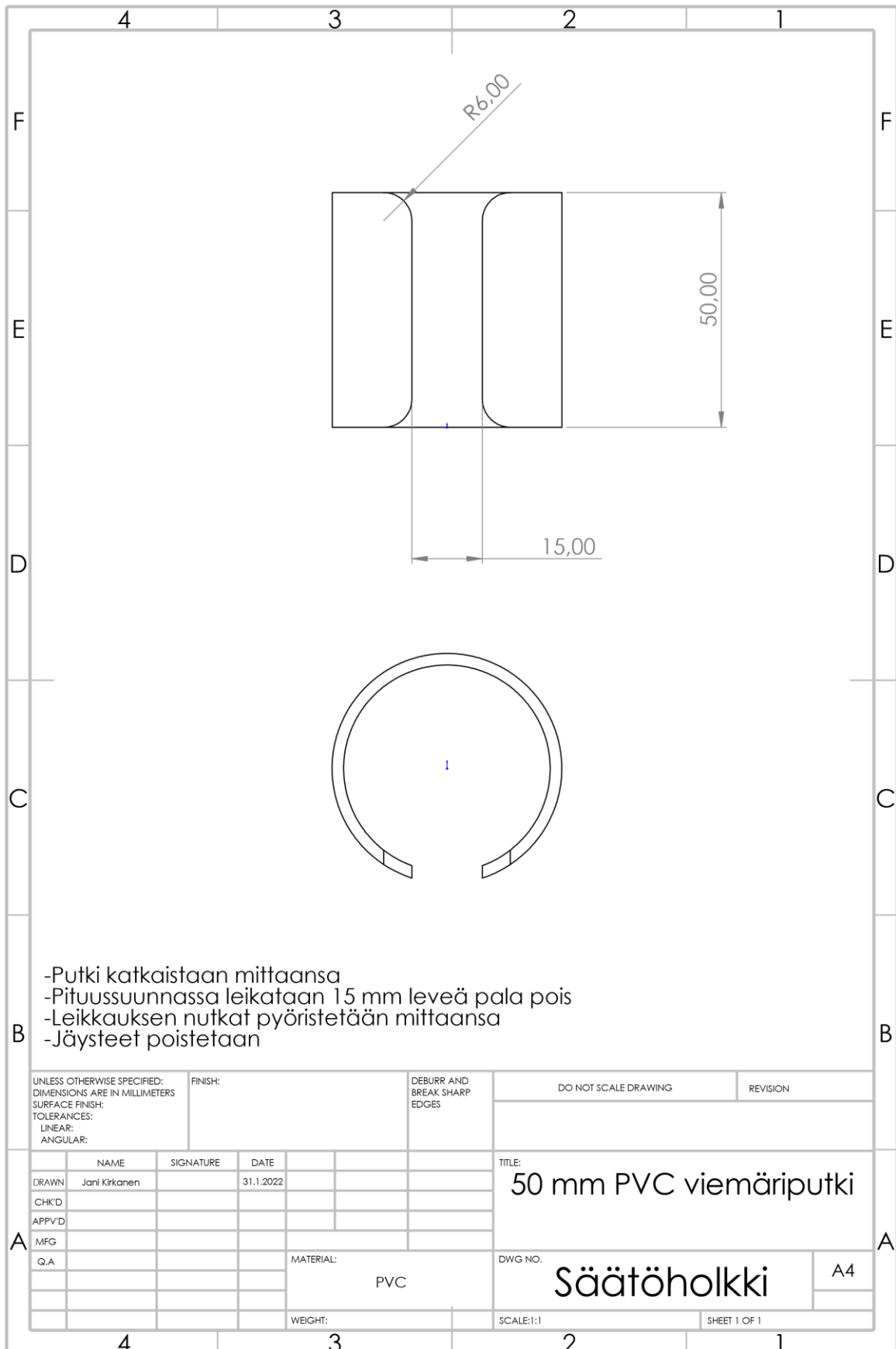






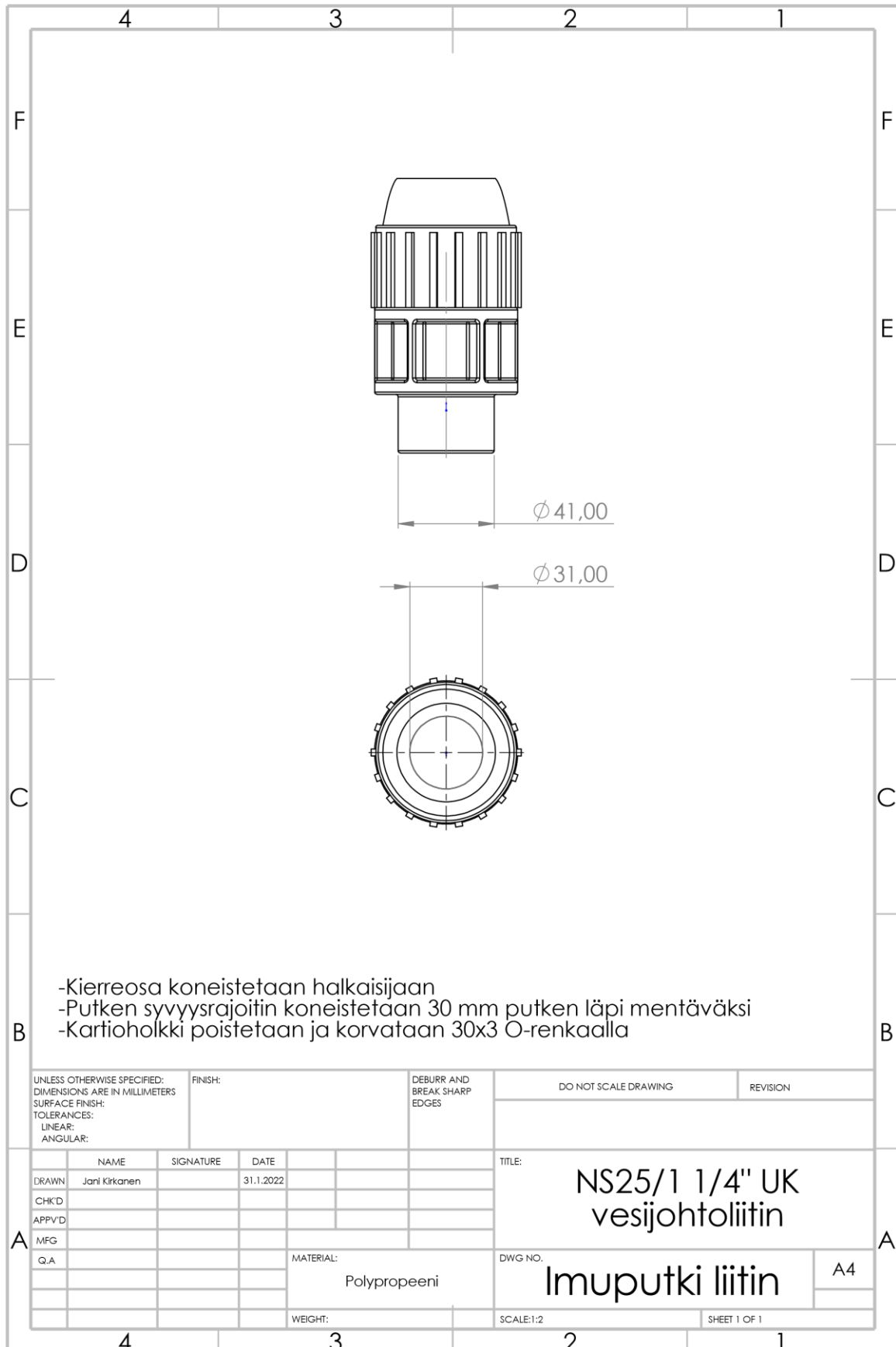
-Holkki 3D-tulostetaan ABS tai vastaavasta muovista
 -Voidaan myös koneistaa muovitangosta

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN Jani Kirkanen				31.1.2022					
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
				ABS		sovite			
				WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	



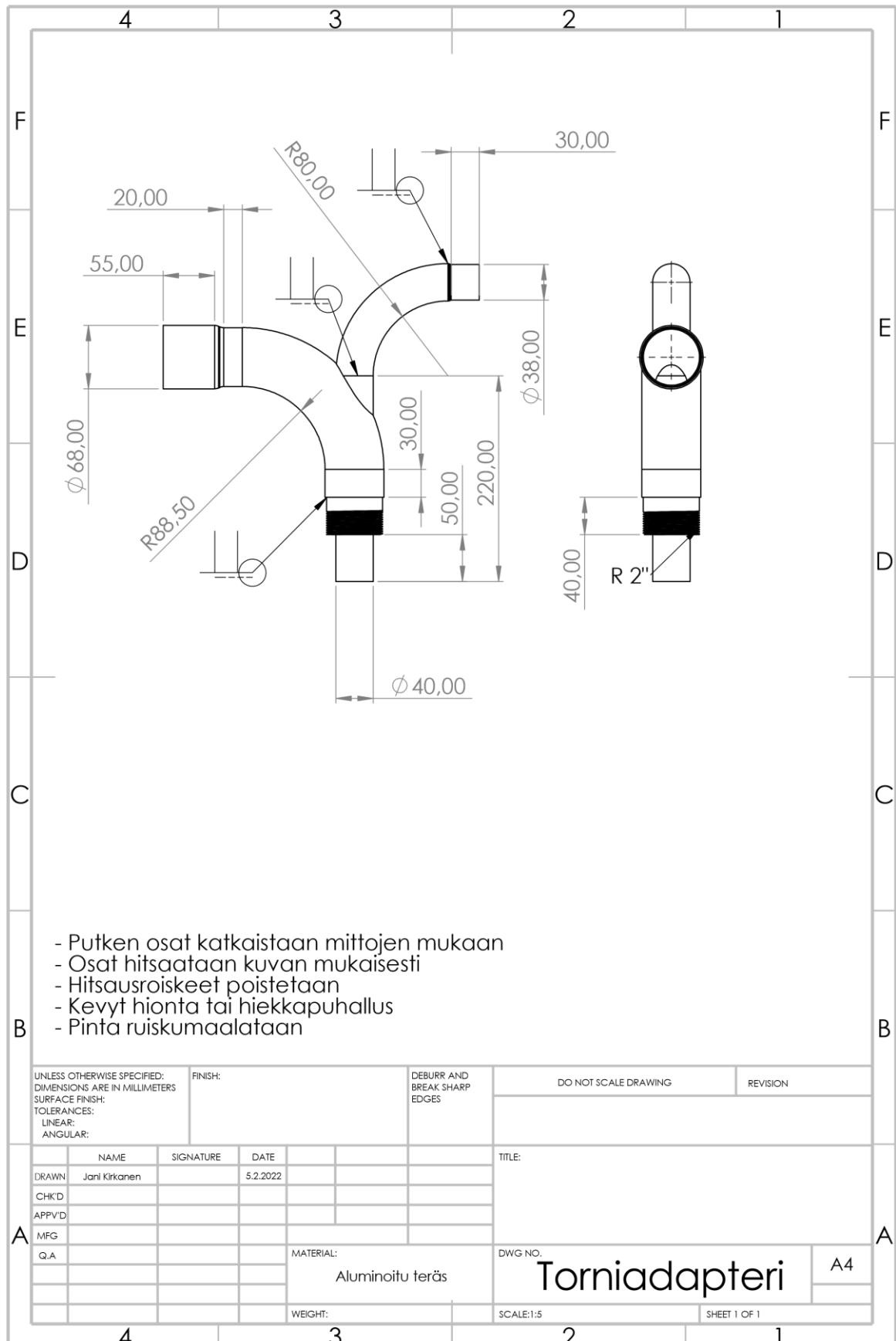
- Putki katkaistaan mittaansa
- Pituussuunnassa leikataan 15 mm leveä pala pois
- Leikkauksen nutkat pyöristetään mittaansa
- Jäysteet poistetaan

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN		Jari Kirkanen		31.1.2022		50 mm PVC viemäriputki			
CHKD									
APPVD									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
						PVC		Säätöholkki	
						WEIGHT:		SCALE:1:1	
								SHEET 1 OF 1	



- Kierreosa koneistetaan halkaisijaan
- Putken syvyyusrajoitin koneistetaan 30 mm putken läpi mentäväksi
- Kartioholkki poistetaan ja korvataan 30x3 O-renkaalla

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN		Jani Kirkanen		31.1.2022		NS25/1 1/4" UK vesijohtoliitin			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG. NO.		A4	
				Polypropeeni		Imuputki liittin			
				WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	



- Putken osat katkaistaan mittojen mukaan
- Osat hitsataan kuvan mukaisesti
- Hitsausroiskeet poistetaan
- Kevyt hionta tai hiekkapuhallus
- Pinta ruiskumaalataan

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN		Jani Kirkanen		5.2.2022					
CHKD									
APPV'D									
MFG									
Q.A						MATERIAL:		DWG NO.	
						Aluminoitu teräs		Torniadapteri	
						WEIGHT:		SCALE:1:5	
								SHEET 1 OF 1	