

Riku Halminen

YMPÄRISTÖTUOTANNON PAINEILMAJÄRJESTELMÄN
OPTIMOINTIMAHDOLLISUUDET

KEMIANTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA
2015

YMPÄRISTÖTUOTANNON PAINEILMAJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI

Halminen, Riku

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Joulukuu 2015

Opinnäytetyön valvoja: Laitinen, Jyrki., kehitysins., Huntsman Pigments, Pori

Opinnäytetyön ohjaaja: Hannelius, Timo., lehtori, SAMK

Sivumäärä: 40 sivua

Liitteitä: 27 liitettä

Avainsanat: Paineilma, ilmakompressorit

TIIVISTELMÄ

Paineilma on teollisuudessa välttämätön, mutta samalla kallis hyödyke tuottaa. Kustannuksien vuoksi teollisuudessa on kiinnitetty enemmän huomiota paineilman optimointiin.

Huntsman pigmentsillä paineilmaa käytetään monissa eri yksikköoperaatioissa, mutta tässä insinöörityössä keskityttiin Fundabac-suotimen sekä kipsilevysuotimien mahdollisuuksiin toimia alennetulla paineilmalla. Insinöörityön toisena tarkoituksena oli kartoittaa ympäristötuotannon ja tehtaan paineilmaverkkojen mahdollinen yhteensopivuus, jotta paineilman riittävyys olisi taattu myös erilaisissa häiriötilanteissa.

Insinöörityön lopputuloksina pystyttiin todentamaan paineenalennuksen olevan mahdollista. Paineen alentaminen ei merkittävästi vaikuttanut kiintoainekakkujen kosteuteen, joka on ratkaiseva tekijä. Kuivausilmana koeajoissa käytettiin 5,5 bar:in sijasta 2,5 bar:in paineilmaa. Haasteet paineen alentamiseen löytyvät paineilmaverkon suunnittelussa, jossa sekä kuivaus- että instrumentti-ilma tuotetaan samoilla kompressoreilla ja varastoidaan samoissa paineilmasäiliöissä. Työssä on liitteenä piirretty nykyinen paineilmaverkko ja mahdollinen optimoitu paineilmaverkko.

OPTIMIZATION OF THE PRESSURIZED AIR SYSTEM

Halminen, Riku

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Chemical Engineering

December 2015

Supervisors: Senior Lecturer Hannelius Timo (Chem. Eng.), SAMK

Research and Dev. Engineer Jyrki Laitinen, Huntsman Pigments, Pori

Number of pages: 40

Appendices: 27

Keywords: Pressurized Air, Air Compressors

ABSTRACT

Compressed air is needed for instrumentation and drying or some other unit operation in industry. It is relatively expensive to produce. Special attention should be paid on the pressure levels of the air, which in many cases are higher than necessarily needed. Electricity is consumed to compress air up to high pressure.

Purpose of this thesis was to study opportunities to reduce pressure of compressed air used in Fundabac-filters to dry and release filter cakes. Pressure level 5.5 bar was decreased down to 2.5 bar without any problems. On the other hand, synergy between two pneumatic systems, i.e Environment Department and Pigment production Plant, was studied. Great advantage is received, if pneumatic systems could be unified.

According to the results it was possible to reduce air pressure down to 2.5 bar leading to no changes in dry content of the filter cakes. The whole pneumatic system in the factory could be designed to be operated at more economical lower pressure level. Significant electricity savings can be realized.

1	JOHDANTO.....	6
2	HUNTSMAN PIGMENTS PORI.....	7
2.1	Kokonaisprosessi.....	7
2.1.1	Raaka-aineen jauhatus.....	7
2.1.2	Reaktio ja liuotus.....	8
2.1.3	Pelkistys.....	8
2.1.4	Liuoksen puhdistus.....	9
2.1.5	Haihdutus ja Saostus.....	9
2.1.6	Esi- ja jälkipesu.....	9
2.1.7	Valmennus ja kalsinointi.....	10
2.1.8	Jauhatus, käsittely ja käsittelypesu.....	10
2.1.9	Kuivaus, jauhatus ja pakkaus.....	10
2.1.10	Ympäristöosasto ja oheistuotteet.....	11
3	TEORIA.....	12
3.1	Yleistä paineilmastasta.....	12
3.2	Kompressorit.....	14
3.2.1	Ruuvikompressori.....	15
3.2.2	Turbokompressori.....	16
3.2.3	Mäntäkompressori.....	17
4	PAINEILMAVERKKO.....	19
4.1	Suodatus.....	20
4.1.1	Vedenerotin.....	21
4.1.2	Öljyn erotus.....	21
4.1.3	Adsorptiokuivain.....	22
4.1.4	Paineilmasäiliö.....	23
4.1.5	Laatu.....	25
5	KOEAJOT.....	26
5.1	Alkutilanne.....	26
5.1.1	Fundabac- suodin.....	27
5.1.2	Kammiosuotopuristin.....	28
6	KOEAJOJEN TULOKSET.....	31
6.1	Koeajojen analysointia.....	31
6.2	Toinen osuus.....	28
6.3	Veden neutraloinnin kipsi- ja liuossuotimien koeajot.....	36
7	PAINEILMAVERKON SUUNNITTELU.....	37
8	RAHALLINEN SÄÄSTÖ.....	39

9 LOPPUPÄÄTELMÄT	40
LÄHTEET	41
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia 2,5 barin kuivausilman soveltuvuutta ympäristötuotannon painesuotimien käytössä. Samalla työssä tutkittiin mahdollisuuksien mukaan ympäristötuotannon paineilmalinjojen optimointia energiatehokkaampaan käyttöön. Optimoinnin yhteydessä tutkittiin linjojen mahdollista yhdistämistä koko tehtaan paineilmajärjestelmään. Ympäristötuotannon liittäminen koko tehtaan paineilmajärjestelmään loisi mahdollisuuksia energiatehokkaampaan, turvalliseen sekä häiriö- että kunnossapitotoimiin. Yllättävän vahingon tai suunnitellun huollon aikana tehtaan paineilmajärjestelmä olisi turvattu.

2 HUNTSMAN PIGMENTS PORI

Huntsman Pigmentsillä on yli 75 tuotanto- ja tuotekehityslaitosta ympäri maailmaa 30 eri maassa. Tuotevalikoimaan kuuluvat mm erilaiset pigmenttituotteet. Porissa sijaitsee yksi Huntsmannin titaanidioksiditehtaista, jossa TiO_2 tuotetaan 130 000 tonnia vuodessa. Porin tehdas työllistää noin 400 henkilöä. Tehdas on perustettu vuonna 1957, jolloin se tunnettiin nimellä Vuorikemia OY. Prosessi saatiin käyntiin vuonna 1961 ja tämän jälkeen yrityksen nimi on vaihtunut useaan otteeseen omistajavaihdoksista johtuen. Tällä hetkellä yritys tunnetaan nimellä Huntsman Pigments.

Yritysten tuottamaa titaanidioksidia käytetään pääasiassa valkoisena pigmenttinä meikeissä, maaleissa, muoveissa ja papereissa, väriaineena erilaisissa elintarvikkeissa (makeiset, keksit) E-koodilla E171. Titaanidioksidi on biologisesti inertti ja myrkytön, joten sitä käytetään aurinkovoiteissa suojaamaan ihoa haitalliselta UV-säteilyltä. Fotokatalyyttisten ominaisuuksien ansiosta titaanidioksidilla voidaan UV-valon avulla hajottaa orgaanisia yhdisteitä (esim. itsepuhdistuvat lasit).

2.1 Kokonaisprosessi

Titaanidioksidin valmistukseen on kaksi tapaa, sulfaatti- tai kloridiprosessi. Porin tehtaalla käytössä on sulfaattiprosessi, jossa valmistetaan sekä rutiili- että anataasipohjaisia sekä UV- titaanioksidituotteita eri linjoilla. Anataasin kokonaisprosessi on lyhyempi kuin rutiilin, mutta rutiili on säänkestävämpi ja peittävämpi kuin anataasi ja siksi markkinaosuus on suurempi. UV-tuotteet ovat erikoistuotteita.

2.1.1 Raaka-aineen jauhatus

Raaka-aineena prosessissa käytetään ilmeniittiä (FeTiO_3) tai Slagia. Tärkeimpänä erona on titaani (Ti) pitoisuus, joka norjalaisessa ilmeniitissä on noin 44% . Slagi on Ti- pitoisuudeltaan ilmeniittiä rikkaampaa (noin 73%). Ilmeniitti sisältää myös rauta(III)oksidia (Fe_2O_3 , <14,5 %) ja rauta(II)oksidia (FeO , 32 % \pm 1 %), kun taas Sla-

gi sisältää rauta(III)oksidia (Fe_2O_3 , < 7,5%) sekä monia muita aineita. Merkittävimpänä tekijänä on kuitenkin rauta, joka poistetaan kokonaisprosessissa.

Ilmeniitti sekä Slagi kuivataan ennen jauhatusta. Ilmeniitti rumpukuivaimella tai Flash-kuivaimella, Slag myllypiirissä suoritettavalla ilmakuivauksella. Kuivattu raaka-aine jauhetaan kuulamylyillä, jonka jälkeen luokittimien avulla varmistetaan raaka-aineen laatu.

2.1.2 Reaktio ja liuotus

Kuivattu ja jauhettu ilmeniitti sekoitetaan reaktoreissa väkevään rikkihappoon. Reaktio käynnistetään tulistetun höyryn avulla. Eksotermisessä reaktiossa aineet reagoivat seuraavasti:



Reaktion jälkeen ns. panos jätetään kypsymään, jonka tarkoituksena pyritään oksidien sulfatoitumiseen.

Reaktiopanos liuotetaan kypsytyksen jälkeen. Tarkoituksena on liuottaa panoksen sulfaatit mahdollisimman hyvin.

2.1.3 Pelkistys

Liuoksen pelkistäminen tapahtuu rautaromulla, jossa kolmiarvoinen rauta (Fe^{3+}) pelkistyy kaksiarvoiseksi (Fe^{2+}). Pelkistäminen on erityisen tärkeää, sillä muuten kolmiarvoinen rauta joutuisi saostusvaiheessa titaatin kidehilaan, jolloin raudan peseminen olisi mahdotonta ja aiheuttaisi kalsinoinnissa syntyvissä kiteissä sävy- ja kirkkaushäiriöitä. Pelkistämisen yhteydessä osa titaanista (Ti^{4+}) pelkistyy 3-arvoiseksi titaaniksi (Ti^{3+}). Liuoksessa ei voi olla samaan aikaan kolmiarvoista rautaa ja titaania. Kolmiarvoinen titaani pelkistää kolmiarvoisen raudan kaksiarvoiseksi ja itse hapettuu takaisin neliarvoiseksi. Näin ollen, mikäli liuoksessa esiintyy kolmiarvoista titaania, ei liuoksessa voi esiintyä kolmiarvoista rautaa.

2.1.4 Liuoksen puhdistus

Rautaromulla pelkistetty liuos ohjataan selkeytykseen, jossa selkeytysapuaineen avulla kiintoaine laskeutuu pohjalle. Selkeytyksen alite pumpataan alitemudan suodatukseen, josta suodos otetaan talteen. Ylite ohjataan prosessissa eteenpäin.

Selkeytyksen jälkeen vuorossa on kiteytys, jossa liuoksen lämpötilaa laskemalla, osa raudasta saadaan kiteytymään ferrosulfaattina. Jäähdytetty liuos pumpataan sakeuttimille, jolloin ylitteestä poistuu kirkasliuos. Alite johdetaan lingoille, joissa ferrosulfaatti erotetaan linkoamalla.

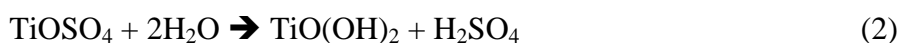
Kiteytyksen jälkeen liuos ohjataan kirkastussuodatukseen, jolloin loput kiintoaineet suodatetaan pois.

2.1.5 Haihdutus ja saostus

Ennen saostusta liuos väkevöidään poistamalla liuoksesta vettä tyhjöhaihdutuksessa. Haihdutuksen jälkeen liuos siirtyy saostussäiliöihin.

Saostuksen tehtävänä on saostaa liuoksen titaani titaanioksihydraattina mahdollisimman hyvin. Ytimien määrällä ja saostusolosuhteilla pystytään vaikuttamaan saostus-tuotteen rakenteeseen ja laatuun. Saostus perustuu hydrolyysiin eli vedellä hajottamiseen seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti

:



2.1.6 Esi- ja jälkipesu

Pesujen tarkoituksena on poistaa saostetun lietteen titaanihydroksidi-massasta epäpuhtaudet. Perusprosessi on kolmivaiheinen: esipesu, valkaisu ja jälkipesu.

Esipesussa erottuu suodatus- ja pesuvaiheessa 20% jätehappoa, joka otetaan talteen ja ohjataan hapon talteenottoon, jossa happo väkevöidään uudelleen kiertoon. Laimeammat pesuvedet käytetään reaktiopianosten liuotushappoina eli käytetään uudelleen valmistusprosessissa. Suurin osa tuotteen epäpuhtauksista poistuu pesussa.

Valkaisussa käsitellään esipesty liete pelkistetyllä titanyylisulfaatilla ja kalsinointikaasujen pesutornissa väkevöidyillä jälkipesun suodoksilla eli pesutornihapolla, jol-

loin loputkin epäpuhtaudet peseytyvät pois jälkipesussa. Jälkipesun tarkoitus on puhdistaa massa lopullisesti ennen kalsinointia.

2.1.7 Valmennus ja kalsinointi

Valmennuksessa titaanilietteen tai suodatetun titaanimassan joukkoon lisätään kemikaaleja. Kemikaalit ohjaavat TiO₂- kiteiden kasvua, muotoa ja sävyä kalsinoinnissa.

Kalsinoinnin tarkoituksena on saostuksessa muodostuvan massan muuttuminen pigmentille ominaiseen kidekokoon ja –muotoon. Lopullinen TiO₂ kide syntyy uunissa viimeisellä parilla metrillä 1000°C lämpötilassa.

2.1.8 Jauhatus, käsittely ja käsittelypesu

Kalsinointiuunin poiston jälkeen tapahtuvan jauhatuksen tehtävänä on irrottaa pigmentti-kokkareissa olevat kiteet mahdollisimman tarkasti. Rutiilituotteet jauhetaan ennen jatkokäsittelyä. Anataasituote jauhetaan suoraan pakkaussiiloon.

Jauhatuksen jälkeen rutiilituotteille suoritetaan käsittelyvaihe, jossa kemikaalien avulla pigmentille tehdään sen pintaominaisuudet.

Käsittelypesun ideana on poistaa titaanimassasta lienneet suolat, jotka aiheuttaisivat ongelmia lopullisessa tuotteessa.

2.1.9 Kuivaus, jauhatus ja pakkaus

Pesty titaaniliete pumpataan seuraavaksi kuivaamolle, jossa liete kuivataan. Kuivauksen jälkeen tuote jauhetaan suihkujauhatuksessa. Jauhettu tuote on laadun varmistuksen jälkeen valmista pakattavaksi säkkeihin ja sitä kautta valmis asiakkaalle.

2.1.10 Ympäristöosasto ja oheistuotteet

Titaanidioksidin pitkässä prosessissa syntyy paljon jätteitä ja oheistuotteita, jota ympäristöosasto pyrkii hyödyntämään ja neutraloimaan.

Hapon talteenotto eli HTO väkevöi titaanidioksidi-prosessissa syntyvän laimean rikkihapon n. 70% rikkihapoksi, joka pystytään käyttämään uudelleen panostuksessa. Hapon väkevöinti on kolmivaiheinen prosessi, jossa haposta poistetaan ensin rauta kiteyttämällä, sen jälkeen haihdutetaan väkevyys sopivaksi ja lopuksi suodatetaan kiinteät epäpuhtaudet pois.

Veden neutraloinnissa käsitellään tehtaan kaikki jätevedet siten että, ne on mahdollista pumpata jäteveeten. Vettä neutraloidaan kalkin avulla, jolloin veden pH nousee, mikä puolestaan edistää merkittävästi metallisuolojen saostumista. Apuainetta lisäämällä saadaan epäpuhtaudet laskeutumaan selkeyttimen pohjalle. Saatu liete suodatetaan ja suodoskakku läjitetään turvallisesti. /12/

3 TEORIA

3.1 Yleistä paineilmasta

Paineilmalla tarkoitetaan ylipaineista ilmaa, joka on vähintään kaksinkertainen ympäröivään ilmapaineeseen verrattuna. Paineilmaa tuotetaan paineilmakompressoreilla ja sitä käytetään mm. pneumatiikkaan, jäähdytykseen ja puhdistukseen. Painetasot liikkuvat yleensä alueella 2...10 bar.

Paineilman valmistuksen hyötysuhde on heikko, noin 30% tai alle, riippuen käyttöpaineesta ja häviöistä. Teollisuudessa paineilma on välttämätön hyödyke sen helppokäyttöisyyden ja varastoinnin ansiosta, sekä oikein käytettynä turvallisuutensa ansiosta.

Paineilman siirrosta aiheutuu aina painehäviöitä, jotka pyritään minimoimaan energiatehokkuuden kannalta. Paineilmaverkon putkistot pyritään rakentamaan suorista, saumattomista ja halkaisijaltaan suurista putkista. Halkaisijaltaan pienet putkistot lisäävät siirrosta koituvaa painehäviötä. Suuri putkikoko lisää verkoston säiliötilavuutta ja vähentää painevaihteluita. Suurimmat häviöt koostuvat vuodoista, mutkista, saumoista, venttiileistä ja haaroista. /5/

3.2 Adiabaattinen- ja isoterminen puristus

Isotermisessä puristuksessa kompressoria jäähdytetään niin, että kaasun lämpötila ei muutu puristuksen aikana. Käytännössä tämä on mahdollista vain hyvin hitaasti edistyvässä puristuksessa. Adiabaattisessa puristuksessa kaasu paisuu tai puristuu niin, ettei lämpöä siirry ympäristön ja systeemin välillä. Kaasun lämpötilan annetaan siis nousta vapaasti.

Isotermiselle puristukselle voidaan johtaa seuraavat kaavat.

$$pV = \text{vakio} \quad (3)$$

$$dW = -pdV \quad (4)$$

Kaavasta (4) saadaan puristustyö integroimalla:

$$\Delta W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (5)$$

Ideaalikaasun tilanyhtälöstä saadaan : $p = nRT/V$, joka sijoittamalla kaavaan (5)

antaa:

$$\Delta W = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV \quad (6)$$

Lopulta saadaan tehdyille työlle kaava (7):

$$\Delta W = nRT \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (7)$$

Adiabaattiselle puristukselle saadaan seuraava ehto (8):

$$PV^\kappa = C \text{ (vakio)} \quad (8)$$

$$dW = -pdV \quad (9)$$

$$dW = -CV^{-\kappa}dV \quad (10)$$

$$\Delta W = -C \int_{V_1}^{V_2} V^{-\kappa} \quad (11)$$

$$-C \int_{V_1}^{V_2} \frac{V^{-\kappa+1}}{1-\kappa} \quad (12)$$

$$-\frac{C}{1-\kappa} (V_2^{1-\kappa} - V_1^{1-\kappa}) \quad (13)$$

$$C = P_1V_1^\kappa = P_2V_2^\kappa \quad (14)$$

Lopulta saadaan tehdyille työlle kaava (15):

$$\Delta W_{adiab.} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\kappa - 1} \quad (15)$$

Lasku esimerkki: Puristetaan 1m^3 ilmaa 0°C :ssa 1 baarista 8 baariin

$$\text{a) Isotermisesti } \Delta W = P_1V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = 100000\text{Pa} \times 1\text{m}^3 \times \ln \frac{8}{1} = 208\,000\text{ J} = 208\text{ kJ}$$

$$\text{b) Adiabaattisesti } \Delta W_{adiab.} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\kappa - 1} = \frac{8 \times 10^5\text{Pa} \times 0,228\text{m}^3 - 1 \times 10^5\text{Pa} \times 1\text{m}^3}{1,4 - 1} =$$

$$206\,000\text{ J} = 206\text{ kJ}$$

Vastaavasti energian määrä puristettaessa isotermisesti 1 baarista 2,5 baariin on :

$$\Delta W = P_1V_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = 100000\text{Pa} \times 1\text{m}^3 \times \ln \frac{2,5}{1} = 91629\text{ J} = 92\text{kJ}$$

Edelleen adiabaattinen puristus :

$$\Delta W_{adiab.} = \frac{p^2 V^2 - p^1 V^1}{\kappa - 1} = \frac{250000 Pa \times 0,52 - 100000 Pa \times 1}{1,4 - 1} = 75000 J$$

=75kJ

Todellinen puristus sijoittuu isotermisen ja adiabaattisen tilanmuutoksen väliin, joten käytetään keskiarvoja sekä 8 bar:in että 2.5 bar:in painetasoille. Keskimääräinen puristustyö ilman kompressorikitkaa on 207 kJ edellisellä ja vain 83 kJ jälkimmäisellä puristuspainetasolla. Työtä tehdään siis alemmalla painetasolla vain 40 % verrattuna työhön korkeammalla painetasolla. /19/ (s.20)

3.3 Kompressorit

Kompressoriksi kutsutaan laitetta, jolla loppupaine on vähintään kaksinkertainen imupaineeseen verrattuna. Laitteita, jotka kehittävät pienempiä paineita kutsutaan puhaltimiksi tai ahtimiksi. Kompressoreja käytetään lähinnä teollisuudessa, kun puhaltimia käytetään ilmankuljetukseen ja ilmanvaihtolaitteissa. Ahtimen tarkoituksena on parantaa polttomoottorin hyötysuhdetta. Kompressorit voidaan jaotella puristustansa ja mekaanisen rakenteensa perusteella staattisesti ja kineettisesti puristaviin.

Staattisesti puristavia kompressoreja ovat mäntätyyppiset mäntäkompressorit ja pyörivätyyppiset ruuvikompressorit. Staattisessa puristuksessa kompressorin imuilma ohjataan kammioon, jossa tilavuutta pienentämällä staattinen paine kasvaa. Puristuksen jälkeen kaasu ohjataan ylipaineisena paineliitintään.

Kineettisesti puristavia kompressoreja ovat aksiaali- ja radiaanikompressorit.

Pneumatiikka-oppikirjan mukaan kineettisessä puristuksessa kaasu virtaa nopeasti pyörivään juoksupyörään, jossa se kiihdytetään suureen nopeuteen. Tämän jälkeen ilma ohjataan johtolaitteeseen, missä kineettinen energia muuttuu potentiaalienergiaksi (staattiseksi paineeksi), kun virtausta vastustetaan painetilassa. Kompressorin imu- ja painetila ovat yhteydessä toisiinsa.

Paineilmaverkon optimoinnissa kompressorit ovat tärkeässä asemassa. Kompressorin valintaan vaikuttavat paineilmaverkon käyttöpaine, ilman tilavuusvirta sekä ilman puhtaus. Tiedettäessä edellä mainitut tekijät pystytään tarkastelemaan eri kompressorien toiminta-alueiden käyttöä paineilmaverkkoon /5/ (s.43- 44)

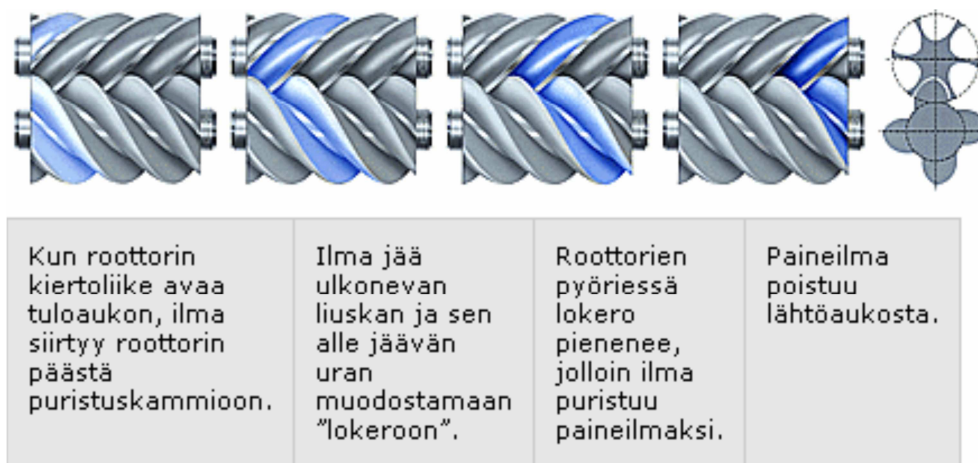
Taulukko 3.1 Eri kompressorityyppien ominaisuuksia.

Tyyppi:	Tuotettu paine (MPa):	Tilavuusvirta (m ³ /min):
Mäntäkompressorit	0,1 – 100	0,005 – 3
Ruuvikompressorit	0,08 – 3	0,25 – 10
Lamellikompressorit	0,02 – 0,8	0,08 – 2
Radiaaliturbokompressorit	0,07 – 30	0,1 – 50
Aksiaaliturbokompressorit	0,08 – 0,5	10 – 100

3.3.1 Ruuvikompressorit

Ruuvikompressoreissa puristus tapahtuu ruuvi- ja luistiroottorin väliin jäävässä urissa. Roottorien ympärillä oleva pesä tiivistää roottoreiden ulko- ja päätypinnat. Jos roottorit koskettavat toisiaan, tarvitaan öljyvoitelu. Öljyttömissä ruuvikompressoreissa roottorit eivät ole kosketuksissa, vaan niitä käytetään hammaspyöräkäytöllä. Öljyttömissä koneissa painesuhde on välillä 3 – 5 ja öljytiivistetyissä 13 – 15. Ruuvikompressoreissa ei ole lainkaan jäännöstilavuutta, vaan roottorit tyhjentävät puristustilan täydellisesti.

Ruuvikompressorien etuna pidetään huollon helppoutta, soveltavuutta raskaaseen käyttöön sekä verratessa mäntäkompressoreihin, ruuvikompressorit ovat huomattavasti hiljaisempia. /2/ (s. 30-35)



Kuva 3.2 ruuvikompressorin toiminta /11/ (s.7)

3.3.2 Turbokompressori

Kineettisesti puristavia aksiaali- ja radiaanikompressoreita kutsutaan turbokompressoreiksi, joissa ilma johdetaan nopeaan liikkeeseen yhdessä tai useammassa nopeasti pyörivässä juoksupyörässä, jota pyöritetään sähkömoottorin avulla. Juoksupyörässä sekä ilman nopeus, että liike-energia kasvaa. Ilman liike-energia muutetaan paineeksi hidastamalla virtausnopeutta. Usein prosessi toteutetaan kolmivaiheisena, jolloin saavutetaan hyvinkin korkeita paineita (13bar). Paineilman lämpötila nousee puristusprosessissa ja sitä jäähdytetään puristusvaiheiden välissä.

Aksiaalityyppisiä kompressoreja käytetään, kun ilmamäärä on suuri, mutta paine pieni. Radiaalityyppisiä kompressoreja käytetään, jos paine on suuri. Monivaiheiset kompressorit ovat sopivia suuria tehoja tarvittaessa. /1/



Kuva 3.3 turbokompressorin halkileikkaus /1/

3.3.3 Mäntäkompressori

Yleisin kompressorityyppi on mäntäkompressori, ja se voi olla yksi-, kaksi-, tai monivaiheinen, sekä yksi- tai kaksitoiminen. Pääosat mäntäkompressorissa ovat sylinteri, mäntä, imu- ja paineventtiilit sekä kampikammio kampiakseleineen ja kiertokankineen.

Yksivaiheisessa kompressorissa ilma puristetaan imupaineesta suoraan loppupaineeseen (Pneumatiikka 2 s 16). Männän liikuessa ala-asentoon ilma virtaa imuventtiilin kautta sylinteriin. Kun mäntä liikkuu yläasentoon, puristuu ilma sylinterissä ja virtaa poisteventtiilistä paineilmaverkostoon. Paineen ollessa alle 0,5 MPa ovat kompressorit yleensä yksivaiheisia.

Kaksivaiheisessa kompressorissa tapahtuu puristus kahdessa vaiheessa. Ilma puristetaan tiettyyn paineeseen matalapainesylinterissä, josta se johdetaan välijäähdyttimen kautta korkeapainesylinteriin. Korkeapainesylinterissä ilma puristetaan loppupaineeseen. Tavallisesti loppupaineen ollessa 0,8MPa keskikokoiset ja suuret mäntäkom-

pressorit ovat usein kaksivaiheisia. Tavoitteena on tuottosuhteen nostaminen, lämpötilojen hallitseminen ja hyötysuhteen parantaminen.

Kaksitoimisessa kaksivaiheisessa kompressorissa tapahtuu sekä imu että puristus männän molemmin puolin sekä matala- että korkeapainesylinterissä.

Mäntäkompressorin hyvinä ominaisuuksina pidetään:

- Laajalla painealueella taloudellinen toiminta
- Koneen käydessä tyhjäkäynnillä ja osakuormalla pieni tehontarve
- Korkeat loppupaineet (kymmeniä MPA)
- Huoltovapaampia ja varmatoimisia
- Automatisoitavia
- Helppo korjattavuus

Haittapuolina pidetään:

- Äänekkyyys
- Suuri koko tuotettuun ilmamäärään nähden
- Isot koneet vaativat hyvän perustuksen

/3/ (s.16-20)

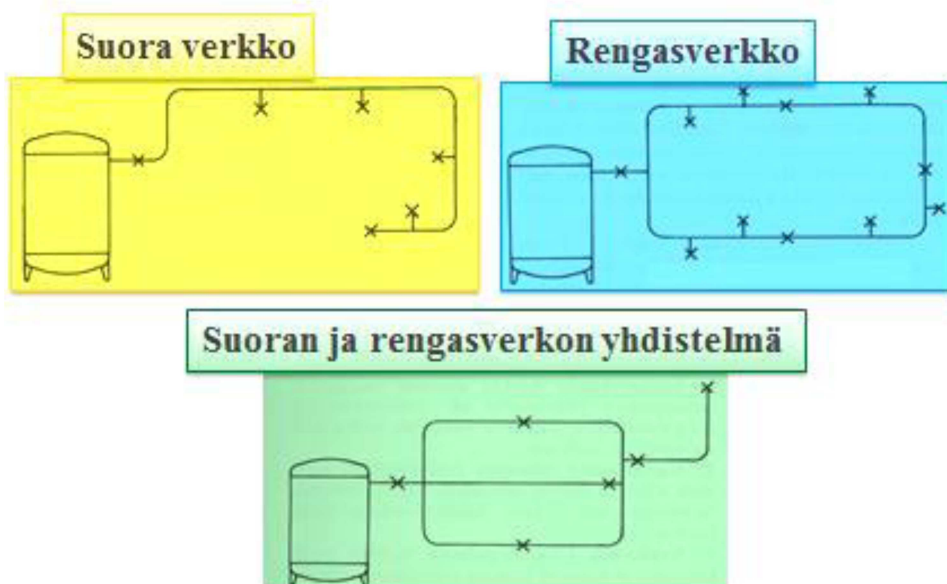
4 PAINEILMAVERKKO

Teollisuudessa paineilmajärjestelmä muodostuu normaalisti neljästä alijärjestelmästä:

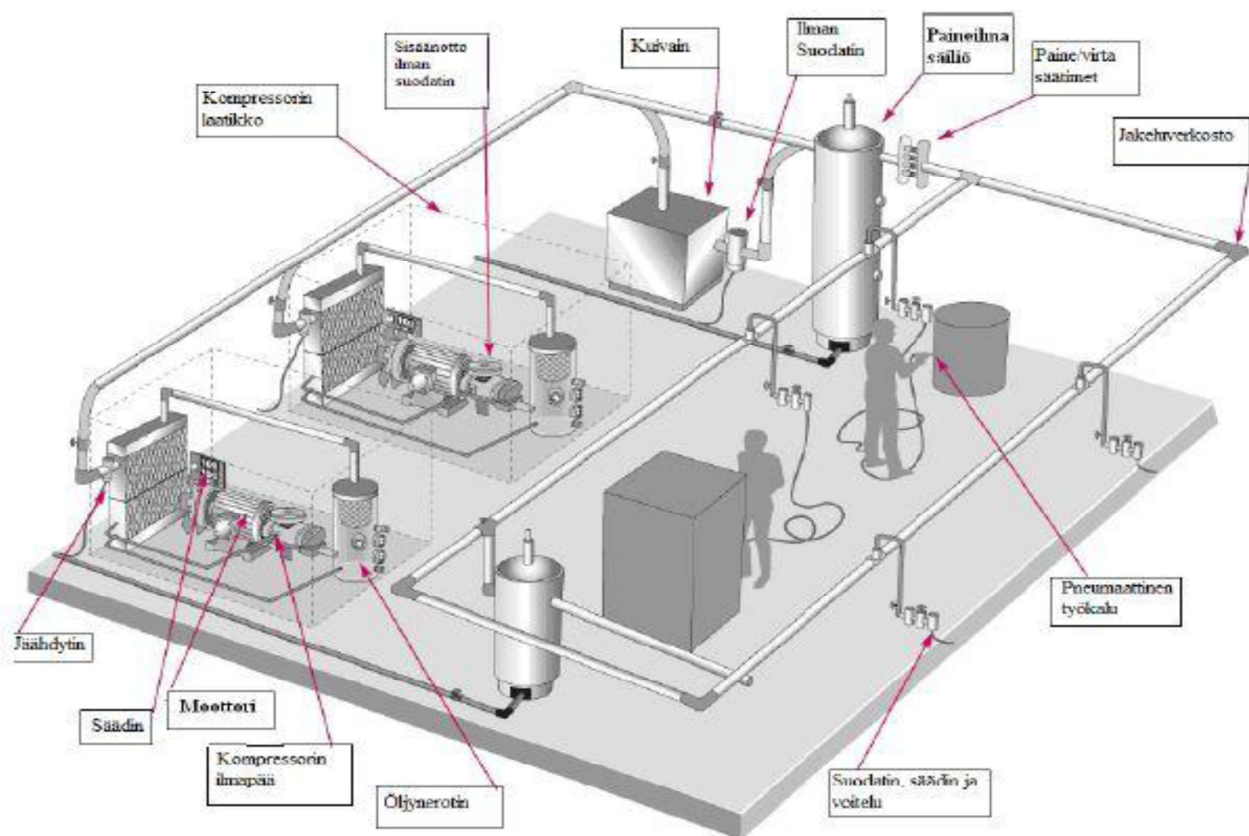
1. **Kompressorit** sekä niiden säätö-, ohjaus-, jäähdytys-, ja imuilman suodatuslaitteista.
2. **Paineilman käsittelylaitteet** kuten paineilmasäiliöt, jälkijäähdyttimet, suodattimet, lauhteenerottimet ja ilmakuivaimet.
3. **Paineilman jakelujärjestelmät** sisältäen runkolinjat, jakeluoksat ja venttiilit. Mahdolliset lisäsuodatukset.
4. **Paineistetun ilman käyttökohteet** muun muassa kuivaus puhallukset, työkaluilla, pneumaattiset sylinterit ja kuljetukset.

Paineilmajärjestelmän peruseriaatteen mukaisesti kompressori imee ilmaa, joka puristetaan haluttuun paineeseen. Epäpuhdas ja kostea paineilma jälkikäsitellään kuivaimilla ja suotimilla. Jälkikäsitelyn aiheuttamat painehäviöt ovat usein 0,3- 1bar:in luokkaa. Paineilman laatuvaatimukset vaikuttavat paljolti jälkikäsitelylaitteisiin, riippuen siitä, mihin paineilmaa käytetään. Merkittävimpinä epäpuhtauksina pidetään vettä, öljyä ja kiinteitä partikkeleja (teollinen käyttö vs sairaalakäyttö). Käsitelty paineilma syötetään putkia pitkin paineilmaverkkoon loppukäyttäjille. /9/ (s.6)

Paineilmaverkkoja on kolmea eri tyyppiä: rengas, suora ja näiden yhdistelmä



Kuva 4.1 erilaisia paineilmaverkkoja . /7/ (s.20)



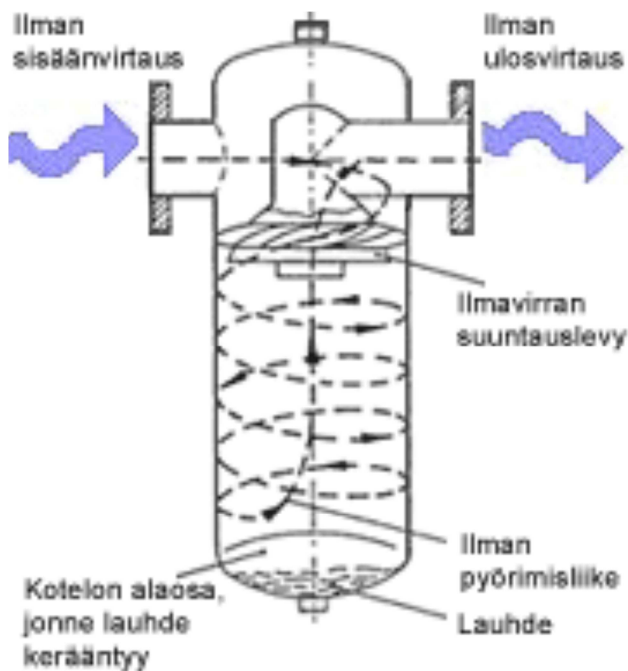
Kuva 4.2 paineilmaverkko /9/ (s.6)

4.1 Suodatus

Epäpuhtaudet poistetaan paineilmasta suodattamalla. Näin paineilmasta saadaan puhtaampaa ja kyetään vaikuttamaan oleellisesti paineilman laatuun. Kiintoaine hiukasia varten on olemassa useita erilaisia suodatuslaitteita riippuen minkälaisia laatuvaatimuksia paineilman puhtaus asettaa. Suodattimia ovat mm. mikro, hieno, aktiivihiili ja steriilisuodatin. Ennen puristamista paineeksi kompressoriin ohjattu ilma suodatetaan. Kompressorista ulos tuleva paineistettu ilma kuivataan ja ohjataan tiheämmille suodattimille. /18/

4.1.1 Vedenerotin

Paineistetun ilman jäähtyttyä tiivistyy ilmasta aina kosteutta. Kosteus on verkolle haitallista ja se pyritään poistamaan vedenerottimilla. Yksi yleisimmistä vedenerottimista on mekaaninen syklonierotin. Syklonierotin erottaa lauhteen keskipakovoiman avulla. Hyvän erotuskyvyn takaamiseksi nyrkkisääntönä on yksi syklonierotin per yksi kompressori. /18/



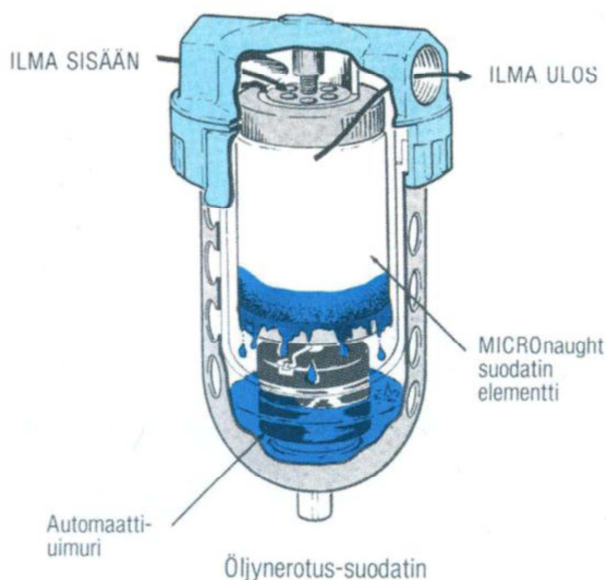
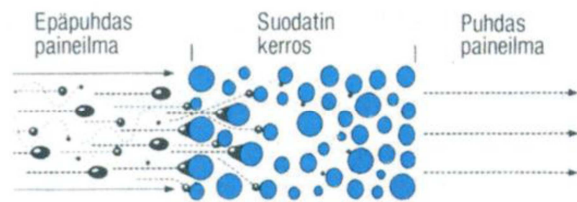
Kuva 4.3 Vedenerottimen toiminta /11/ (s.10)

4.1.2 Öljyn erotus

Öljy-tiivistetyt kompressorit päästävät aina öljyä paineilman joukkoon. Paineilmassa öljy voi olla sumuna, pisaroina, höyrynä tai kiinteinä hiukkasina. Öljy on poistettava, koska lauhdeveteen sekoittuneena se ei sovellu voiteluun. Suodatusmenetelminä käytetään:

1. mekaanista suodatusta, jonka verkko- tai reikärakenteisesta patruunasta pääsee läpi vain suodatuskykyä pienemmät öljyhiukkaset.
2. yhdistymissuodatusta, jossa pienet öljypisarot yhdistyvät suuremmiksi ja painuvat pohjalle
3. adsorptiota, jossa käytetään yleensä aktiivihiiltä sitomaan kaasuuntuneita öljyjä.

/18/

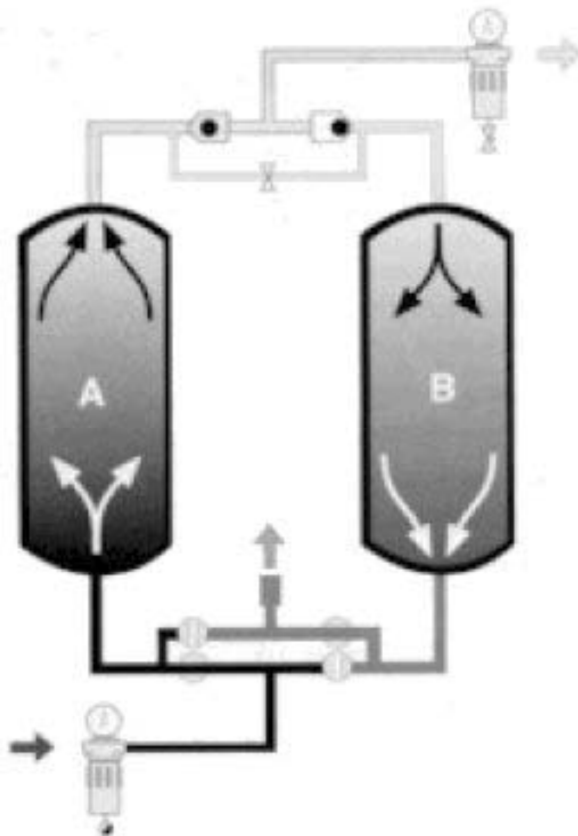


Kuva 4.4 Öljynerotus suodatin /7/ (s.21)

4.1.3 Adsorptiokuivain

Adsorptiokuivaimessa kaasusta irtoaa molekyyliä eli vettä kiinteään aineeseen. Tämä ilmiö perustuu kuiva-aineen pinta-adsorptioon. Adsorptio tapahtuu nopeasti noin sekunnin kymmenyksessä. Usein kuivaimessa käytettävä aine on silikageeliä, joka toimii veden sitojana. Adsorptiokuivaimessa on kaksi tornia, jotka molemmat sisältävät silikageeliä. Paineilma virtaa toiseen torneista ja kuivuu. Kuivattu ilma ohjataan takaisin paineilmaverkkoon, mutta osa kuivatusta ilmasta käytetään toisen tornin elvyttämiseen, eli kuivaamaan siinä käytettyä ainetta. Tietyn ajan kuluttua venttiilit kääntyvät, jolloin toinen torneista toimii kuivaimena ja toinen on elvytyksessä. Adsorptiokuivaimen miinuksena voidaan todeta kuivaavan ilman olevan hukka energiaa. Mahdollisuutena on asentaa sähkövastus auttamaan elvytyksessä olevaa tornia silikageelin kuivauksessa, jolloin kuivattava ilmamäärä on huomattavasti pienempi.

Adsorptiokuivaimien toiminta-ikä on melko pitkä, koska kuiva-ainetta elvytetään. Etuina ovat tehokas kuivaus ja puhdistus, mutta adsorptiokuivaimet ovat herkkiä mm. öljylle, joka heikentää niiden kuivaustehoa./17/



Kuva 4.5 Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate. /17/ (s.16)

4.1.4 Paineilmasäiliö

Paineilmasäiliön tehtävänä on toimia paineilmavarastona, tasata kulutshuippuja, vaimentaa painevaihtelua, jäähdyttää ilmaa ja toimia vedenerottimena. Se kuuluu paineastialainsäädännön alaisuuteen ja lainsäädäntöön liittyviä monia SFS-standardeja. Säiliön valmistusta varten tarvitaan valvontaviranomaisen lupa ja käyttöönottoa varten valvontaviranomaisen tarkastus.

Paineilmasäiliön mitoitus on tärkeä osa toimivaa paineilmaverkkoa. Erityisen tärkeää on huomioida mitoitus mäntätyyppisillä kompressoreilla, sillä säiliö pienentää kompressorin aiheuttamia paineiskuja ja toimii painevarastona. Ruuvikompressoria käytettäessä paineilmasäiliö toimii kulutshuippujen tasaajana ja painevarastona. Suuriin

kulutuksen aiheuttamiin paineen vaihteluiden tasoittamiseen tarvitaan yleensä suuri painesäiliö. Paineen vaihteluihin vaikuttavat: paineilmasäiliön koko, kompressorin kuormitusjaksojen luku sekä kulutuksen suuruus.



Kuva 4.6 erikokoisia paineilmasäiliötä. /11/ (s.9)

Taulukko 4.7 Paineilmasäiliön tarvittava koko eri tehoisille kompressoreille

Kompressorin tuotto	Sallittu paineen vaihtelu (bar)			
	0,25	0,5	1	2
m3/min	Tarvittava säiliön koko m3			
0,5	0,2-0,5	0,1-0,3	0,05-0,15	0,03-0,1
1	0,4-1,0	0,2-0,5	0,1-0,3	0,05-0,15
1,5	0,5-2	0,3-1	0,15-0,5	0,1-0,25
2	0,75-2	0,4-1	0,2-0,5	0,1-0,3
3	1,0-3	0,5-1,5	0,3-0,75	0,15-0,5
4	1,5-4	0,75-2	0,4-1,0	0,2-0,5
6	2,0-6	1,0-3	0,5-1,5	0,3-0,75
8	3,0-8	1,5-4	0,75-2,0	0,4-1,0
10	4,0-10	2,0-5	1,0-3	0,5-1,5
15	6,0-15	3,0-8	1,5-4	0,75-2,0
20	8,0-20	4,0-10	2,0-5	1,0-3
30	10,0-30	5,0-15	3,0-8	1,5-4
50	20-50	10,0-25	5,0-15	2,5-8

4.1.5 Laatu

Paineilman laatu luokitellaan ISO-standardin 8573-1:2010 mukaisesti. Laadun määrittämiseksi tarkastellaan kiinteiden partikkelien maksimipitoisuutta mg/m^3 sekä maksimipartikkelikokoa. Kastepistettä paineen alaisena eli lämpötilaa, jossa vesihöyry kondensoituu vedeksi vallitsevassa paineessa sekä öljypitoisuuden maksimimäärää mg/m^3 . Paineilman käyttötarkoitus kertoo laatuluokasta. Mikäli kyseessä on sairaala, tarvitaan puhdasta paineilmaa. Virukset ja bakteerit ovat suuri riski. Tehdas käyttöön paineilman laatuluokitus vaihtelee. Instrumentti-ilman tarvitsee olla kuivaa, ja siksi ilma ohjataan ilmakuivaimien lävitse. Kuivaus ilma voi olla paljon epäpuhtaampaa, koska sen käyttötarkoituksena esim. Huntsman Pigmentsillä on kuivata painesuotimiin muodostunut kiintoainekakku.

Taulukko 4.8 laatustandardi taulukko Sarlin /1/

ISO 8573:1:2010 Paineilman laatustandardi							
Luokka	Kiinteät hiukkaset			Massapitoisuus mg/m^3	Vesi		Öljy
	Hiukkasten maksimimäärä/ m^3				Paineen-alainen kastepiste	Neste g/m^3	Kokonaisöljy mg/m^3 *)
	0,1...0,5 μm	0,5...1 μm	1...5 μm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	$\leq -70^\circ\text{C}$	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	$\leq -40^\circ\text{C}$	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	$\leq -20^\circ\text{C}$	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	$\leq +3^\circ\text{C}$	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	$\leq +7^\circ\text{C}$	-	-
6	-	-	-	≤ 5	$\leq +10^\circ\text{C}$	-	-
7	-	-	-	5 ... 10	-	$\leq 0,5$	-
8	-	-	-	-	-	0,5 ... 5	-
9	-	-	-	-	-	5 ... 10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

*) Öljysumu, öljyneste, öljyhöyry

5 KOEAJOT

Tarkoituksena oli selvittää pystytäänkö hapon talteenoton Fundabac-suotimen sekä veden neutraloinnin kammiosuotimien kuivausilman paine laskemaan 5,5bar:ista 2,5 bar:iin.

5.1 Alkutilanne

Huntsman Pigmentsin Porin tehtaalla on käytännössä katsoen kolme erillistä paineilmayksikköä. Tehtaalla on kaksi omaa verkkoa, ns. sekoitusilma 2,5 bar:in paineella sekä instrumentti-ilma 5,5 bar:in paineella. Ilmaa tuotetaan 2,5 bar:in paineella kahdella suurella turbokompressorilla sekä varalla olevilla kahdella ruuvikompressorilla. Instrumentti- ilman tuotannosta vastaa kuusi kompressoria, joista neljä on ruuvikompressoreja ja kaksi mäntäkompressoria.

Hapon talteenoton paineilmakeskuksessa on kolme Tamrock-kompressoria sekä yksi iso turbokompressor. Tamrockin kompressoreista kaksi on hajonnut. Turbokompressor ja yksi Tamrock-ruuvikompressor toimivat hapon talteenoton paineilmakeskuksen kompressoreina. Hapon talteenoton alkuperäisessä paineilmaverkossa on tuotettu sekä kuivaus- että instrumentti-ilma samoilla kompressoreilla. Aluksi kompressoreilla tuotetaan paineilmaa, joka ohjataan öljy- ja vedenerottimien läpi paineilmasäiliöön. Hapon talteenotossa on neljä erikokoista paineilmasäiliötä. Suurin (987.13) toimii kuivausilman puskurisäiliönä ja kolme pienempää (987.08, 987.09 , 987.10) säiliötä toimivat instrumentti-ilman puskurisäiliönä eli kaikki säiliöt ovat runkolinjalla yhteydessä toisiinsa. Paineilmasäiliöissä vallitsee 10 bar:in ylipaine, jonka tarkoituksena on turvata paineilman riittävyys, vaikka näin korkeaa painetta ei tarvita missään prosessin osassa. Säiliöistä paineilmaa ohjataan joko instrumenttiverkkoon tai kuivausilmaksi painesuotimille (742.01 – 742.05 sekä .07). Paineilma kulkee runkolinjaa pitkin paineenalentajan lävitse, joka alentaa paineen haluttuun määrään, tässä tapauksessa 5,5bar:iin. Syksyllä 2014 hapon talteenoton levysuotimiin kuivausilma tuotetaan tehtaan puolelta, jolloin levysuotimet käyttävät tehtaan 2,5 bar:in sekoitusilmaa.

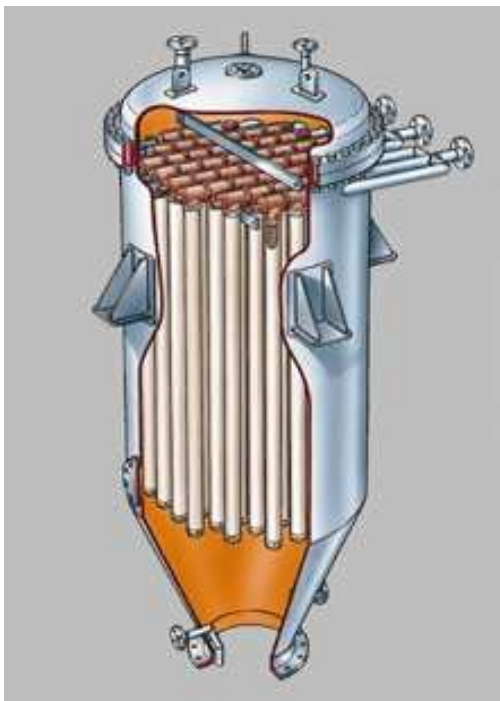
2,5 bar:in linja on yhdistetty HTO:n vanhaan korkeapaineilman linjaan. Linjat ovat erotettu käsiventtiilin avulla toisistaan. Fundabac-suodin käyttää HTO:n oman paineilmakehän tuottamaa korkeapaineilmaa ja sille on rakennettu oma runkolinjansa suoraan paineilmakehuksesta suotimen kylkeen. HTO:lla on kaksi instrumentti-ilmalinjaa tehtaalla, joista molemmat ovat käytössä. Suurin osa instrumenttiilmasta tuotetaan kuitenkin HTO:n omilla kompressoreilla. (LIITE 3.1)

Veden neutraloinnin paineilmakehässä on neljä ruuvikompressoria, jotka tuottavat veden neutralointiin tarvittavan kuivaus- sekä instrumentti-ilman. Kompressorit tuottavat paineilmaa, joka kulkee öljysuodattimen sekä vedenerottimen läpi runkolinjaan. Runkolinja on yhteydessä paineilmasäiliöihin, joita VENE:ssä on viisi kappaletta. Kolme suurinta ovat kammiosuotimien (P32.11 -.01 -.02 -.03 -.04 -.05) kuivausilman käytössä ja kaksi pienempää toimivat instrumentti-ilman puskurisäiliöinä. Instrumentti-ilmasäiliöstä toinen on tarkoitettu Sakan tuotteistuslaitoksen mittariilmaksi ja toinen Veden neutraloinnille. VENE:ssä tuotetaan myös ELLI laitoksen tarvitsema paineilma. Veden neutraloinnissa tuotetaan vain korkeapaineista ilmaa (8 bar), jota käytetään sekä kuivauksessa, että instrumentti-ilmana. Instrumentti-ilma ohjataan ilmakuivaimien lävitse, jolloin ilmasta poistuu kosteutta. Kuivauksen avulla saadaan ilman kastepistettä laskettua alhaiseksi, eikä vedestä aiheutuvia häiriöitä ilmene laitteissa. Paineilmasäiliössä vallitsee 8 bar:in ylipaine, joka alennetaan runkolinjassa paineenalentimella 5,5 bar:iin. Kuivausilmalle ja instrumentti-ilmalle on erilliset paineenalentimet. Paineenalentimen jälkeen ilma kulkeutuu käyttökohteisiin. Hapontalteenotosta löytyy korkeapainelinja, joka on yhteydessä Veden neutraloinnin runkolinjaan ja toimii samalla varalinjana (LIITE 3.1)

5.1.1 Fundabac- suodin

Fundabac-suodin on suljettu säiliö, joka täytetään suodatettavalla lietteellä. Suodinta ohjataan sekvensseillä, jotka ovat: suodatus, kuivaus ja pudotus. Suodatuksessa suodatettavaa lietettä pumpataan suotimeen, niin että suodin täyttyy. Tämän jälkeen pumppausta jatketaan, jolloin liete läpäisee kynttilöissä olevan kankaan ja poistuu

suodoslinjaa pitkin suodossäiliöön. Levysuotimista poiketen suotimessa ei ole levyjä, vaan niin kutsuttuja kynttilöitä, joihin kiintoainekakku tarttuu. Kynttilöitä on useassa rekisterissä. Rekisterien koko määrittää, kuinka monta kynttilää rekisterissä on. Isommassa rekisterissä on enemmän kynttilöitä, kuin pienessä. Suodatustilavuuden täytyttyä suodin tyhjenetään lietteestä paineilman avulla takaisin syöttösäiliöön. Tyhjennyksen jälkeen alkaa kuivaus. Kynttilöissä oleva kakku pidetään kiinni suotimen sisällä vallitsevan ylipaineen avulla. Kakun kuivaus tapahtuu paineilmaa käyttäen, jossa kynttilöiden ulkopintaan puhalletaan ylipaineista ilmaa, siirtäen kosteutta pois kakusta. Kuivauksen jälkeen suoritetaan pudotus, jossa paineilmaiskujen avulla kiintoainekakku irtoaa kynttilöistä. Pudotuksen jälkeen sekvenssi alkaa alusta. /14/
/15/



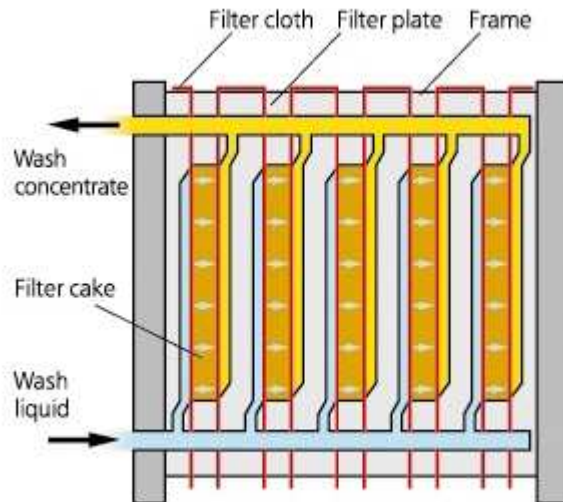
Kuva 5.1 Fundabac-suotimen halkileikkaus /15/

5.1.2 Kammiosuotopuristin

Veden neutraloinnissa käytetään lietteen puhdistamiseen Andritzin kammiosuotopuristinta, jossa suodatetaan poistovesistä saostuneet epäpuhtaudet kipsikakkuina. Suodinta ohjataan sekvensseillä, jotka ovat Suodatus, Kuivaus ja Pudotus. Lisäksi omana sekvenssinä toimii levyjen membraanikalvojen puristus, painepuristuksena ja paine-

vapautuksena. Painepuristus- sekä paineenvapautussekvenssi on liitetty kuivaussekvenssiin. Suodatuksessa lietettä pumpataan syöttölinjaa pitkin suotimeen, jonka paine on hydraulisesti nostettu 350 bariin . Lietteessä olevat epäpuhtaudet tarttuvat levyjen kankaisiin muodostaen suodinkakun. Suodatussekvenssi päättyy, kun alkuehdot täyttyvät. Ehtoina ovat: suodatustilavuus, syöttölinjan paine, syötön virtaus sekä maksimi suodatusmäärä. Ehtojen täytyttyä kuivaussekvenssi alkaa. Kuivaussekvenssissä puhalluksia on monta erilaista. Syöttöreiän esipuhalluksen tarkoituksena on puhaltaa jätevesilietettä takaisin syöttösäiliöihin P31.01 ja -.02. Esipuhalluksen jälkeen on painepuristuksen vuoro. Painepuristus kestää aluksi viisi minuuttia omana sekvenssin osana ja jää tämän jälkeen päälle. Suodoskanavien tyhjennyspuhalluksen ideana on pyrkiä tyhjentämään suodoskanavat mahdollisimman täydellisesti ennen kakun kuivauspuhallusta. Kakun kuivaussuunta-puhalluksen tarkoituksena on puhaltaa paineilmaa **ristiin levyn kulmasta kulmaan, suodoskanavia pitkin**. Kammiosuotimen kakun kuivaus tapahtuu vesi-membraanipuristuksella, jossa levyjen sisään pumpataan vettä. Poistoventtiiliä kuristamalla paine levyjen sisällä kasvaa aiheuttaen kalvon laajenemista. Levyjen välissä oleva kakku puristuu, jolloin kakussa oleva neste puristuu pois samaan tapaan kuin pesusientä puristaessa. Puristuksen ollessa käynnissä ohjataan levyn sisään ylipaineista 5,5 barin kuivausilmaa, joka siirtää kosteuden pois levyjen välistä. Kuivauksen jälkeen suoritetaan kakkujen pudotus, joka tapahtuu mekaanisesti. Aluksi suodin vapautetaan paineesta liikuttamalla tunkkia auki asentoon. Levyjen päällä on koukkuja joihin yläpuolella kulkevan ketjun koukut tarttuvat kiinni ja liikuttaen yhtä levyä kerrallaan. Tällöin levyjen välit käydään yksitellen läpi, jolloin kakku irtoaa levyn kankaasta. Pudotuksen jälkeen suodin on valmis aloittamaan suodatussekvenssin uudestaan.

Vesien neutralointilaitoksessa suodatetaan myös tehtaan alkupään pelkistetty liuos. Suotimena toimii Andritzin kammiosuotipuristin, samanlainen kuin kipsille. Suodinta ohjataan kipsisuotimien tapaan sekvensseillä. Sekvenssejä ovat: Suodatus, Pesu, Kuivaus sekä Pudotus. Membraanikalvon puristusta ja vapautusta ohjaavat omat sekvenssit, mutta ne on liitettyinä kuivaussekvenssiin että pudotussekvenssiin. /16/



Kuva 5.2 painesuotimen halkileikkaus /13/



Kuva 5.3 Kammiosuotopuristin /13/

6 KOEAJOJEN TULOKSET

Fundabac-suotimen koeajo aloitettiin 8.11.2014 ottamalla kerran vuorossa näyte suoduskakusta, josta laboratoriossa tutkittiin vapaan hapon määrä. Vapaan hapon määrästä saadaan laskettua suoduskakun kiintoainepitoisuus. Ajoarvoina käytettiin suotimen normaaleja ajoarvoja: ilmanpaine 4,0 bar, sekä ilmamäärä 5500 m³/h.

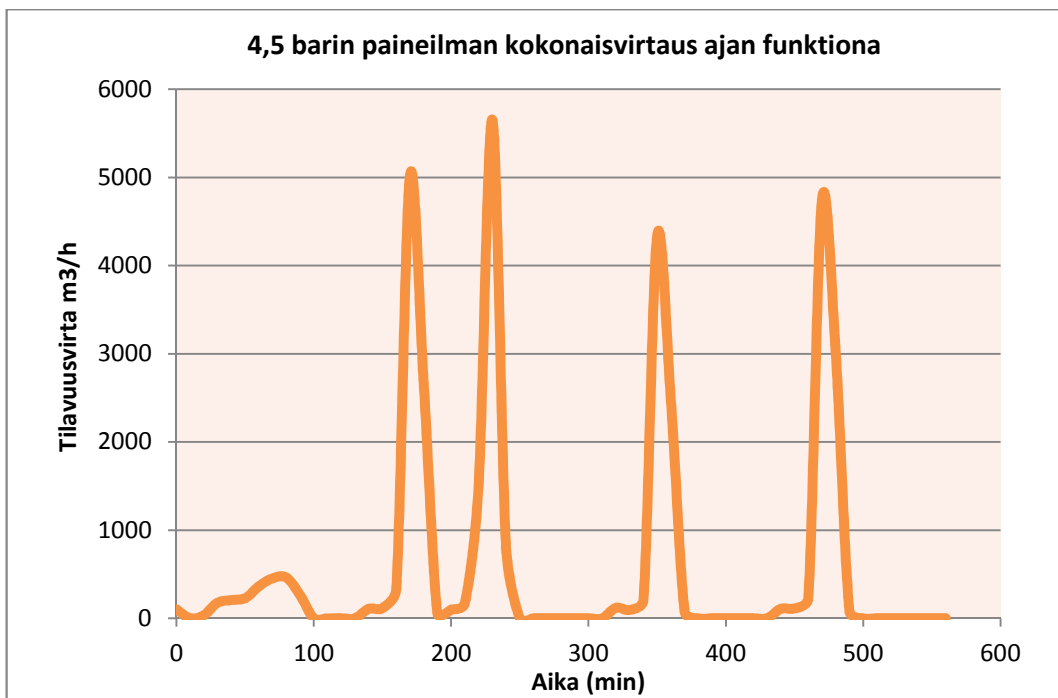
Nämä näytteet toimivat niin sanottuina vertailunäytteinä, jotta koeajon aikana pystytään sulkemaan pois mahdollisen syöttötuotteen muutoksien vaikutus koeajon tuloksiin. Koeajoja jatkettiin uusilla ajoarvoilla 10.11.2014. Ajoarvoina käytettiin 2,5 barin ilmapainetta, joka säädettiin kuivausilmalinjassa olevan paineenalentajan avulla. 5500 m³/h ilmamäärä säädetään automaattiventtiilin avulla. Vertailun vuoksi näytteitä haettiin myös 742.05- levysuotimesta, joka käyttää samaa syöttötuotetta, kuin fundabacsuodin.

6.1 Koeajojen analysointia

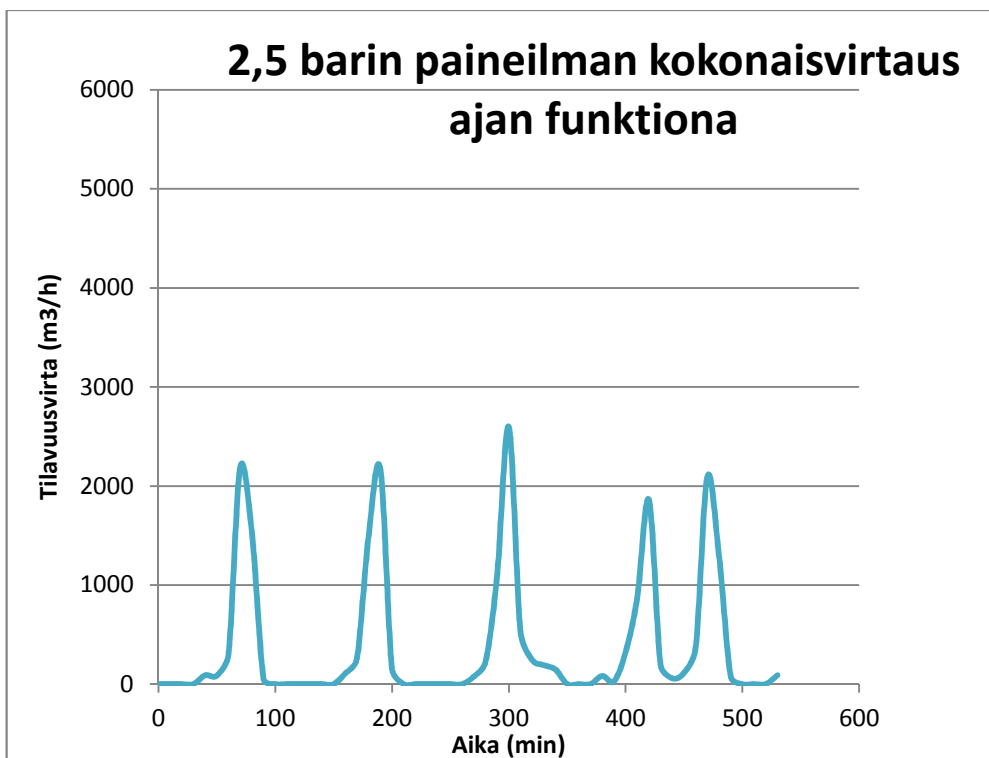
Koeajojen ensimmäisellä viikolla ongelmia ei ilmennyt. Suoduskakun kuiva-ainepitoisuus pysyi lähes muuttumattomana verrattuna normaalinäytteisiin. Erikoisuutena todettakoon ilmamäärän kokonaismäärä kuivauksen aikana, joka ei saavuttanut asetusarvoa 5500 m³/h, vaikka venttiili avautui täysin (100%). Viimeisillä viidellä minuutilla ilma alkoi kuitenkin kulkea parhaimmillaan yli 6000 m³/h. Tähän ilmiöön löytyy selkeät vastaukset. Suoduskakku on kuivauksen alussa märkää lietettä, joka pysyy kynttilöiden kankaissa kiinni vallitsevan ylipaineen avulla. Kuivauksen alkaessa ilma pyrkii siirtämään suoduskakun kosteuden rekisterien putkien kautta pois suoduskakusta, jolloin kakku kuivuu. Märkä kakku estää ilmaa siirtämästä kosteutta, mutta kakun kuivuttua on kynttilöissä roikkuva kuiva-aine huokoisempaa ja ilma pääsee helpommin kulkeutumaan sen lävitse. Tämän oletetaan aiheuttavan ko. ilmiön.

Fundabac-suotimen mittalaitteiden avulla on tallennettu tietoa Vkrakas-ohjelman avulla. Kyseisissä kuvaajissa on kymmenen tunnin jakso suodatuksia suotimella. Vkrakaksesta saatu data on kymmenen minuutin keskiarvo. Kuten kuvaajista näkee, 4,5 bar:in paineilman kokonaisvirtaus on ollut paljon suurempi kuin 2,5 bar:in. Virtauksen asetus molemmissa tapauksissa oli 5500 m³/h.

Liitteistä löytyy ensimmäisen koeajoviikon kuiva-ainepitoisuudet (LIITE 1.1 ja LIITE 1.2) Kuiva-ainepitoisuuteen paineenalennuksella ei ollut merkittävää vaikutusta. Kuiva-ainepitoisuus pysyi lähes muuttumattomana käytetystä painetasosta (4,0 bar/2,5 bar) riippumatta. Levysuotimen kuiva-ainepitoisuus on lähes sama kuin fundabac-suotimen. Voidaan siis todeta, ettei paineenalentaaminen vaikuta suodoskakun kuivumiseen huonontavasti.



Kuva 6.1 4,5 barin paineilman kokonaisvirtaus ajan funktiona.



Kuva 6.2 paineilman kokonaisvirtaus 2,5 baarin paineella ajan funktiona

6.2 Toinen osuus

Koeajojen toinen osuus alkoi 17.11.2014. Ajoarvoiksi asetettiin edeltävän viikon tulosten perusteella ilmanpaineeksi 2,5 bar ja ilmamääräksi 2000 m³/h. Ilmamäärä kuitenkin osoittautui hyvin nopeasti liian pieneksi, sillä suodoskakku oli märkää useasta suodatuksesta riippumatta. Koeajon kannalta positiivista tässä oli löytää nollakohta sille määrälle ilmaa, joka ei yksinkertaisesti pysty kuivattamaan suotimen muodostamaa kiintoainekakkuja. Koeajo keskeytettiin ja sitä jatkettiin ongelmitta alkuperäisillä arvoilla viikonloppuun asti.

Kolmantena viikonloppuna ajoarvoiksi asetettiin ilmanpaine 2,5 baria ja ilmamäärä 4000 m³/h. Koeajon ensimmäiset suodatukset vaikuttivat lupaavilta. Kiintoainekakku oli kuivaa ja suodin toimi moitteettomasti. Kahden koeajopäivän jälkeen ilmeni ongelmia. Suodoskakku ei kuivunut ja kakut jäivät kiinni suodinkynttilöiden kankaisiin. Suotimen mentyä tukkoon toimittiin, kuten vastaavassa tilanteessa on tapana. Suodin laitettiin niin sanottuun happokierrätykseen, jossa suotimen läpi virtaa 55 prosenttista jäterikkihappoa määrä 300 m³/h kiinni jääneiden kakkujen irrottamiseksi. Muutaman tunnin kierrätyksen jälkeen suodin pestiin pesusekvenssillä ja otettiin uudelleen ajoon, jolloin tuloksena saatiin märkää kakkua. Vikaa etsiessä saatiin välillä kuivia-kin kiintoainekakkuja pudotettua suotimesta, mikä aiheutti kuitenkin lisää ongelmia. Välillä toimii ja välillä ei. Rekistereitä otettiin pois ajosta sillä oletuksella, että jokin kynttilä kangas olisi irronnut ja päästänyt ilmat helpointa reittiä pois. Toinen oletta-
mus oli suotimen tyhjennyksen aikana tapahtuvasta suotimen sisäisen paineen las-
kemisesta liian alas, jolloin kakut putoavat kynttilöistä. Liian matala ylipaine ei ky-
kene pitämään niitä kiinni. Tämä oletta-
mus pystyttiin todistamaan oikeaksi tutkimal-
la DNA-metson ohjausjärjestelmän tallentamaa suotimen paine-dataa. Aina kun mär-
kää oli tullut, oli syynä ollut tyhjennyksen aikaisen paineen alentuminen liian mata-
laksi (LIITE 1.11-1.13). Syöttöhapon lämpötila oli noussut hyvinkin korkeaksi

(72° C), koska COIL jäähditys ei toiminut kunnolla. Halusimme sulkea hapon lämpötilan vaikutuksen pois odottamalla päivän ja pitämällä suodinta happokierrossa. Lopullinen syy löytyi kuitenkin suotimen kahdesta pohjaventtiilistä, joista oli yksitel- len hajonnut LAROX- letkuventtiili. Venttiilin hajotessa ilma oli päässyt helpointa reittiä ulos, eikä kuivausominaisuutta kiintoainekakussa enää tapahtunut. Toinen koeajo päättyi vasta 16.12.2014 edellä mainittujen syiden vuoksi. Fundabac- suotimen ongelmatilanteissa on vaikeaa löytää vikaa, koska suotimen sisään ei pääse näkemään. Ratkaisut pitää löytää kuuntelemalla ja tutkimalla erilaista dataa ja tekemällä niistä johtopäätöksiä, jotka voisivat aiheuttaa ongelman.

Liitteissä 1.9 ja 1.10 näkyvät toisen koeajoviikon happokakun kuiva- ainepitoisuudet. Liitteissä 1.3 - 1.13 on eri ajalla suotimen toimintaan vaikutta- vat paineet. Suotimensisäinen paine sekä kuivausilmanpaine ovat tärkeimmät liitteet. Edellä mainituista liitteistä selviää milloin on tapahtunut normaalista poikkeava häiriötilanne (LIITE 1.11 - 1.13).

6.3 Veden neutraloinnin kipsi- ja liuossuotimien koeajot

Veden neutraloinnin kammiosuotimien kuivausilmanpaine koeajot alkoivat 9.3.2015. Paine alennettiin jo 6.3.2015 2,5 baariin jolloin suoritettiin esikoeajo. Tutkittiin epävirallisesti onko suotimilla mahdollista ylipäättään käyttää 2,5 bar:in paineilmaa kuivauksessa. Viikonlopun yli kestänyt epävirallinen koeajo antoi positiivisia tuloksia, joten virallinen koeajo aloitettiin. Koeajon tarkoituksena on kerätä suodoskakku näytteitä P32.02 kipsisuotimesta sekä P32.04 ja P32.05 liuossuotimista. Kakkunäytteistä analysoidaan kuiva-aine pitoisuus, jota verrataan 4,0 bar:in kuivausilmanpaineen kakkunäytteisiin. Kakkunäytteiden analysointi suoritetaan haihduttamalla kakkujen sisältämä vesi 105 asteisessa uunissa. Koeajojen aikana suodoskakku irtoaa kankaista 2,5 bar:in kuivausilmanpaineella yhtä hyvin kuin 4,0 bar:in paineella. Alustavana epäilynä oli juuri kakkujen irtoaminen sekä suodos- että keskireikien tukkeutuminen. Kumpaakaan edellä mainituista ei tapahtunut yli viikon kestäneen koeajon aikana. Pudotuksien yhteydessä osa kakuista oli kosteampia, kuin muut, mutta selityksenä tähän on suotimen levyjen membraanikalvon rikkoutuminen. Membraanikalvon rikkoutuessa levy tulpataan, jolloin membraanipuristusta ei tapahdu ja näin ollen kuivaava efekti jää kyseisessä levyparissa pois. Todettakoon kakun silti olevan vielä kelvollista. Haasteena koeajoille oli suotimien huono kunto. Kakkujen pudotussekvenssi ei toiminut kunnolla yhdessäkään suotimessa, koska iso- ja pikkukoukut olivat aikansa eläneitä. Koukkuvat aiheuttivat päänvaivaa suotimen pesusekvenssin aikana, koska levynsiirto meni välillä jumiin. Pikkukoukut irtosivat ennen aikaisesta toisistaan aiheuttaen pesulaitteen jumiutumisen. Nämä mekaaniset viat eivät vaikuta itse suodatukseen tai kuivaukseen, mutta aiheuttavat turhia katkoja prosessin vaiheissa. Liitteissä 2.1 ja 2.2 taulukosta nähdään kipsi sekä liuossuotimien kiintoainepitoisuus eri kuivausilman paineessa. Liitteessä olevista arvoista voimme nähdä, ettei kuivausilmanpaineen muutos aiheuta suuria eroja kakun kuivuuteen. 2,5 baarin kuivausilmaa käytettäessä on huomionarvoista liuossuotimien täysin erilaiset käyrät 4,0 baarin ja 2,5 bar:in painetta käytettäessä. Ilmiön aiheuttaa paineen laskussa menetetty voima. Kuivausilman yhtenä tehtävänä on tyhjentää putkilinjat liuoksesta, eli työntää putkissa oleva liuos eteenpäin. 2,5 bar:in kuivausilma liikkuu putkistoissa paljon hitaammin, kuin 4,0 bar:ia. Mikäli käytettäisiin sama määrä normaali

kuutioista ilmaa 2,5 baarin kuivausilmalla kuin 4,0 baarilla tarvitsisi kuivausaikoja nostaa. Ilmamäärä pystytään laskemaan helposti hyödyntäen kaasujen tilanyhtälöä $P_1V_1=P_2V_2$.

Liitteissä 2.3 ja 2.4 P32.02 kipsisuotimen kuivausilmamäärä 2,5 baarin paineessa ja 4,0 baarin paineessa. Kuvaajien käyrät ovat lähes identtisiä, joten paineenlasku ei juuri ole vaikuttanut suotimen kuivaustoimintaan.

Liitteissä 2.5 ja 2.8 kuivausilmanpaine näkyy selvästi ilmankulutuksessa. Syy erilaisiin käyriin selittynee putkiston pituudella. 2,5 baarin ilmanpaine liikkuu putkistoissa huomattavasti hitaammin, kuin 4,0 baarin paineella. Oletuksena virtausta ei kerkeä tapahtumaan nykyisillä puhallusajoilla 2,5 baarin paineella. Vkralas-järjestelmä laskee yhden minuutin keskiarvon mukaan ilmamäärän. Oma havainto on huomioitu virtauksen näkyminen viimeisen 10 sekunnin aikana puhallusten lopulla. Mikäli puhallus- ja kuivausaikoja pidennetään, saadaan oletettavasti vertailukelpoiset kuvaajat myös liuossuotimista. Liitteessä 2.8 P32.04 suotimen ilmamäärä 4,0 barissa on hyvin erilainen, kuin P32.05 suotimessa. Oletuksena tähän pidetään linjojen tukkoisuutta, jolloin ilma ei pääse täysin vapaasti virtaamaan putkistossa.

7 PAINEILMAVERKON SUUNNITTELU

Tavoitteena olisi luoda Ympäristöosastolle energiatehokas paineilmaverkko. Energiatehokkaalla paineilmaverkolla saavutetaan rahallisia säästöjä sekä ympäristöä säästävää, kestäväää, energiateknologiaa.

Ympäristöosastolla on kaksi paineilmaverkkoa: veden neutraloinnissa ja hapon väkevöinnissä. Molemmat paineilmaverkot on suunniteltu korkeapaineilmakäyttöön ja oletettavasti ajatuksena on ollut turvata sekä kuivaus- että instrumentti-ilman riittävyys molemmilla osastoilla. Opinnäytetyön tarkoituksena on ollut tutkia onko suotimien kuivauksessa mahdollista käyttää matalapaineista 2,5 baarin paineilmaa ja tutkimustulosten perusteella suunnitella ympäristöosastolle kuivaukseen käytettävä matalapaineinen paineilmaverkko, sekä instrumentti-ilman paineilmaverkko hyödyntäen

olemassa olevia paineilma-astioita. Toisena tavoitteena olisi liittää ympäristöosasto koko tehtaan paineilma-verkkoon ja näin turvata myös tehtaan paineilman saanti, mikäli ongelmia ilmenee puolin tai toisin. Liitteessä 3.1 ympäristöosaston nykyinen paineilma-verkko ja liitteessä 3.2 uuden paineilma-verkon ehdotus.

Uuden paineilma-verkon ideana olisi asettaa ympäristötuotannolle yhteinen kompressorikeskus. Kyseinen keskus sijaitsisi TORERO koeajolaitoksen tiloissa. Kyseiseen tilaan tulisi kaksi isoa turbokompressoria, toinen kuivausilmalle ja toinen instrumentti-ilmalle. Paineastioiden jako menisi siten että instrumentti-ilmalle käyttöön tulisi P90.03 ja P90.05 painesäiliöt. Nämä toimisivat vedenerotussäiliönä, joista ilma ohjataan uusien ilmakuivaimien lävitse varastosäiliöihin P90.02 ja P90.04. Kyseiset säiliöt toimivat kuivausilman varastosäiliönä koko tehtaalle. Säiliöt ovat 90 m³ säiliöitä, joten varastoitua ilmaa on tällöin riittävästi. Putkitukset suoritetaan ns. rengasmallin mukaisesti, jotta on mahdollista tarvittaessa ohittaa jokin paineilma-verkon osa tai säiliö vaarantamatta prosessia. Putkistojen rengasmalli näkyy selvästi liitteessä 3.2, johon on erikseen merkitty instrumentti-ilman ja kuivausilman linjat. Kuivausilmalle käyttöön tulisi kaksi säiliötä. P90.01 ja 987.13 säiliöt. Molemmat säiliöt ovat 150 m³ paineestioita. Ideana olisi myös luoda rengasverkko kuivausilmalle, jotta mahdollisuuksien mukaan pystytään luotettavasti turvaamaan suotimien kuivaukset. Samalla mahdollisten häiriötilanteiden tai huoltojen suunnitteleminen koko tehtaalla helpottuu, koska mahdollisuuksien mukaan kuivausilmaa pystytään toimittamaan laajamittaisesti koko tehtaalle.

8 RAHALLINEN SÄÄSTÖ

Kompressorin tekee seuraavat työvaiheet, jotka kaikki kuluttavat sähköenergiaa:

1. Kaasun imu kompressoriin (kitkatyö)
2. Kaasun puristus korkeaan paineeseen (puristustyö)
3. Kompressorin männän palautuminen takaisin imutilan alkuun (kitkatyö)

Tarkasteltaessa kaasun (=ilman puristamista), mikä on suurin työvaihe

Todellinen puristus on isotermisen ja adiabaattisen puristuksen väliltä.

Voidaan osoittaa, että isotermisessä puristuksessa puristustyön suhdeluku (2.5bar vs. 8.0 bar) saadaan kaavasta (1)

$$\frac{\Delta W(2,5 \text{ bar})}{\Delta W(8,0 \text{ bar})} = \ln \frac{2,5}{8,0} = 0,44$$

Vastaavasti adiabaattisessa puristuksessa saadaan (k = ilman adiabaattivakio= 1.4):

$$\frac{\Delta W(2,5 \text{ bar})}{\Delta W(8,0 \text{ bar})} = \frac{2,5^{1-\frac{1}{k}} - 1,0^{1-\frac{1}{k}}}{8,0^{1-\frac{1}{k}} - 1,0^{1-\frac{1}{k}}} = 0,37$$

Työn määrä kohdassa yksi vähenee 56 %:lla ja kohdassa kaksi 63%:lla

Ottamalla ym. luvuista keskiarvo, voidaan arvioida, että puristustyöhön tarvittava sähköenergia pienenee n. 60 %:lla, eli kyseessä on merkittävä energiasäästö.

9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko ympäristöosastolla mahdollista käyttää 2,5 bar:in kuivausilmaa nykyisen 4,0 bar:in sijasta. Lyhyet koeajot antavat lupaavan näkymän tästä mahdollisuudesta, sillä paineen laskeminen kuivausilmaverkossa ei aiheuttanut ongelmia kakun kuivauksessa, vaan ongelmat olivat poikkeuksetta mekaanisia. Opinnäytetyön pohjalta laadittiin alkusuunnitelma uudesta paineilmaverkosta sisältäen myös kompressoreiden sijainnit. Tästä eteenpäin tarkoituksena on aloittaa pidempi kestoinen koeajo, jotta pystytään pois sulkemaan mahdolliset putkistotukkeutumiset yms. Rahallista säästöä syntyy verkkopainetta alentamalla ja optimoimalla paineastiat sekä kuivaus- että instrumentti-ilmalle.

LÄHTEET

1. <http://www.sarlin.com/loader.aspx?id=e7f10f41-d6ae-4d77-b78e-53074024bdd0>
2. Arila, Hallikainen, Kääpä, Laurila Kompressorikirja Oy Hydor Ab Helsinki 1983, KK laakapaino
3. Veli Hulkkonen Pneumatiikka 2 Otava 1978
4. Veli Hulkkonen Pneumatiikka 4 Ohjaustekniikka Otava 1985
5. Asko Ellman, Juha Hautanen, Kari Järvinen, Antti Simpuri Pneumatiikka Edita Prima Oy Helsinki 2002
6. Jesse Uusi-Uitto LAIVAN PAINEILMAJÄRJESTELMÄ Opinnäytetyö 2011
7. Ville Kylliäinen PAINEILMAVERKOSTON PAINETASON OPTIMOINTI TEHTAAN ILMANKULUTUKSELLE Opinnäytetyö 2011
8. Matti Kuukka Kirkniemen paperitehtaan paineilmanjärjestelmän energiatehokkuus Insinööritö 22.3.2010
9. Pyry Penttinen teollisuuden paineilmaenergia-analyyseissä havaittujen säästötoimenpiteiden toteutusaste ja saavutettu säästö Diplomityö Espoo 13.2.2009
10. http://www.motiva.fi/files/6017/Paineilma-analyysi_tuo_saastoja.pdf
11. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk60a0001/.../pneumatiikka.pdf>
12. Keijo Penttilä sulfaattiprosessin prosessikuvaus
13. <http://www.andritz.com/no-index/pf-detail?productid=5439>
14. <https://www.youtube.com/watch?v=oLVV6k1Jx2I>
15. <http://www.drm.ch/products/filtration-systems/fundabac>
16. Kammiosuotimen käyttö manuaali
17. Pasi Peltomaa PAINEILMAN ENERGIATEHOKKUUSJÄRJESTELMÄ Tekniikka Pori Sähkötekniikan koulutusohjelma 2008
18. http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Suodatus_ja_kuivaus.pdf
19. Markku J. Lampinen Termodynamiikan perusteet Otatieto 2010 viides painos

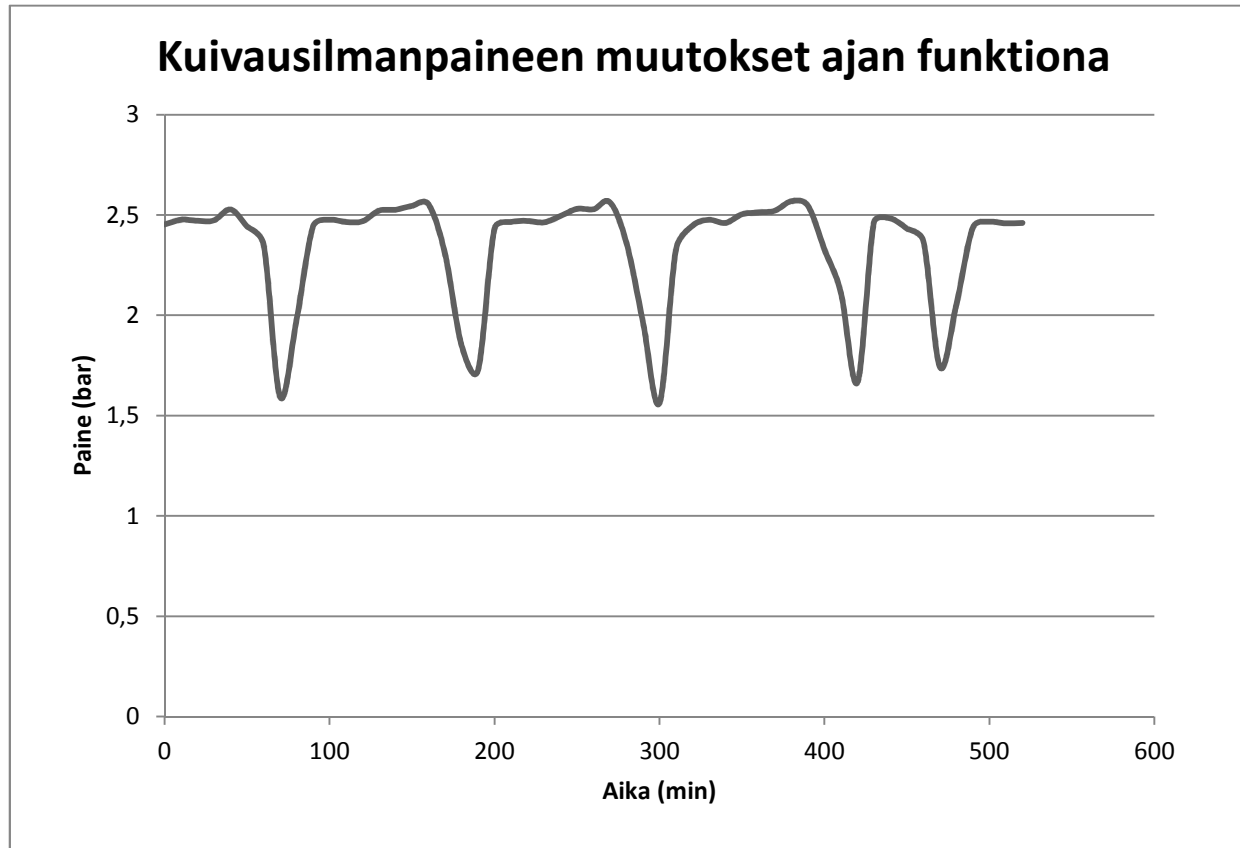
LIITE 1.1 FUNDABAC-SUOTIMEN KAKUN KUIVA-AINE PITOISUUDET

Suotimen numero	Paine (bar)	Päivämäärä	Kellonaika	Kuiva-aine pitoisuus (%)	Ilmamäärä (m3/h)
742.07	4	8.11	2:30	72,48	5500
742.07	4	8.11	4:00	71,89	5500
742.07	4	10.11	13:00	71,64	5500
742.07	2,5	10.11	14:30	70,47	5500
742.07	2,5	10.11	17:30	70,54	5500
742.07	2,5	10.11	17:30	71,89	5500
742.07	2,5	11.11	9:48	72,02	5500
742.07	2,5	11.11	16:00	67,32	5500
742.07	2,5	12.11	1:02	67,5	5500
742.07	2,5	12.11	8:00	68,99	5500
742.07	2,5	12.11	17:05	69,3	5500
742.07	2,5	13.11	2:13	69,98	5500
742.07	2,5	13.11	11:30	71,36	5500
742.07	2,5	13.11	17:10	72,88	5500
742.07	2,5	14.11	2:25	72,93	5500
742.07	2,5	14.11		72,63	5500
742.07	2,5	14.11	22:01	71,78	5500
742.07	2,5	15.11		71,37	5500
742.07	2,5	15.11	5:20	72,66	5500
742.07	4,5	15.11	13:15	69,88	5500
742.07	4,5	15.11	19:50	68,41	5500
742.07	4,5	16.11	1:40	65,08	5500
742.07	4,5	16.11	8:25	72	5500
742.07	4,5	16.11	22:20	71,5	5500

LIITE 1.2 LEVYSUOTIMEN KAKUN KUIVA-AINE PITOISUUDET

Suotimen numero	Paine (bar)	Päivämäärä	Kellonaika	Kuiva-aine pitoisuus (%)	Ilmamäärä (m3/min)
742.05	2,5	11.11.2014	8:50	71,58	78
742.05	2,5	11.11.2014	16:45	69,62	78
742.05	2,5	12.11.2014	11:15	66,12	78
742.05	2,5	12.11.2014	18:10	68,45	78
742.05	2,5	13.11.2014	1:36	68,36	78
742.05	2,5	13.11.2014	11:30	70,61	78
742.05	2,5	13.11.2014	17:50	73,27	78
742.05	2,5	14.11.2014	2:00	71,3	78
742.05	2,5	16.11.2014	0:20	70,19	78
742.05	2,5	16.11.2014	10:25	69,55	78
742.05	2,5	17.11.2014		73,50	78
742.05	2,5	17.11.2014	14:05	66,89	78

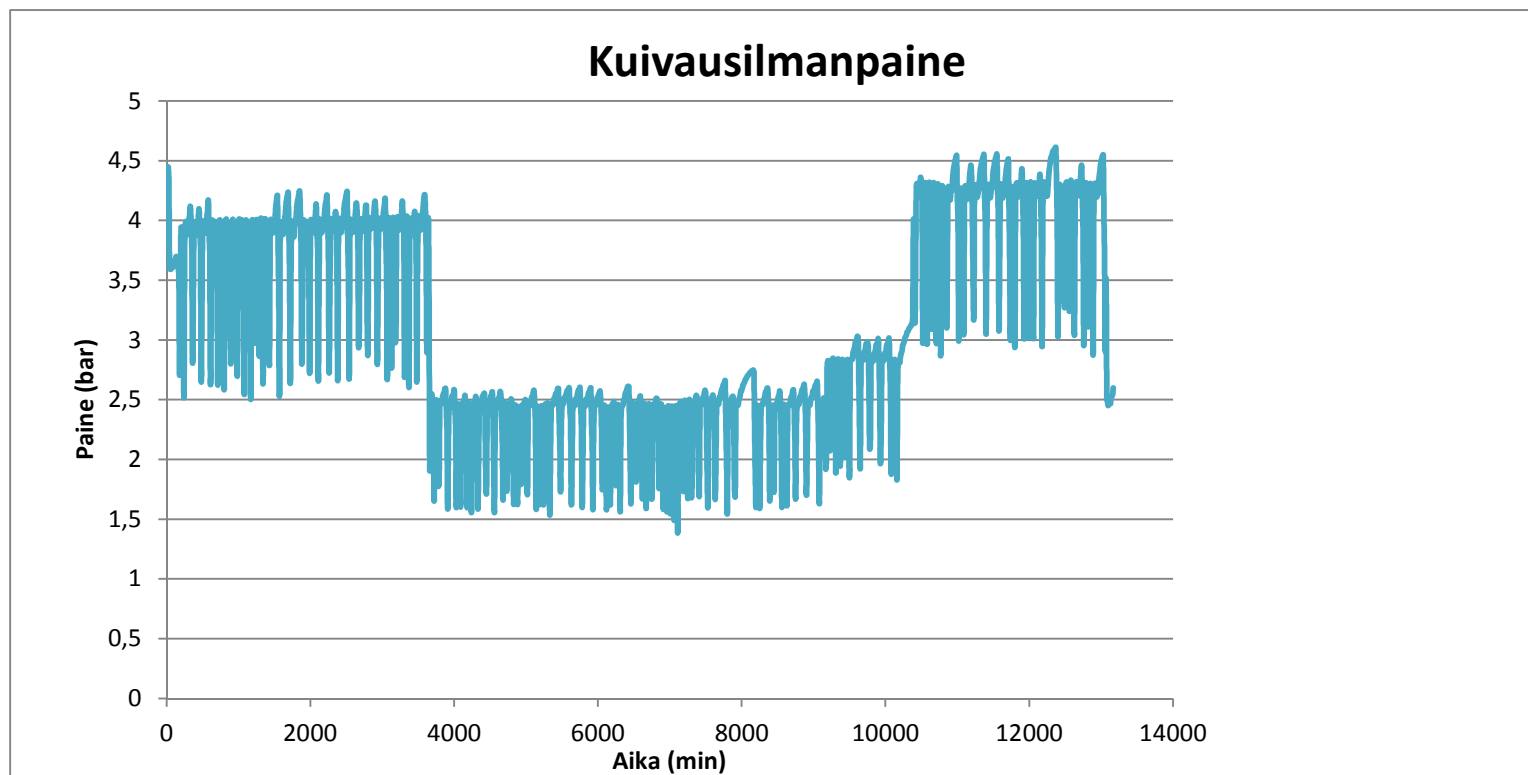
LIITE 1.3 KUIVAUSILMANPAINEN AJAN FUNKTIONA



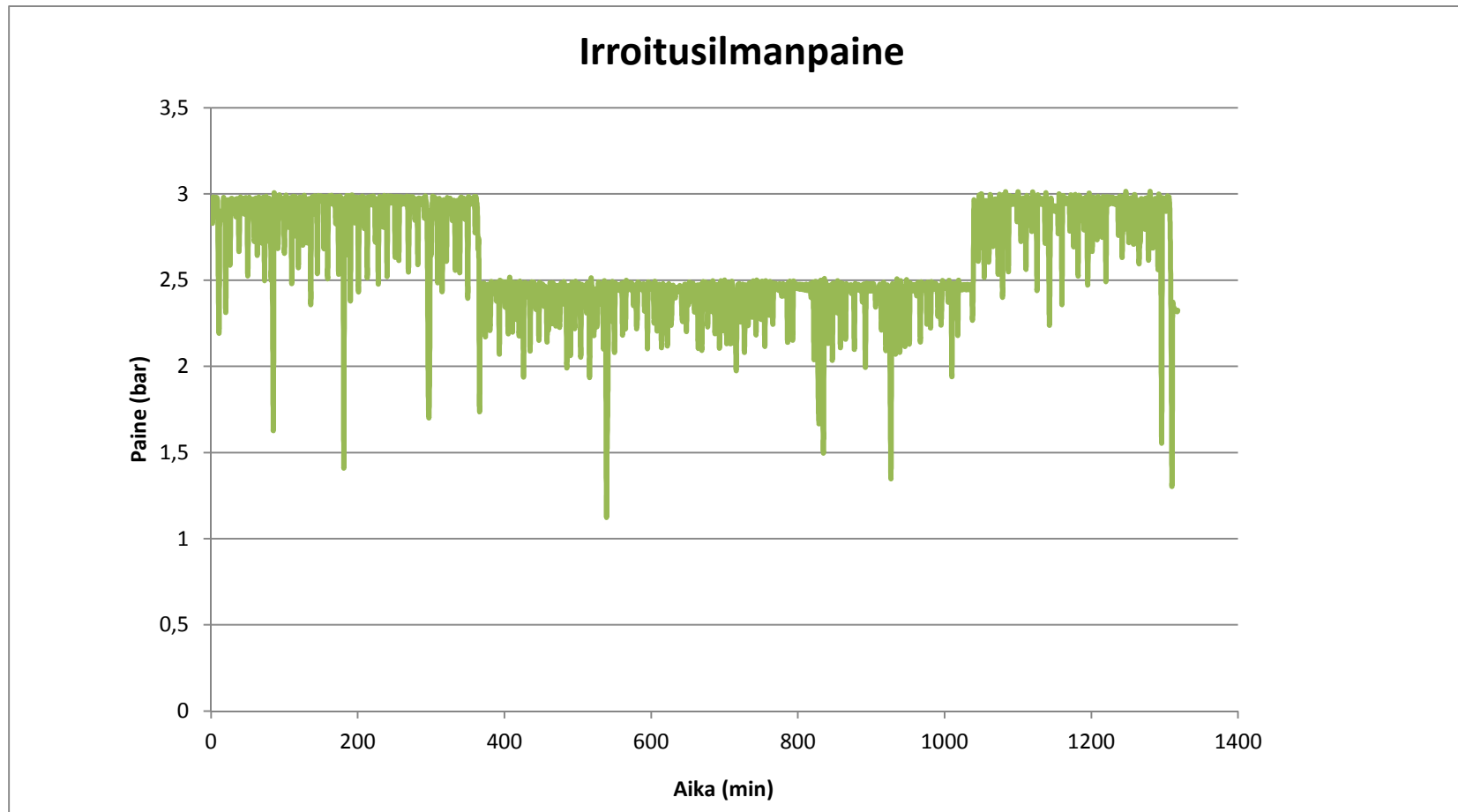
LIITE 1.4 SUOTIMEN SISÄINENPAINEN AJAN FUNKTIONA



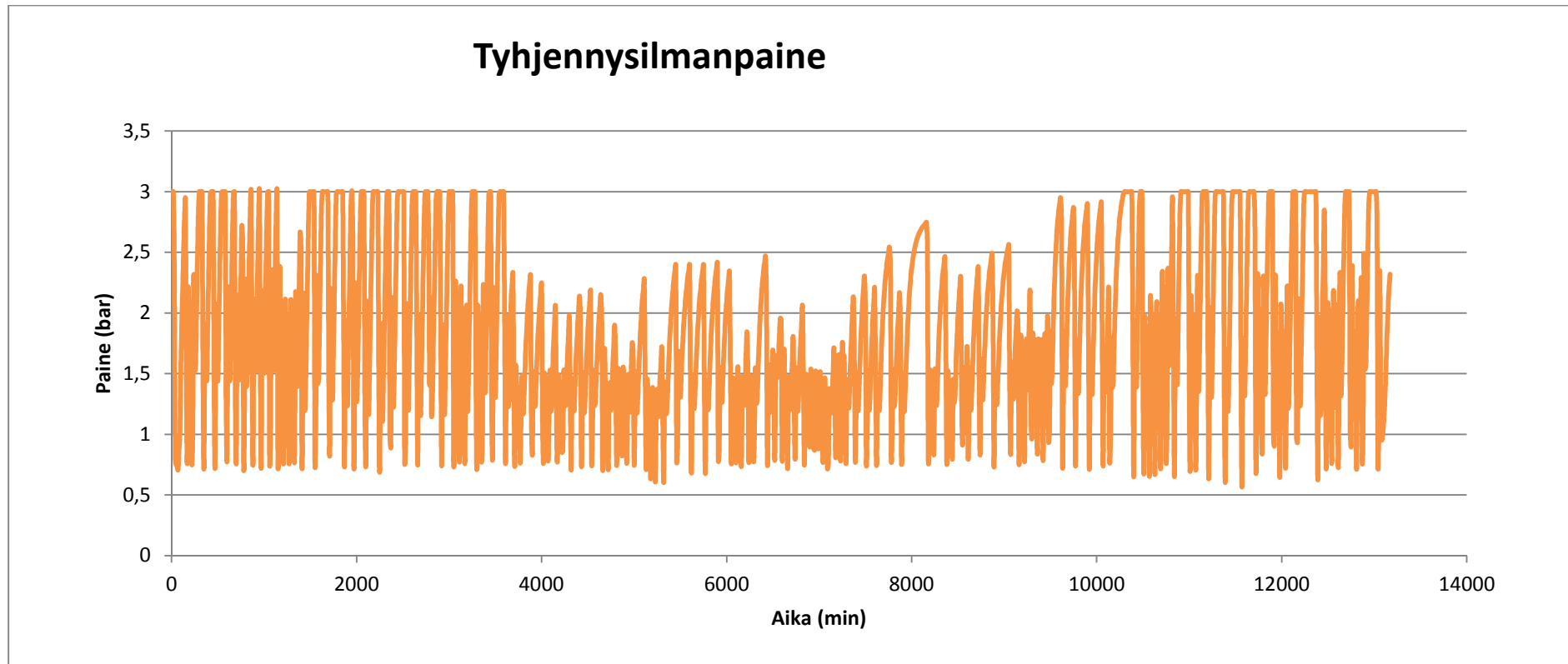
LIITE 1.5 KUIVAUSILMANPAINEN AJAN FUNKTIONA



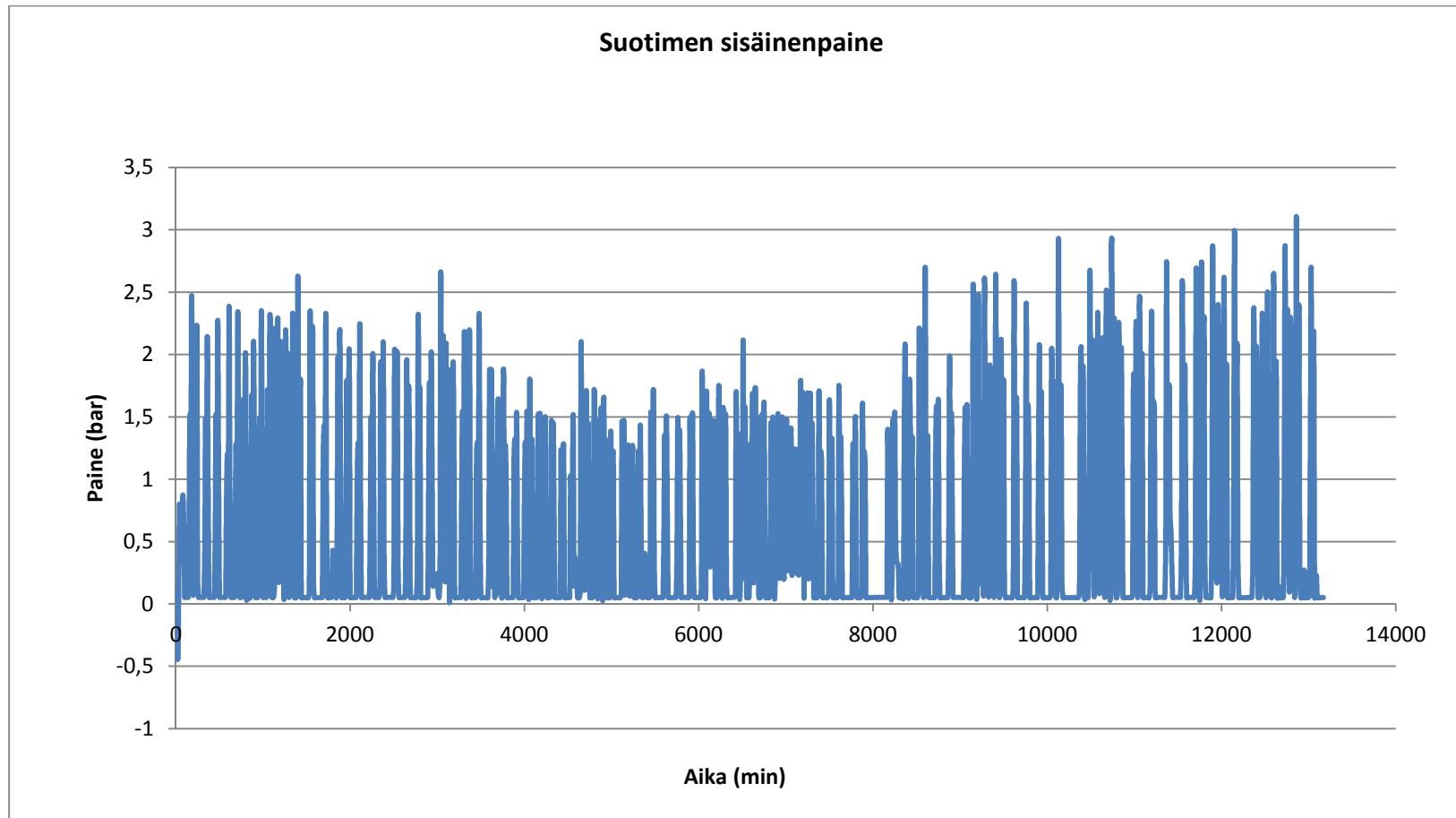
LIITE 1.6 IRROITUSILMAN PAINE AJAN FUNKTIONA



LIITE 1.7 TYHJENNYSILMANPAINE AJAN FUNKTIONA



LIITE 1.8 SUOTIMEN SISÄINENPAINEN AJAN FUNKTIONA



LIITE 1.9 FUNDABAC-SUOTIMEN KAKUN KUIVA-AINE PITOISUUDET

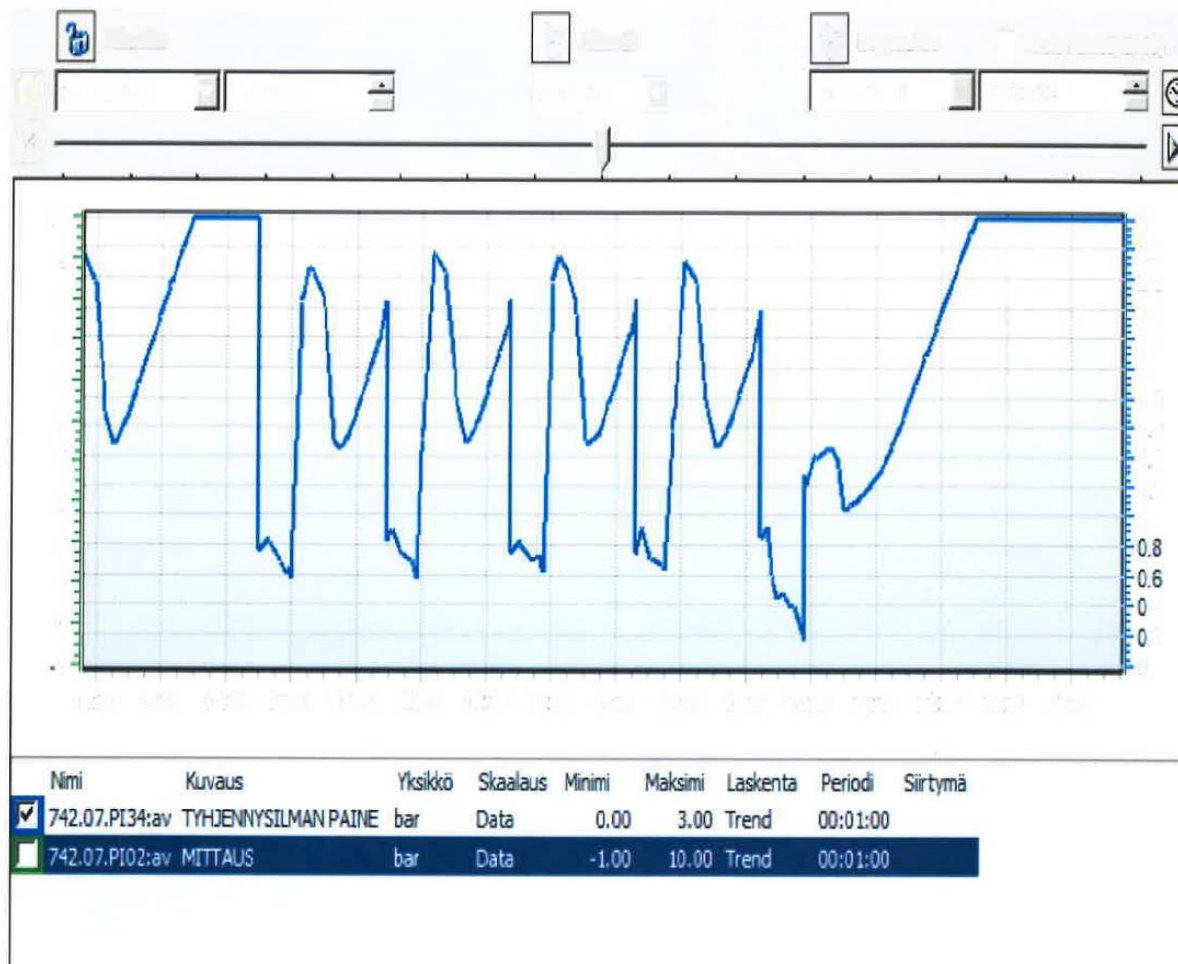
Suotimen numero	Paine	Päivämäärä	Kellonaika	Kuiva-ainepitoisuus	Ilmamäärä
742.07	2,5	17.11.2014	16:30	63,8	2000
742.07	4,5	18.11.2014	13:35	67,77	5500
742.07	4,5	18.11.2014	19:44	69,79	5500
742.07	4,5	19.11.2014	4:25	68,01	5500
742.07	4,5	19.11.2014	12:10	67,23	5500
742.07	4,5	19.11.2014	17:19	66,47	5500
742.07	4,5	20.11.2014	0:45	66,96	5500
742.07	4,5	20.11.2014	8:00	75,03	5500
742.07	4,5	21.11.2014	0:30	78,01	5500
742.07	4,5	21.11.2014	18:15	76,86	5500
742.07	4,5	22.11.2014	3:49	75,71	5500
742.07	2,5	23.11.2014	2:33	72,08	4000
742.07	2,5	23.11.2014	16:50	72,89	4000
742.07	2,5	24.11.2014	1:45	72,02	4000
742.07	2,5	1.12.2014	16:50	72,87	4000
742.07	2,5	2.12.2014	0:40	73,51	4000
742.07	2,5	9.12.2014	20:25	66,22	4000
742.07	2,5	10.12.2014	0:30	66,9	4000
742.07	2,5	10.12.2014	19:15	70,05	4000
742.07	2,5	11.12.2014	1:30	70,71	4000
742.07	2,5	11.12.2014	8:00	70,76	4000
742.07	2,5	11.12.2014	19:30	69,05	4000
742.07	2,5	12.12.2014	1:30	71,93	4000
742.07	2,5	15.12.2014	8:30	65,91	4000

742.07	2,5	16.12.2014	8:55	63,6	4000
742.07	2,5	16.12.2014	16:50	66,27	4000

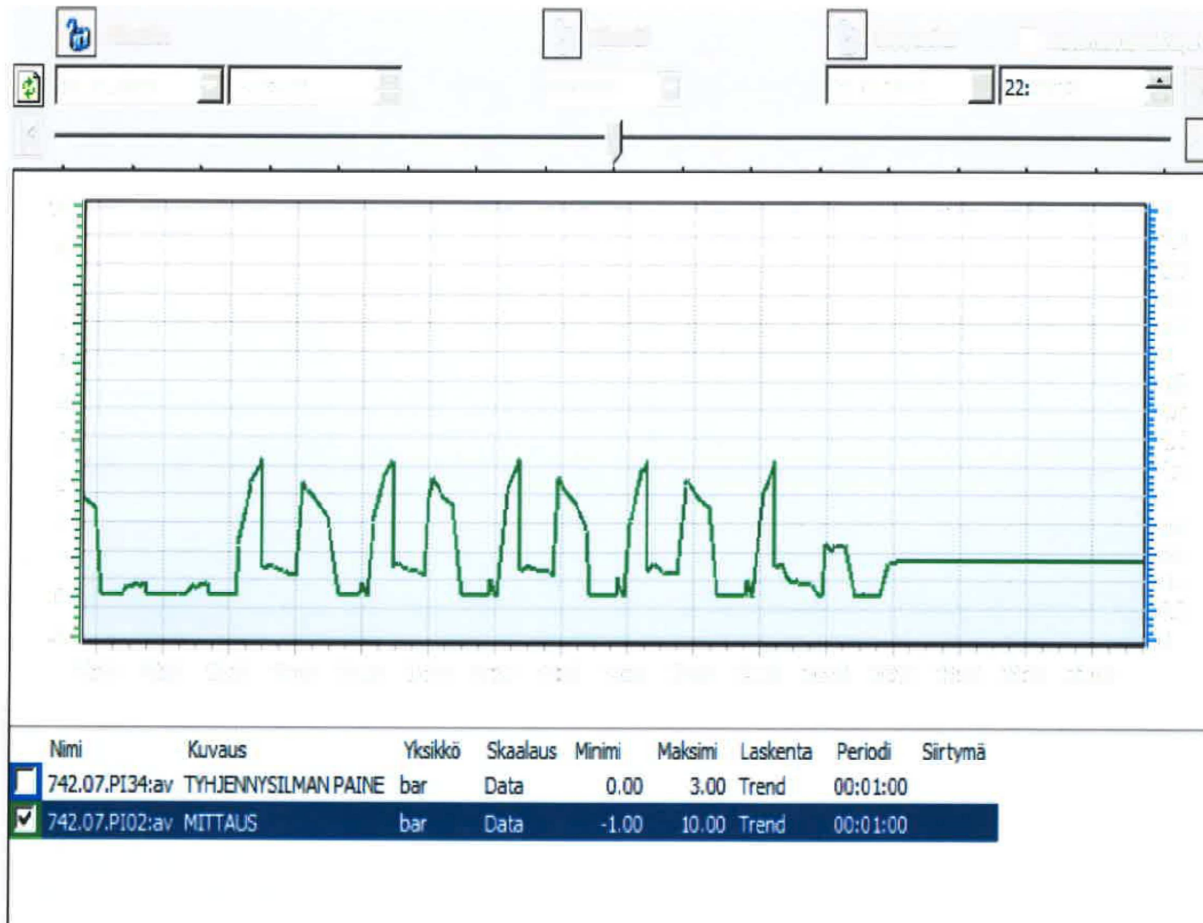
LIITE 1.10 LEVYSUOTIMEN KUIVA-AINE PITOISUUDET

Suotimen numero	Paine	Päivämäärä	Kellonaika	Kuiva-ainepitoisuus	Ilmamäärä
742.05	2,5	17.11.2014		73,5	78
742.05	2,5	17.11.2014	14:05	66,89	78
742.05	2,5	18.11.2014	13:50	68,95	78
742.05	2,5	18.11.2014	17:26	69,67	78
742.05	2,5	19.11.2014	10:05	67,26	78
742.05	2,5	19.11.2014	21:45	64,79	78
742.05	2,5	20.11.2014	10:30	74,37	78
742.05	2,5	21.11.2014	2:55	75,79	78
742.05	2,5	21.11.2014	22:25	74,32	78
742.05	2,5	22.11.2014	4:10	73,67	78
742.05	2,5	23.11.2014	2:00	72,79	78
742.05	2,5	23.11.2014	16:20	74,73	78
742.05	2,5	24.11.2014	1:25	71,25	78
742.05	2,5	1.12.2014	17:30	72,66	78
742.05	2,5	2.12.2014	1:10	73,38	78
742.05	2,5	9.12.2014	19:15	65,47	78
742.05	2,5	10.12.2014	13:00	69,6	78
742.05	2,5	10.12.2014	18:30	70,22	78
742.05	2,5	11.12.2014	1:30	70,06	78
742.05	2,5	11.12.2014	10:00	71,19	78
742.05	2,5	11.12.2014	18:25	69,7	78
742.05	2,5	15.12.2014	10:00	65,91	78
742.05	2,5	16.12.2014	8:25	67,66	78

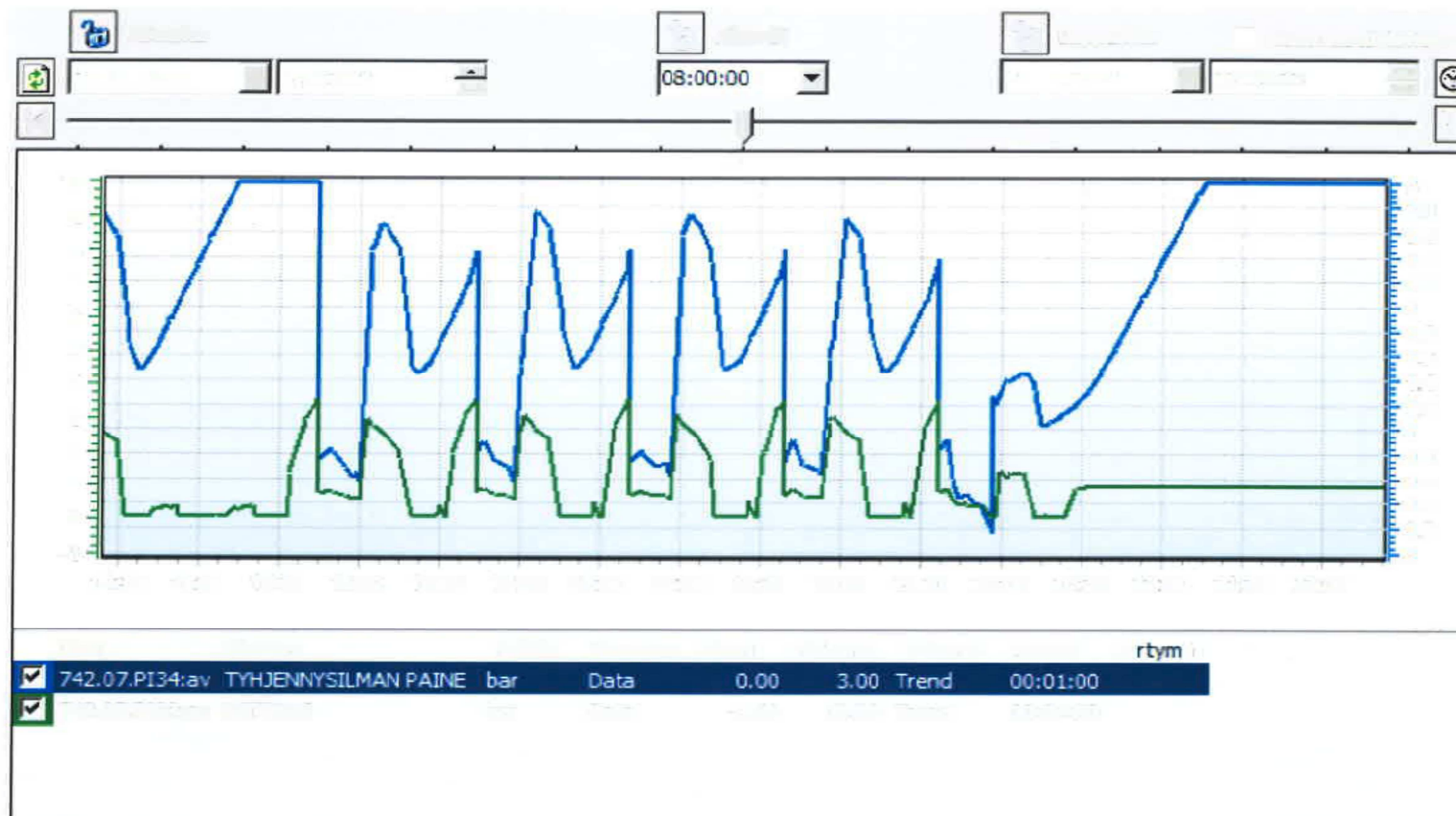
LIITE 1.11 FUNDABAC-SUOTIMEN SISÄPAINEEEN MUUTOS TYHJENNYKSEN AIKANA



LIITE 1.12 FUNDABAC-SUOTIMEN SISÄINSENPAINEEN MUUTOKSET



LIITE 1.13 FUNDABAC-SUOTIMEN SISÄ-JATYHJENNYS PAINEN MUUTOKSET



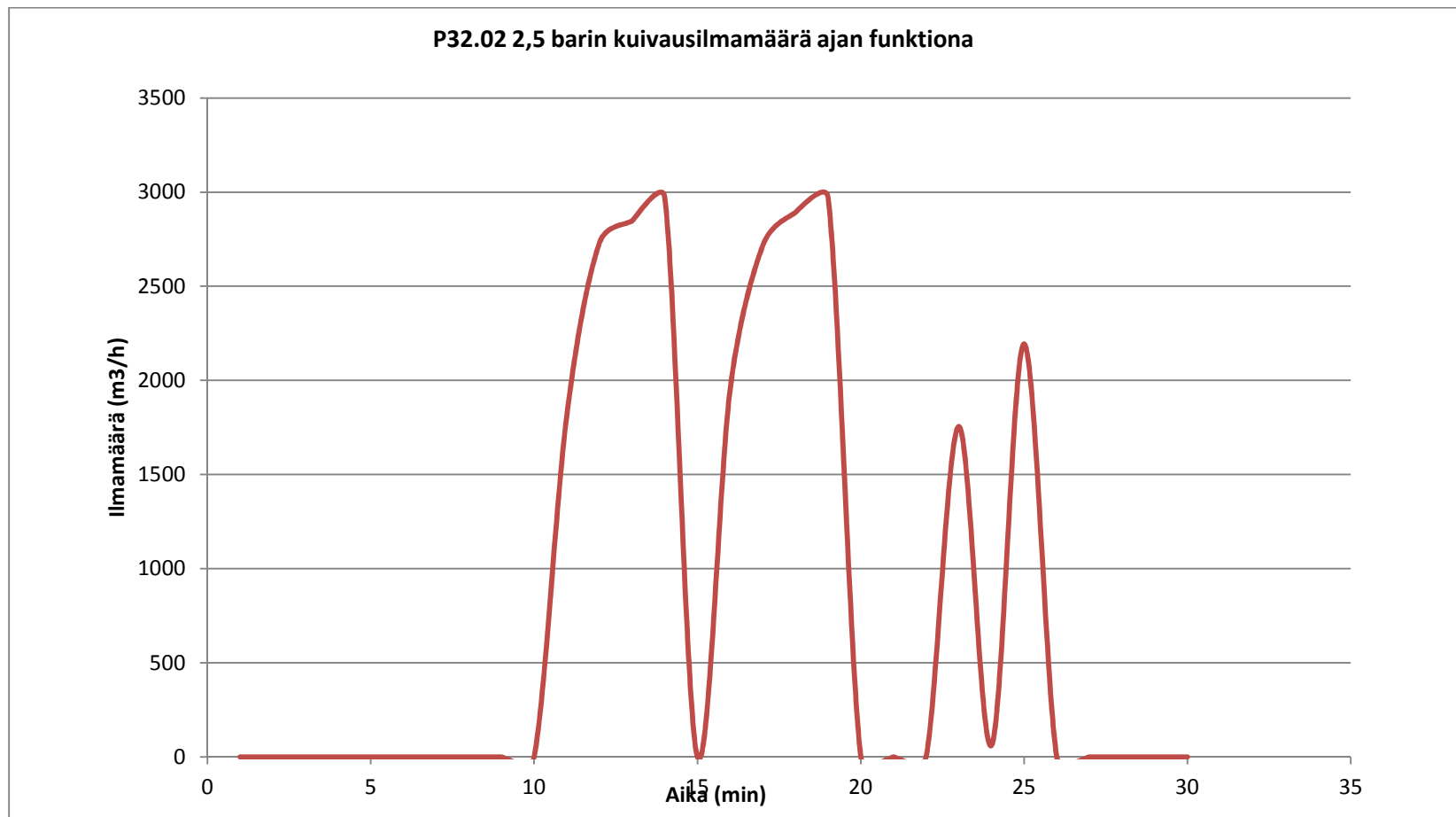
LIITE 2.1 KIPSILEVYSUOTIMEN KUIVA-AINE PITOISUUDET

Suotimen numero	Paine (bar)	Päivämäärä	Vuorotunnus	Kuiva-aine pitoisuus (%)
P32.02	2,5	9.3.2015	IV	51,95
P32.02	2,5	10.3.2015	YV	52,28
P32.02	2,5	11.3.2015	YV	47,37
P32.02	2,5	12.3.2015	AV	54,87
P32.02	2,5	12.3.2015	IV	56,09
P32.02	2,5	13.3.2015	YV	56,67
P32.02	2,5	13.3.2015	AV	52,84
P32.02	2,5	13.3.2015	IV	59,14
P32.02	2,5	14.3.2015	AV	46,41
P32.02	2,5	14.3.2015	IV	58,79
P32.02	4	19.3.2015	YV	56,43
P32.02	4	19.3.2015	IV	60,12
P32.02	4	20.3.2015	YV	56,51
P32.02	4	22.3.2015	AV	64,24
P32.02	4	22.3.2015	IV	65,06

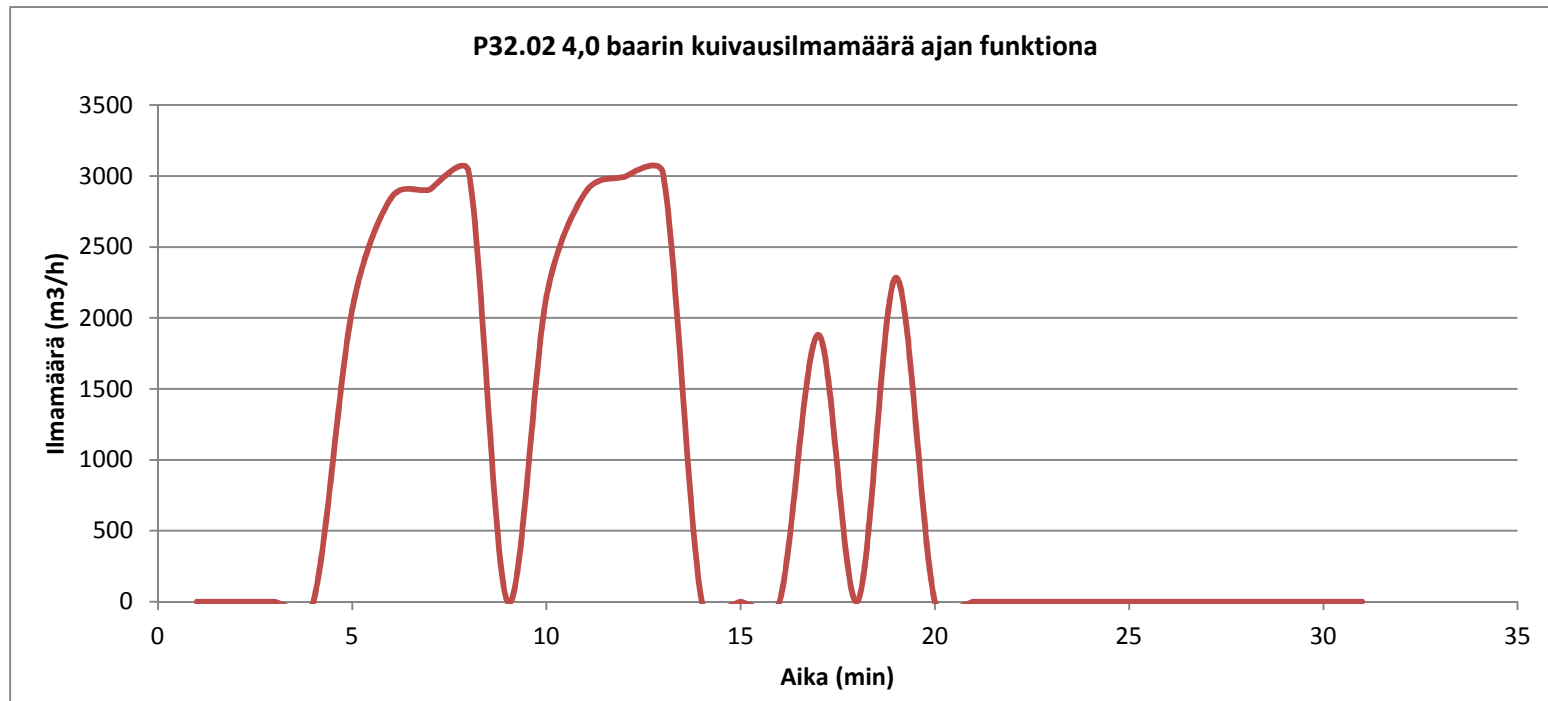
LIITE 2.2 LIUOSSUOTIMIEN KUIVA-AINE PITOISUUDET

Suotimen numero	Paine	Päivämäärä	Vuorotunnus	Kuiva-aine pitoisuus
P32.04	2,5	9.3.2015	IV	62,00
P32.05	2,5	10.3.2015	YV	71,84
P32.05	2,5	11.3.2015	YV	78,02
P32.04	2,5	12.3.2015	IV	77,48
P32.04	2,5	13.3.2015	YV	66,89
P32.04	2,5	13.3.2015	IV	72,02
P32.04	2,5	14.3.2015	YV	61,34
P32.05	2,5	14.3.2015	YV	63,50
P32.04	4	18.3.2015	IV	63,31
P32.05	4	19.3.2015	AV	78,14
P32.04	4	22.3.2015	IV	76,04

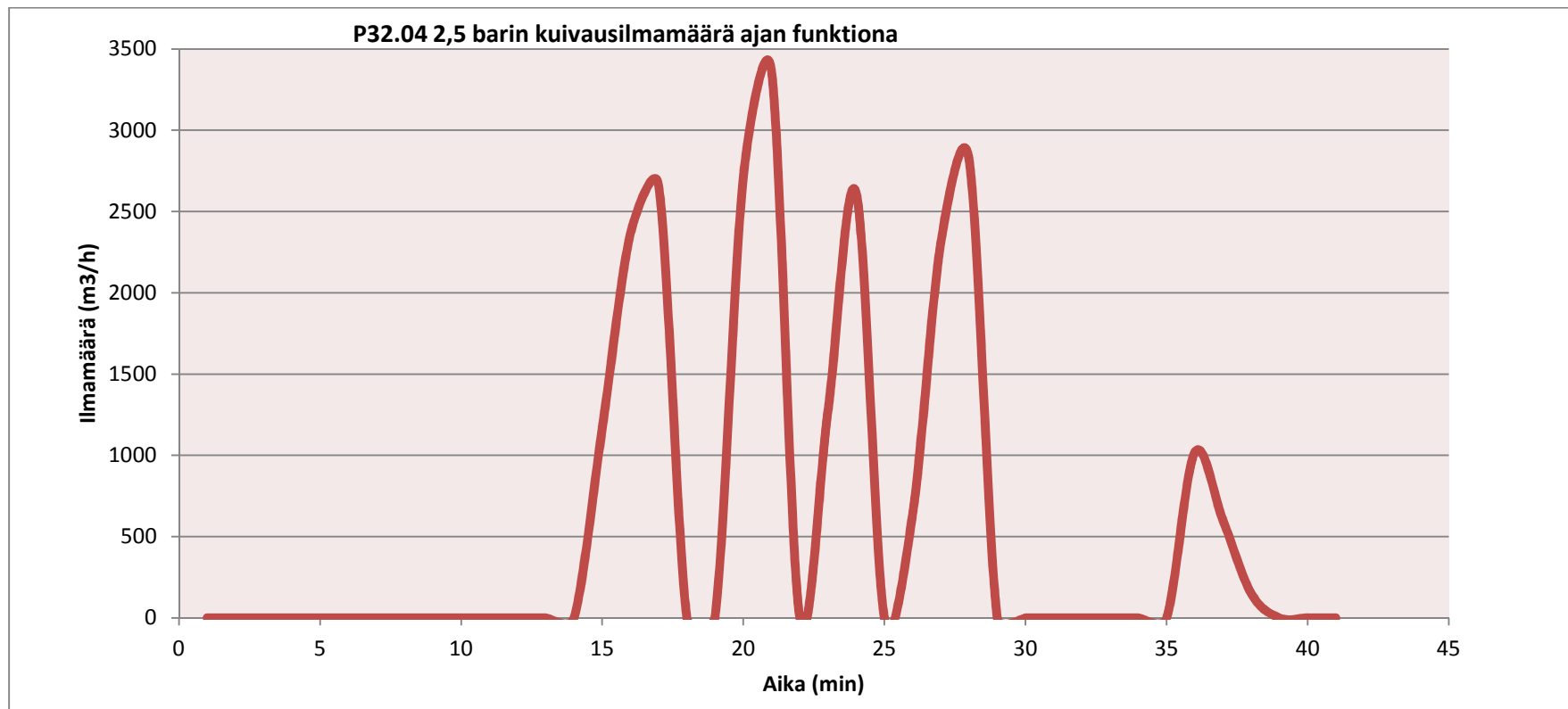
LIITE 2.3 KUIVAUSILMAMÄÄRÄ AJAN FUNKTIONA



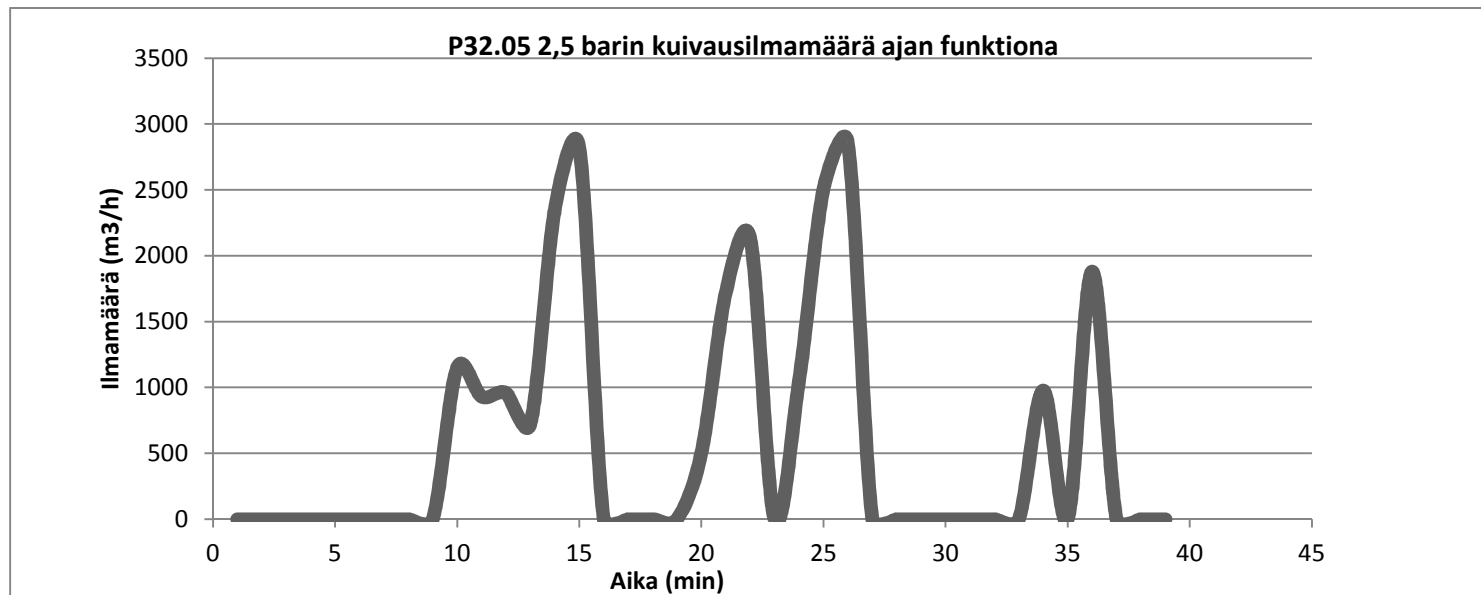
LIITE 2.4 KUIVAUSILMAN MUUTOKSET AJAN FUNKTIONA



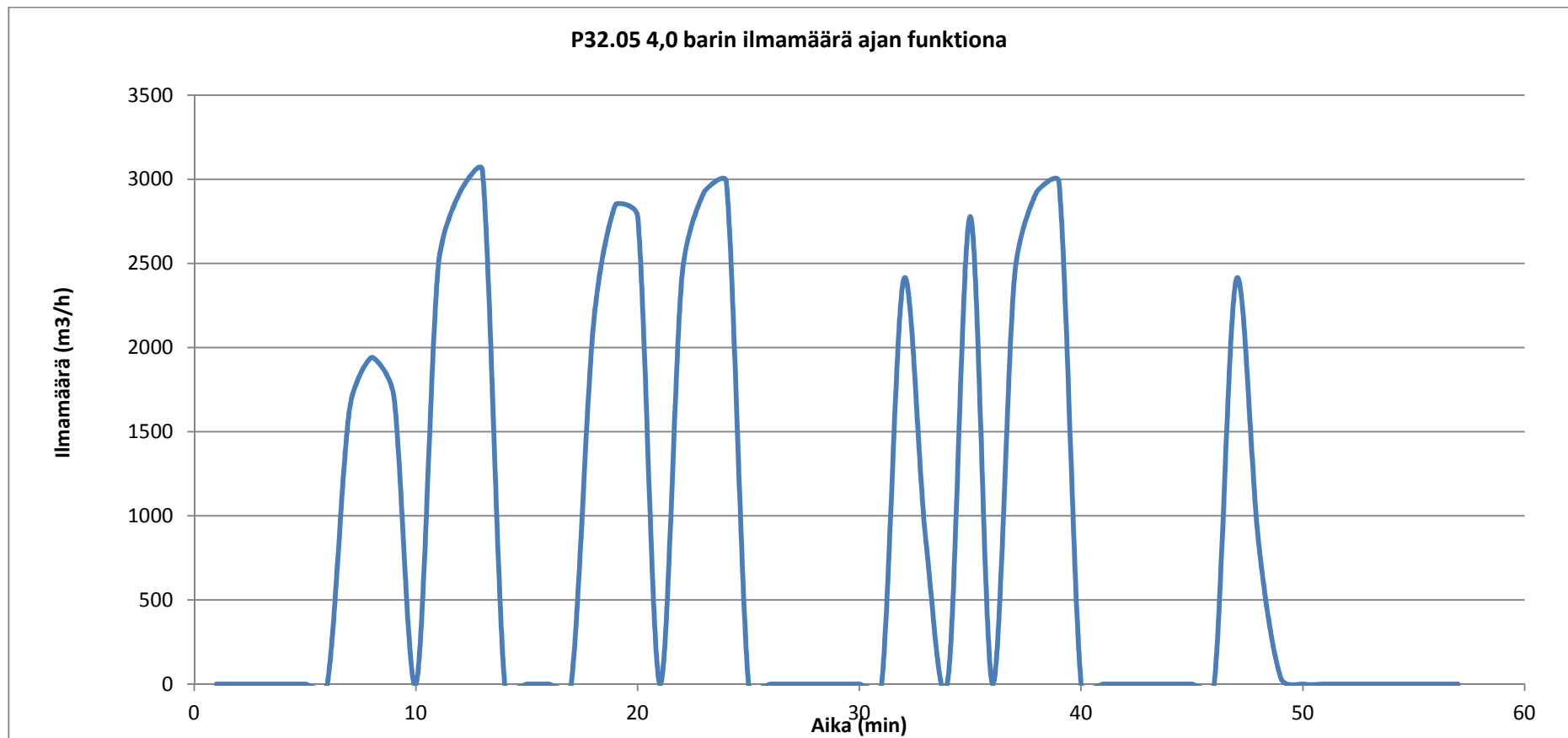
LIITE 2.5 KUIVAUSILMAMÄÄRÄ AJAN FUNKTIONA



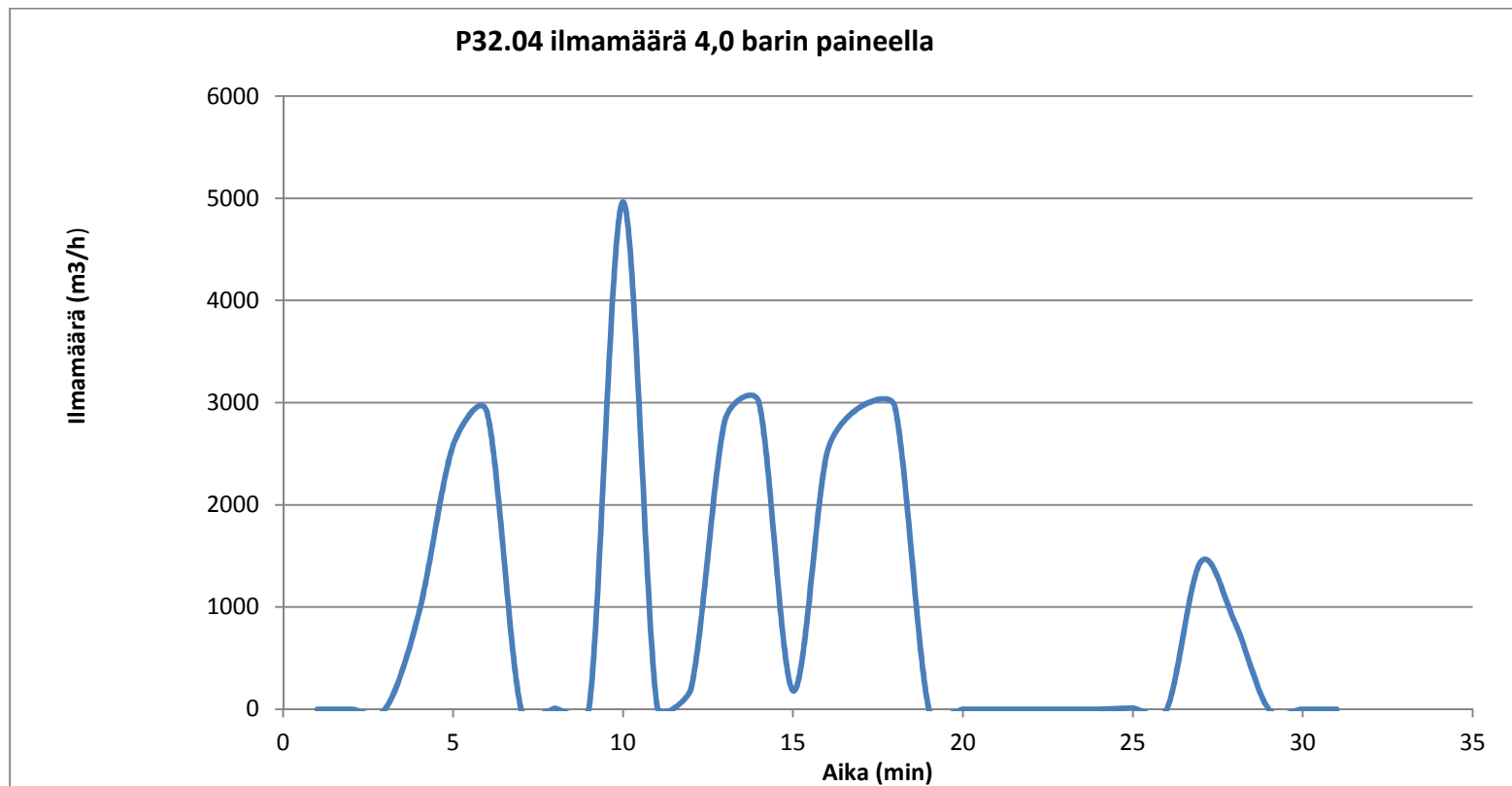
LIITE 2.6 KUIVAUSILMAMÄÄRÄ AJAN FUNKTIONA



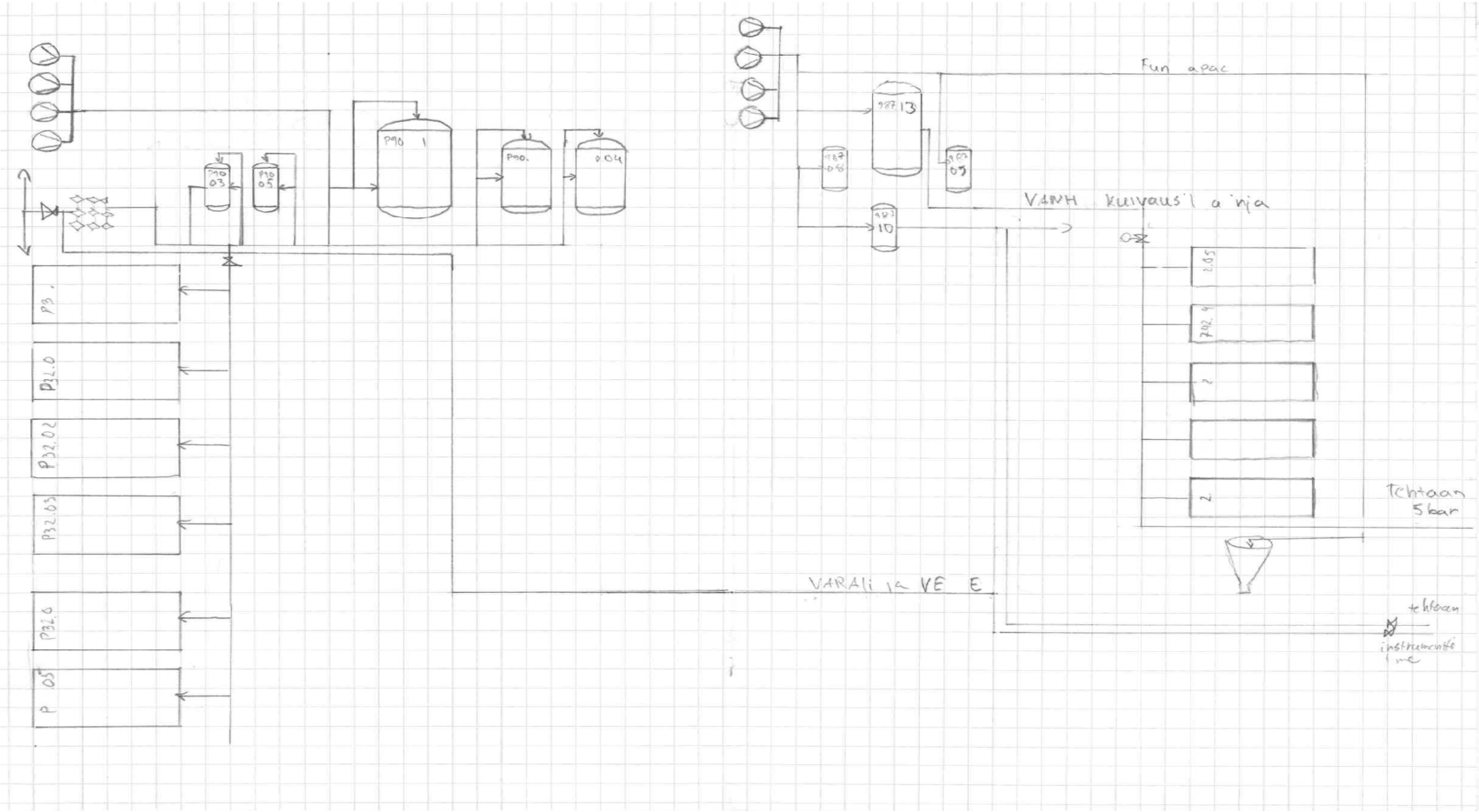
LIITE 2.7 KUIVAUSILMAMÄÄRÄ AJAN FUNKTIONA



LIITE 2.8 KUIVAUSILMAMÄÄRÄ AJAN FUNKTIONA



LIITE 3.1 PAINEILMAVERKKO NYKYINEN



LIITE 3.2 PAINEILMAVERKKO EHDOTUS

