

Kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauslaitteen suunnittelu

Markus Haukka

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Haukka Markus	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 13.05.2014
	Sivumäärä 92+32	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi Kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauslaitteen suunnittelu		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Harri Peuranen, Matti Kurki		
Toimeksiantaja(t) Dinex Ecocat Oy Marko Mehto		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö toteutettiin Dinex Ecocat Oy:lle. Työn tavoitteena oli suunnitella kuorma-autokatalysaattoreille kuivauslaite ja siihen ohjelmitava logiikka sekä ratkaista kuivauksessa ollut tuotannollinen pullonkaula tuotantoprosessissa.</p> <p>Tuotantoprosessin kehittämiseksi työssä perehdyttiin ilmaston suunnitteluun sekä virtasoppiin. Lisäksi työssä käsiteltiin ohjelmitavaa logiikkaa. Suunnittelun pohjana hyödynnettiin yrityksestä löytyviä kuivureita sekä niiden toteutuksia. Kuivureiden avulla tehtiin myös taustatutkimusta, kuten kerättiin tuotteiden kuivausaikoja sekä niissä käytettäviä virtausnopeuksia ylös. Kuivauslaitteiston suunnittelu pohjautuikin yrityksessä olemassa olevien laitteiden toiminnallisten funktioiden parantamiselle sekä uusien innovaatioiden löytämiselle. Itse laitteen suunnittelu toteutettiin Solidworks sekä Cx-programmer ohjelmistolla.</p> <p>Konkreettisenä tuloksena opinnäytetyössä suunniteltiin kompakti kuivauslaite, jossa huomioitiin teoriassa ilmenneitä fysikaalisia tekijöitä, joilla oli vaikutuksia laitteiston rajoitteiden ja vaatimuksien muodostumisessa aina komponenttien valintoihin asti. Empiiriset tutkimukset keskittyivät enimmäkseen niissä havaittujen kehityskohteiden, ongelmien sekä toiminnallisten funktioiden kehittämiseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kuivuri, kuorma-autokatalysaattori, suunnittelu, solidworks, cx-programmer, ohjelmitava logiikka		
Muut tiedot		



Author(s) Haukka, Markus	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 13.05.2014
	Pages 92+32	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title Designing a drying device for truck catalyts		
Degree Programmer Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) Harri Peuranen, Matti Kurki		
Assigned by Dinex Ecocat Oy Marko Mehto		
Abstract <p>The study was assigned by Dinex Ecocat Oy. The aim of the study was to design drying equipment for catalytic converters of trucks and programmable logic for the equipment, and to solve the production bottleneck in the production process.</p> <p>To achieve this, the work focused on designing air conditioning and flow theory. In addition, the work also dealt with programmable logic. The design was based on the already existing driers in the company, which were used as reference by examining the drying times of the products and the flow rates used. The design of the drying equipment was based on the operational functions of the company's existing equipment as well as discovering new innovations. The design was implemented by using SolidWorks and the Cx-Programmer software.</p> <p>As a concrete result of the thesis a new compact drying device was designed. The new drier takes into account the physical factors which had an impact on the hardware constraints and requirements for the components from the theoretical point of view. The empirical part of the study mainly focused on the identified development areas, problems, and improving the operational functions.</p>		
Keywords Dryer, truck catalytic converter, design, solidworks, cx-programmer, programmable logic		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto ja työn tavoitteet	6
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset	6
1.2	Dinex Ecocat Oy	7
1.3	Kuorma-autokatalysaattori.....	8
2	Ilma kuivausaineena	10
2.1	Mollierin diagrammi	10
2.1.1	Ilman ominaisuudet ja niiden laskeminen	12
2.1.2	Lämmön vaikutus kuivumiseen.....	17
2.1.3	Ilman suhteellisen kosteuden vaikutus kuivumiseen	18
2.1.4	Ilmamäärän vaikutus kuivumiseen.....	19
2.2	Virtaus.....	21
2.3	Fysikaalisesti erilaiset virtausmuodot	22
2.4	Virtausvastukset putkiston eri rakenneosissa	23
2.4.1	Ilmastointikanaviston suunnitteluohjelmisto	28
3	Lämmöntalteenotto LTO-tekniikan avulla	29
3.1	Pyörivä lämmöntalteenotto	30
3.2	Ristivirta LTO.....	31
3.3	Nestekiertoinen LTO	33
3.4	LTO:n hyötysuhteen laskeminen	33
4	Puhaltimen valinta	34
4.1	Puhaltimen liitântähviöt	36
4.2	Puhallintyytit.....	37
5	Kuivurin lämpövastuksen tehon määrittely.....	38
6	Ohjelmoitava logiikka.....	38
6.1	PLC-järjestelmä	39
6.2	Tulot ja lähdöt eli I/O	41
6.2.1	Anturit	42
6.2.2	Älykäs anturi	43
6.2.3	Reed- kytkin.....	44
6.3	Ohjelmoitavan logiikan valinta	44

6.4	Ohjelmointi	44
7	Opinnäytetyön toteutus	45
8	Kuorma-autokatalysaattori kennon nykyinen tuotanto	46
8.1	Kuorma-autokatalysaattoreiden nykyinen kuivaus.....	50
9	Yrityksen muiden kuivauslaitteiden arviointi	56
9.1	Scr-tilan kuivurin esittely ja arviointi	56
9.2	Isojen kennojen pinnoituspaikan kuivurin esittely ja arviointi.....	60
9.3	Tuotteiden valmistus- ja kuivausajat.....	61
9.4	Virtausnopeuksien testaus	62
10	Kehityskohteiden tunnistaminen	63
11	Kuivauslaitteen toimintaidea	64
12	Kuivauslaitteen suunnittelu.....	65
12.1	Kuivauslaitteiston rungon suunnittelu	66
12.2	Kuivauskammion suunnittelu	67
13	Kanaviston suunnittelu.....	70
13.1	Kuivurin kanavan halkaisijan valinta.....	70
13.2	LTO:n valinta	71
13.3	Lämmitysvastuksen mitoittaminen	72
13.4	Kanaviston eristäminen	73
13.5	Kanaviston painehäviö.....	74
13.5.1	Kuorma-autokatalysaattorin vastapaineen määrittäminen	75
13.6	Kuivauspuhaltimen valinta	76
14	Kuivauslaitteen logiikan suunnittelu	78
14.1	Lämpötilan, suhteellisen kosteuden sekä virtausnopeuden skaalaus	79
14.2	Hyötysuhteen laskennan toteutus	81
14.3	Kuivurin lämmityksen toiminta	82
14.4	Kuivausluukun toiminnan toteuttaminen	84
15	Opinnäytetyön tulokset ja yhteenveto	86
16	Pohdinta	87
	LÄHTEET.....	90
	LIITTEET	93
	Liite 1. Kanavaosien likimääräisiä kertavastuksia (Seppänen 1996, 100)	93

Liite 2. Moodyn diagrammi (Seppänen 1996, 97)	94
Liite 3. Puhaltimen liitântähviöitä (Mäkinen P & Railio J 2001, 17-18)	95
Liite 4. Valmistusaikojen vertailua	96
Liite 5. Kuivausaikojen tarkastelu	97
Liite 6. Kuivaimen strategiset mitat	99
Liite 8. Luukun toiminnan esittely	103
Liite 9. Kanaviston ja tilavuusvirran mitoittaminen	105
Liite 10. LTO:n mittatiedot (Ekocoil Oy 2013)	106
Liite 11. LTO:n tekniset tiedot	107
Liite 12. Vastuksen mitoittaminen	108
Liite 13. Vastuksen geometriset mitat	109
Liite 14. Kanaviston eristäminen	110
Liite 15. Vastapaineiden excel-työkalu	112
Liite 16. Kanaviston vastapaineiden määrittäminen	113
Liite 17. Puhaltimen mittatiedot (Mz aspiratori 2014, 13)	114
Liite 18. Logiikan tekniset tiedot (Industrial 2006)	114
Liite 19. Kuivurin logiikan ohjelma	116
Liite 20. Kuivurin antureiden tekniset tiedot (Vaisala 2014)	123

KUVIO 1. Katalysaattorin periaatekuva	8
KUVIO 2. Mollierpiirroksen keskeisimmät tiedot	11
KUVIO 3. Ilman koostumus tilavuusprosentteina	12
KUVIO 4. Mollier Sketcher ohjelmalla laadittu diagrammi.	17
KUVIO 5. Mollier Sketcher ohjelmalla laadittu diagrammi.	18
KUVIO 6. Ilman suhteellisen kosteuden ja vedensitomiskyky eri olosuhteissa	19
KUVIO 7. Peltolan tekemä tutkimus 1997	20
KUVIO 8. Jatkuvayhtälön periaatekuva	22
KUVIO 9. Kanaviston äkillinen laajentuminen	24
KUVIO 10. Äkillinen supistuminen sekä vastuskertoimen funktiokuvaaja	25
KUVIO 11. Vastuskertoimen valinta käyrästä	26
KUVIO 12. Konfusorin vastuskertoimen valinta käyrästä	26
KUVIO 13. Lämmöntalteenotto prosessi Mollier-piirroksessa	30
KUVIO 14. Pyörivä lämmönsiirtäjä	31
KUVIO 15. Ristivirta lämmöntalteenotto	32

KUVIO 16. Ventur puhaltimen tehokäyrästäön esittely	34
KUVIO 17. Ourex puhaltimen tehokäyrästäön esittely.....	35
KUVIO 18. Fläktwood fan selector	36
KUVIO 19. Ohjelmoitavan logiikan lohkokaavio.....	40
KUVIO 20. CP1H ohjelmoitava logiikka	41
KUVIO 21. Galvaaninen erotin	42
KUVIO 22. Anturin periaatekaaavio	43
KUVIO 23. Älykkään anturin periaatekaaavio	43
KUVIO 24. Kuorma-autokatalysaattoreiden tuotanto prosessin kulkukaavio	47
KUVIO 25. Märkäpainon ja kalsinoidun toteutuman ero g/m ²	49
KUVIO 26. Kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauslaitteisto takaapäin.	51
KUVIO 27. Kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauskaappi.....	52
KUVIO 28. Poistokanavaan porattu mittausreikä sekä mittauslaite.....	52
KUVIO 29. Puhaltimen by pass säätö sekä kanavavedot.	53
KUVIO 30. Kuorma-autokatalysaattori ja kuivausalusta	54
KUVIO 31. Tekniikka on käytössä myös muiden tuotteiden kuivauksessa.	54
KUVIO 32. Virtaus vuotojen hahmottaminen	55
KUVIO 33. Scr-tilan kuivurin tekniset tiedot	57
KUVIO 34. Tulo- ja poistopuhaltimet	57
KUVIO 35. SCR-kuivuri	58
KUVIO 36. Cad-malli huuvan puolikkaasta.....	59
KUVIO 37. Teollisuuskatalysaattoreista ja kuivausjigistä	60
KUVIO 38. Kuivaus kerää kuorma-autokatalysaattoreita puskuriin.	61
KUVIO 39. Pillien tukkeutuminen virtausnopeuden ollessa yli 5 m/s.....	63
KUVIO 40. Kuivurin kokoonpantu cad-malli.....	66
KUVIO 41. Kuivurin runko.....	67
KUVIO 42. Kuivauskammion runkorakenne 50x50x3 rh	68
KUVIO 43. Paroc 50 mm fire slab 80 eristelevy.....	69
KUVIO 44. Paineilmasyylinterin nivelkiinnitys	70
KUVIO 45. Cad kuva Lto:n kytkentäkopasta.....	72
KUVIO 46. Kanaviston rakenne	74
KUVIO 47. Vastapaineen mittauslaitteisto.....	75
KUVIO 48. 270 mm Kuorma-autokatalysaattorin mitattu vastapaine.....	76
KUVIO 49. VM630 keskipakopuhaltimen 18,5 kW tehokäyrästäö	77
KUVIO 50. Tikapuukaavio	78
KUVIO 51. Analogi viestin skaalaaminen.....	79
KUVIO 52. PLC settings	80
KUVIO 53. Hyötysuhteen laskennan toteutus.....	81
KUVIO 54. PIDAT käsky	82
KUVIO 55. PID parametrien käyttöohje	82
KUVIO 56. Lämmitysrajan seuranta ja hälytykset	83
KUVIO 57. Lämmitysportaan 14,4kW ohjaus	83

KUVIO 58. Lämmitystehoportaan 9,6kW ohjaus	84
KUVIO 59. Porrastetun virtausnopeuden ohjauksen toteutus.	85
KUVIO 60. Pienkatalysaattoreiden kerroskuivain	86

TAULUKKO 1. Jalometallien hinnat	9
TAULUKKO 2. Scr-kuivurin painehäviöiden muodostuminen	59
TAULUKKO 3. Puolijohdereleiden valinta.....	73
TAULUKKO 4. Vastapaineiden ja puhaltimen toiminta-alueiden tarkastelu.	78

1 Johdanto ja työn tavoitteet

Opinnäytetyön tilaajana toimi katalysaattoreita valmistava Dinex Ecocat Oy Vihtavuorella. Ohjaajana yrityksessä toimi tuotannon kehityspäällikkö Marko Mehto.

Katalysaattoreiden valmistusprosesseissa tuotteiden kuivaaminen on oleellisen tärkeä vaihe, sen avulla poistetaan kemiallisesta pinnoitteesta vesi ennen kalsinointia. Mikäli kuivausta ei tehdä ennen kalsinointia, kemiallinen seos kiehuu ja tukkiin katalysaattorin kennoston tehden siitä käyttökelvottoman.

Kasvaneet raskaankaluston katalysaattoreiden vuosivolyymit ovat alkaneet ajamaan painetta valmistusprosessien parantamiselle, jolloin kuivausprosessista on muodostunut tuotannolle pullonkaula. Opinnäytetyön tavoite onkin suunnitella uusi kuivauslaite kuorma-autokatalysaattoreiden kuivaamiseen. Yritys ei ollut tyytyväinen tämän hetkiseen tuotteiden vuorokohtaiseen valmistettavuuteen, vaan halusi nostattaa kapasiteettiä uuden kuivurin myötä kolminkertaisesti.

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella kuorma-autokatalysaattoreille kuivauslaite sekä suunnitella siihen ohjelmoitava logiikka. Suunnittelun apuna käytetään jo yrityksessä olevien kuivauslaitteiden rajoitteiden arviointia sekä käyttäjäkohtaisia mielipiteitä. Lisäksi jo olevissa olevilla kuivureilla voidaan tutkia kuivattavan materiaalin käyttäytymistä kuivausprosessissa. Laitteen suunnittelu toteutetaan yrityksestä löytyvällä Solidworks ohjelmistolla sekä logiikan suunnittelussa apuna käytetään Cx-programmer ohjelmaa.

1.2 Dinex Ecocat Oy

Dinex Ecocat Oy on katalysaattoreita valmistava globaali yritys Vihtavuorella. Sen toiminta on fokusoitunut katalysaattoreiden valmistukseen. Yrityksen erikoisosaamisena voidaankin pitää kemian alan asiantuntemusta, mutta se on pyrkinyt myös hallitsemaan niiden mekaanisen valmistuksen. Katalysaattoreita valmistetaan pääsääntöisesti kaikkiin polttomoottorityyppeihin aina moottorisahoista teollisuuskatalysaattoreihin asti.

Dinex Ecocatin sijaitsee Vihtavuorella, ja siellä on noin 90 työntekijää. Toinen Suomessa sijaitseva tehdas on Oulussa, jossa on töissä noin 20 henkeä. Sitä voisi pitää yrityksen laboratoriona, jossa tehdään tutkimus- ja tuotekehitystyötä. Dinex Ecocatinla on myös jalansija Kiinassa, Koreassa, Intiassa, Brasiliassa, Venäjällä, Saksassa, Yhdysvalloissa, Italiassa, Ruotsissa ja Englannissa. Valmistavia yksiköitä konsernilla on Suomen lisäksi Kiinassa, Intiassa ja Iranissa. Tulevaisuudessa on myös hyvin todennäköistä, että yksi tulee olemaan Venäjällä. Vuonna 2013 Dinex Oy päätti ostaa Ecocat Oy:n osaksi omaa valmistusketjuaan.

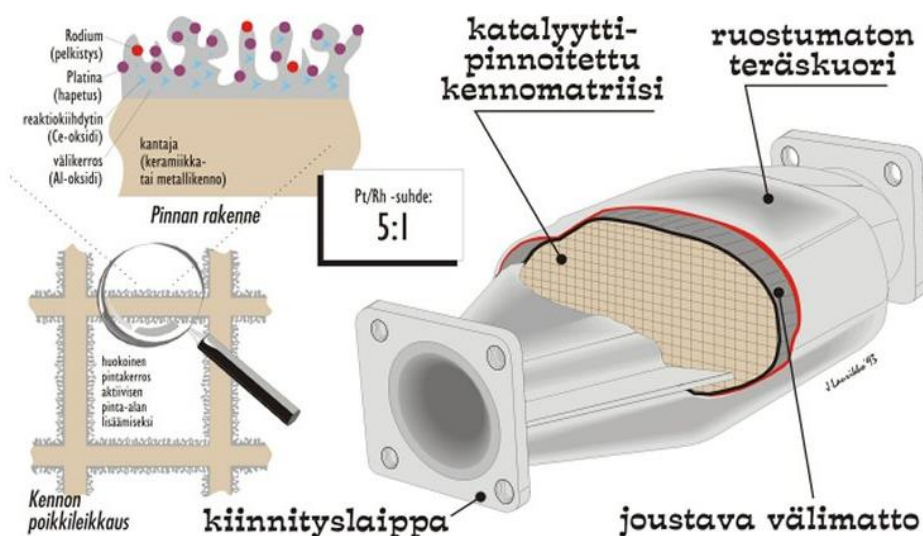
Dinex Ecocatin kohde markkinat ovat viime vuosina pääsääntöisesti suuntautuneet Aasian markkinoille. Siellä autojen jatkuva lisääntyminen on alkanut näkyä pakokaasupäästöille asetettujen emissiorajojen nousuna, mikä on puolestaan kasvattanut katalysaattoreiden tarvetta autoissa. Yrityksen strategia onkin seurata potentiaalisia asiakkaita. Aktiiviset asiakkaat tuovat yritykselle kasvun mahdollisuuden. Euroopassa automarkkinoiden kasvu on Lähi-itään verrattuna tällä hetkellä paljon stabiilimpaa.

1.3 Kuorma-autokatalysaattori

Katalysaattori on auton pakoputkeen asennettava komponentti. Se ei ole epäpuhtauksia keräävä hiukkassuodatin, vaan sen avulla pyritään muodostamaan kemiallinen reaktio, joka tuo sille puhdistusominaisuuden. Katalyyysi nopeuttaa haitallisten aineiden muuttumista harmittommiksi. Reaktion muodostuminen vaatii 250 °C lämpötilan. (Laurikko 1993)

Katalysaattorin rakennetta voidaan kuvailla kennostomaiseksi. Rakenteensa ansiosta saavutetaan suuri reaktiopinta-ala. Kennosto voidaan valmistaa keraamisesta pastasta tai rypytytystä metallifoliosta rullaamalla. Kennosto päällystetään ruostumattomalla teräksellä. Tämän jälkeen ne asennetaan vesi- ja ilmatiiviiseen putkeen, joka puolestaan liitetään yhdeksi osaksi pakoputkistoon. Kennosto muodostuu useista pilleistä joiden läpi pakokaasu kulkee. (Laurikko 1993) Noin 10 % pilleistä saa olla tukossa ilman, että se haittaa merkittävästi katalysaattorin ja moottorin toimintaa. Tämä toleranssi on aivan riippuvainen kohteen vastapaineen kriittisyydestä. Kuviossa 1 on esiteltyä katalysaattorin periaatekuva.

Katalysaattorin rakenne



KUVIO 1. Katalysaattorin periaatekuva (Laurikko 1993)

Pillimäisellä rakenteella kasvatetaan kennoston seinämien yhteispinta-alaa ja ne päällystetään ohuella pinnoitteella, joihin lisätään jalometallia halutun latauksen verran. Jalometalli voidaan laittaa tuotteeseen pinnoituksen seassa tai sitten imeyttämällä ne siihen pinnoituksen jälkeen. Yleisemmin käytetyt jalometallit ovat platina, rodiumia tai palladiumia. Taulukossa 1 on esiteltynä jalometallien hintoja. Niistä voidaan päätellä, että olla todella arvokkaiden ja eksoottisten raaka-aineiden kanssa tekemisissä. (Laurikko 1993)

TAULUKKO 1. Jalometallien hinnat (Dinex Ecocat)

PGM Prices

Platinum	Rhodium	Palladium
US \$/Oz. Troy	US \$/Oz. Troy	US \$/Oz. Troy
1413,60	1067,25	730,45
Pt/g \$ US	Rh/g \$ US	Pd/g \$ US
45,448261	34,312859	23,484495
45,45	34,31	23,48
Pt/g €	Rh/g €	Pd/g €
33,063610	24,962605	17,084970
33,06	24,96	17,08

Diesel-moottoreihin asennettavat katalysaattorit käsitellään vanadiinilla sekä volframimalmiitillä. Paljon happea sisältävät dieselpakokaasut ovat saaneet uusimpana teknologiana scr-katalysaattorin. Katalysaattori tuli EU-maissa autoon pakolliseksi varusteeksi vuonna 1992. (Laurikko 1993)

2 Ilma kuivausaineena

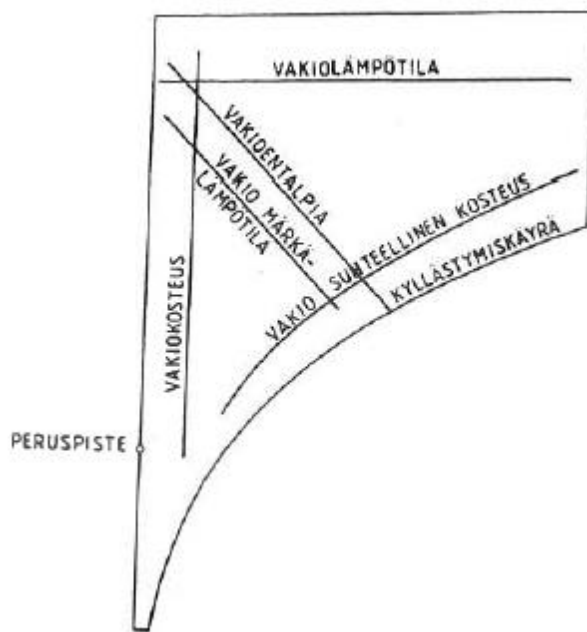
Kuivurilla poistetaan vettä kuivattavasta kohteesta. Tähän tarvitaan tuotua energiaa joka toteutetaan puhaltimen sekä lämmön avulla. Kuumuuden tehtävä kuivausprosessissa on saada vesi höyrystymään, kun puolestaan haihtunut vesi vietään ilmavirtauksen mukana pois kuivauskaapista. Kuivausprosessin tärkeimmät kohdat ovat ilmassa oleva energiamäärä ja sen kyky sitoa vettä. Ilmassa on useita eri kaasuja kuten happea, typpeä, hiilidioksidia sekä muista jalokaasuja. Kaasujen lisäksi olosuhteista sekä lämpötilasta riippuen ilmassa on aina tietyn verran höyrystynyttä vettä. Vesi sitoo paljon lämpöenergiaa haihtuessaan, jolloin ilmassa olevalla vedellä on merkittävä vaikutus sen entalpiaan eli lämpösisältöön. ”Ilman tilalaskuissa käytetään yksikkönä kuivaa ilmakiloa, koska kuivan ilman määrä ei muutu kosteuden muuttuessa”. (Ahokas & Hautala 2012, 24)

Kuivurin toiminnassa on hyvin tärkeää ymmärtää millainen on lämmitetyn ilman kyky sitoa kosteutta verrattuna sitä kylmään ilmaan. Ilman kuivaustehoa voidaan parantaa paljon jo pelkästään pienellä lämmityksellä. Lämmön avulla ilman suhteellista kosteutta saadaan laskettua merkittävästi. Kosteussuhde pysyy kuitenkin aivan samana. Ilmassa ennen ja jälkeen lämmityksen on saman verran vettä. Mikä omalta osaltaan vaikuttaa kuivausprosessin tehokkuuteen, sillä ilma voi sitoa vain tietyn verran vettä itseensä. Kuivattavaa materiaalia voidaan tarkastella Mollier-diagrammin avulla. (Ahokas & Hautala. 2012, 24)

2.1 Mollierin diagrammi

Mollierin diagrammi syntyi 1900-luvulla saksalaisen fysiikan professorin tutkimusten tuloksena. Yhdysvalloissa vastaavanlainen taulukko tunnetaan paremmin nimellä Carrier-diagrammi. Siinä on käytännössä aivan samat asiat esitettyinä hieman erilaisessa piirroksessa. (Ahokas & Hautala 2013, 27)

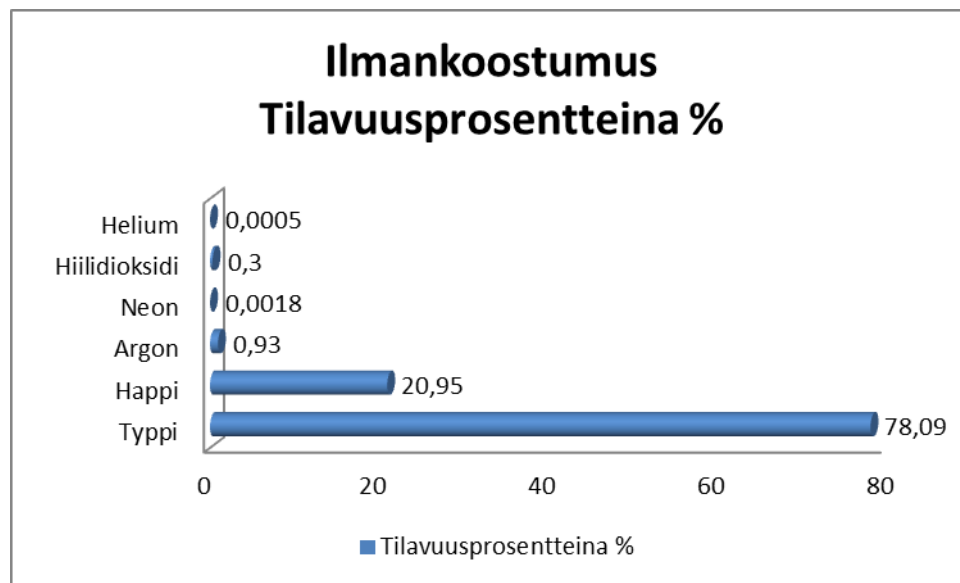
Mollier- diagrammia käytetään paljon apuna kuivausprosessien kehittämisessä esim. viljan ja puunkuivaimien rakentamisessa, suunnittelussa sekä ilmastointitekniikassa. Sen avulla on helppo hahmottaa ilman tilasuureet eri olosuhteissa. Mollierin diagrammin tilasuureiden esitys periaate on esiteltyinä kuviossa 2. Internetissä on paljon ilmaisia ohjelmistoja, joissa on mahdollista tutkia Mollierin diagrammin avulla ilmanenergia sisältöä. Tällaisia ilmaisia ohjelmistoja ovat esim. Coolingpack sekä Mollier sketcher.



KUVIO 2. Mollierpiirroksen keskeisimmät tiedot (Seppänen 1996, 189)

2.1.1 Ilman ominaisuudet ja niiden laskeminen

Puhdasta kuivaa ilmaa ei esiinny kuin teoriassa ja sen koostumus sekä tilavuusprosentti jakauma on esiteltyä kuviossa 3.



KUVIO 3. Ilman koostumus tilavuusprosentteina

Ilmakehässä ei todellisuudessa esiinny absoluuttisesti kuivaa ilmaa, vaan siinä on olosuhteista riippuen aina jonkun verran vesihöyryä sekä muita hiukkasia. Vesihöyry tuo kosteanilman ominaisuuden ja esim. ilmastointia suunniteltaessa sitä pidetään yhtenä tärkeimpänä muuttujana. Normaalisissa ilmanpaineissa vesihöyryä esiintyy noin yhden prosentin verran, mutta sen olomuodon muutoksen pois jättämisestä voi seurata ilmastointiprosessin suunnittelussa jopa kymmenien prosenttien virheen tehojen laskennassa. Kostea ilma muodostuu vesihöyryn ja kuivan ilman sekoituksesta. Siihen voidaan soveltaa Gibbs- Daltonin yleistä kaasulakia. Kosteanilman paine saadaan laskettua kaavalla 1. (Harju 2008, 39)

$$p = p_i + p_h \quad (1)$$

p = ilman kokonaispaine (Pa)

p_h = vesihöyryyn osapaine (Pa)

p_i = ilman osapaine (Pa)

Kaasulaki mahdollistaa ilman tiheyden tarkistelun eri olosuhteissa kaavan 2 avulla. Ainoastaan korkeassa paineessa ja lämpötilassa ilma poikkeaa siitä. (Seppänen 1996, 188)

$$p = \frac{\rho * R * T}{M} \quad (2)$$

ρ = kaasuntiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

R = yleinen kaasuvakio ($\frac{J}{mol * K}$)

T = lämpötila (K)

M = moolinmassa ($\frac{g}{mol}$)

Ilma ei voi ottaa vastaan vesihöyryä rajattomasti, vaan lämpötilasta riippuen ilma tulee kylläiseksi jossain vaiheessa. Ilman saavuttaessa kastepisteensä ylimääräinen vesihöyry tiivistyy vedeksi. Kosteussuhde kertoo ilman vesihöyrynpitoisuudesta. Kosteussuhde saadaan laskettua kaavalla 3. (Seppänen 1996, 188)

$$x = \frac{m_h}{m_i} \quad (3)$$

$$m_h = \text{ilmassa olevan vesihöyryn massa } \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$m_i = \text{ilmassa olevan kuivan ilman massa } \left(\frac{g}{kg}\right)$$

Kosteussuhde voidaan ilmoittaa myös paineen avulla, tällöin käytetään kaavaa 4. Kaava on johdettuna Olli Seppänen 1996 ilmastotekniikka ja sisäilmasto kirjassa. (Seppänen 1996, 188)

$$x = 0,6220 * \frac{P_h}{P - P_h} \quad (4)$$

”Jokaista lämpötilaa vastaa vesihöyryn tietty maksimaalinen paine. Tätä sanotaan vesihöyryn kyllästymispaineeksi”. Kyllästymispaine saadaan laskettua kaavasta 5. (Seppänen 1996, 188.)

$$P_{hs} = \frac{e^{77,345 + 0,0057T - \frac{7235}{T}}}{T^{8,2}} \quad (5)$$

$T = \text{lämpötila (K)}$

$p_{hs} = \text{kyllästymispaine (Pa)}$

Suhteellinen kosteus saadaan puolestaan laskettua kaavalla 6, joka ilmoittaa ilmassa olevan vesihöyryn osapaineen suhteena kyllästymispaineeseen. (Seppänen 1996, 188)

$$\varphi = \frac{P_h}{P_{hs}} \quad (6)$$

Kostean ilman entalpia koostuu kuivan ilman ja vesihöyryjen entalpian summasta, joka esiteltynä kaavassa 7. Jaettaessa se kaavalla 3 saadaan kostean ilman ominaisentalpialle kaava 8. (Seppänen 1996, 188)

$$H = m_i * h_i + m_h * h_h \quad (7)$$

h_i = kuivan ilman ominaisentalpia

h_h = vesihöyryyn ominaisentalpia

$$h = h_i + x * h_h \quad (8)$$

Kuivan ilman ominaisentalpia on riippuvainen lämpötilasta. Se saadaan laskettua kaavalla 9. (Seppänen 1996, 189)

$$h_i = c_{pi} * t \quad (9)$$

c_{pi} = kuivan ilman ominaislämpökapasiteetti, $1,006 \left(\frac{kJ}{kg} * ^\circ C \right)$

t = lämpötila ($^\circ C$)

Vesihöyryyn lämpö muodostaa vesihöyryyn ominaisentalpian. Lämpötilan nollapisteeksi valitaan yleensä $0^\circ C$, tällöin ominaisentalpia muodostumisessa tarkastellaan lämmittämiseen vaadittavaa lämpökapasiteettiä. Vesihöyryyn ominaisentalpia saadaan laskettua kaavalla 10. (Seppänen 1996, 189)

$$h_h = I_{h0} + c_{ph} * t \quad (10)$$

$$I_{h0} = \text{veden höyrystymislämpö, } 2500 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$$

$$c_{ph} = \text{vesihöyryyn ominaislampokapasiteetti, } 1,85 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * ^\circ\text{C}\right)$$

$$t = \text{lämpötila } (^\circ\text{C})$$

Ominaisentalpia kaava 11 saadaan yhdistämällä kaavat 8, 9 ja 10:n.

$$h = 1,006 * t + x * (2501 + 1,85 * t) \quad (11)$$

Lämmityksessä tarvittava lämpöteho saadaan laskettua kuivan ilman kaavalla 12.

Teho voidaan myös määrittellä kostea ilma mukaan lukien jolloin saadaan kaava 13.

(Harju 2008, 38)

$$P = \rho * c_{pi} * \Delta T * q_v \quad (12)$$

$$P = \rho * \Delta h * q \quad (13)$$

$$\rho = \text{kaasuntiheys } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$P = \text{teho (kW)}$$

$$\Delta T = \text{lämpötilaero } (^\circ\text{C})$$

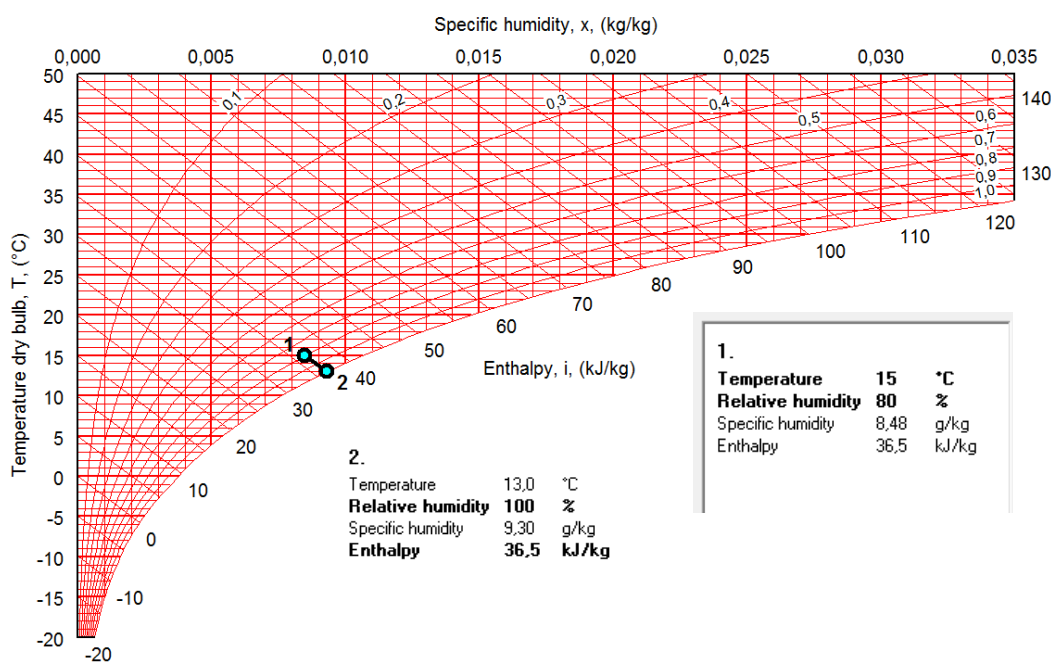
$$\Delta h = \text{lämpösisältöero (kJ/kg)}$$

$$c_{pi} = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}\right)$$

$$q_v = \text{tilavuusvirta } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

2.1.2 Lämmön vaikutus kuivumiseen

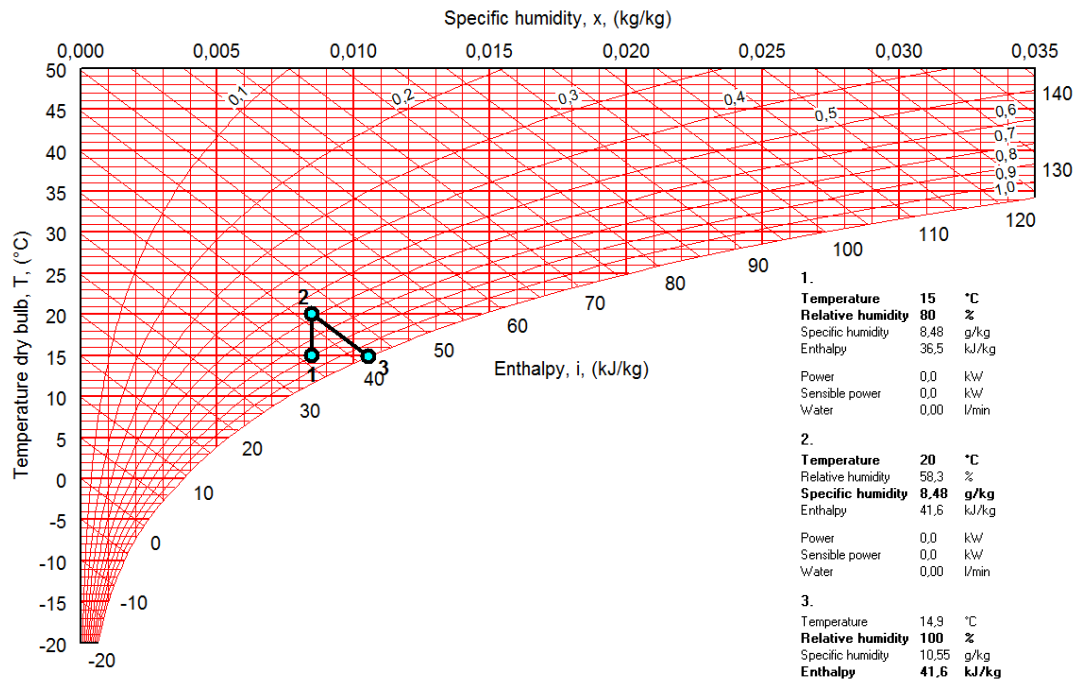
Lämmön vaikutusta kuivumiseen voidaan laskea edellä mainituilla kaavoilla, mutta samat asiat on nähtävissä myös suoraan Mollier-piirroksesta. Sen avulla on helppo selvittää riittävällä tarkkuudella millainen on ilman veden sitomiskyky eri olosuhteissa. (Seppänen 1996, 189) Kuvitellaan esim. Ilman suhteellinen kosteudeksi 80 % sekä lämpötilaksi 15 °C. Sketcher ohjelman avulla voidaan lukea Mollierin diagrammista tällöin, että ilmassa on vettä 8,48 g/kg. Suhteellisen kosteuden ollessa 100 % lämpötila laskee 13 °C ja ilmassa on tällöin vettä 9,30 g/kg. Näiden tietojen pohjalta voidaan laskea erotuksella, että kyseisellä ilmalla voidaan kuivauksessa poistaa vettä kokonaisuudessaan 0,82 g/kg (ks. kuvio 4). (Ahokas & Hautala 2012, 55-56)



KUVIO 4. Mollier Sketcher ohjelmalla laadittu diagrammi.

Ilmaa lämmittäessä Mollier-kuviossa siirrytään vakiovesisisältöä suoraa ylöspäin. Esim. lämmittäessä edellistä ilmatilaa viisi astetta lisää, siirrytään pisteestä suoraan ylöspäin pisteeseen kaksi, jossa lämpötila on 20 °C. Havaitaan, että ilman vesisisältö pysyy edelleen samana 8,48 g/kg. Piirrosta tulkittaessa huomataan, että ilman suhteellinen kosteus on pudonnut 58,3 %. Kuivauksen aikana ilma kostuu ja seuraavaksi

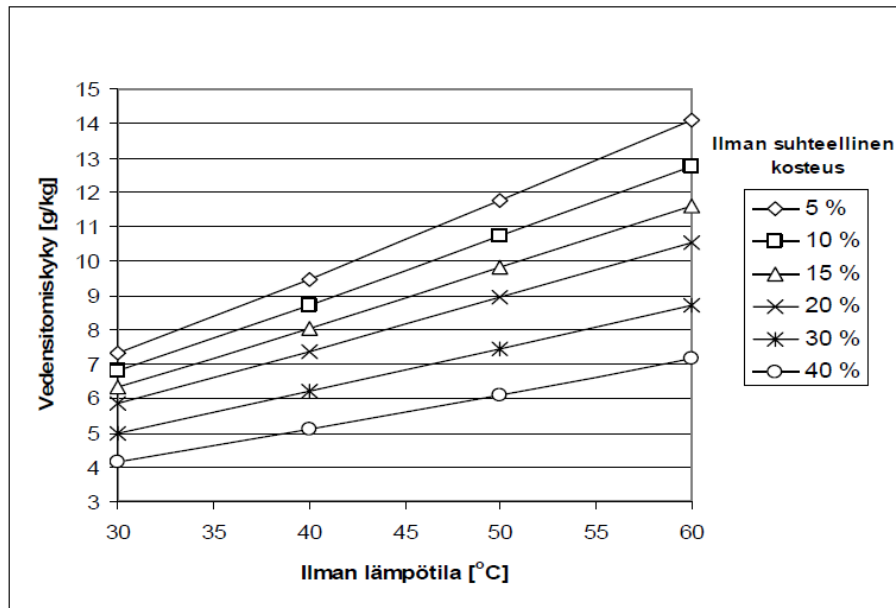
siirrytään jälleen alas oikealle pisteeseen kolme, jossa lämpötila on 14,8 °C ja ilman vesisisältö 10,55 g/kg. Lasketaan jälleen veden sitomiskyky erotuslaskulla ja saadaan tulos 2,07 g/kg. Tästä voidaan havaita vertailemalla, että ilman lämmittäminen paransi veden sitomista noin 2,5 kertaa verrattuna lämmittämättömään ilmaan (ks. kuvio 5). (Ahokas & Hautala 2012, 55-56)



KUVIO 5. Mollier Sketcher ohjelmalla laadittu diagrammi.

2.1.3 Ilman suhteellisen kosteuden vaikutus kuivumiseen

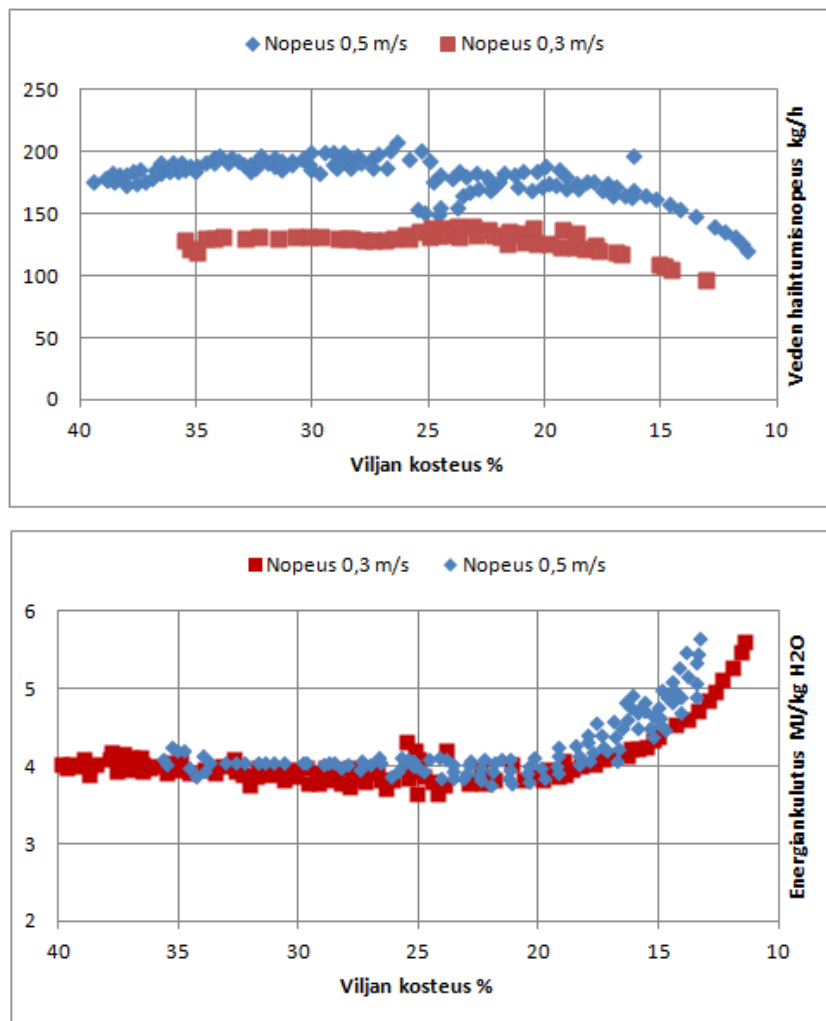
Lämmön nosto parantaa ilman kykyä sitoa vettä, mutta "Ilman suhteellisen kosteuden ollessa korkea ei lämpötilan nostolla ole niin suurta merkitystä" (Halkonen 2005, 15) verrattuna sitä alhaisempaan ilman suhteelliseen kosteuteen. Halkosen tekemästä kaaviosta, on hyvin nähtävissä, että ulkoa otettavan ilman kosteusvaihtelut vaikuttavat kuivausprosessin kapasiteettiin (ks. kuvio 6). Halkosen laatima kaavion käyrät on saatu soveltamalla kostutuksen energiataseita. Kyseistä kaaviota on käytetty biopolttoaineen aumankuivauksen tutkimuksessa. Kaavio on erittäin havainnollistava apuväline, kun käsitellään kostean ilman termodynamiikkaa. (Halkonen 2005, 15-16)



KUVIO 6. Ilman suhteellisen kosteuden ja vedensitomiskyky eri olosuhteissa. (Halkonen 2005, 16)

2.1.4 Ilmamäärän vaikutus kuivumiseen

Ilmamäärän vaikuttamista kuivumisen nopeuteen on tutkittu Peltolan tekemässä tutkimuksessa, jota käsitellään Ahokkaan ja Hautalan maatilakuivureissa. Kaaviosta havaitaan Ahokkaan ja Hautalan mukaan, että siinä on käytetty samaa lämpötilaa, mutta eri virtausnopeuksia. Virtausnopeuden kasvaessa veden poistuminen on tehostunut 40 %. Kaaviossa on myös esitelty kuivauksessa tapahtuvaa energian kulu- tusta. Virtausnopeutta lisättäessä energian kulutus on kasvanut. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä että ilmamäärän lisääminen kasvattaa uunin lämpötehon tarvetta (ks. kuvio 7). (Ahokas & Hautala 2012, 63-65)



KUVIO 7. Peltolan tekemä tutkimus 1997. (Hautala & Ahokas 2013, 63)

Ilmavirran nopeus ja lämpö ovat siis merkittävimpiä tekijöitä kuivausprosessissa, lisäksi tulee huomioida ilman suhteellinen kosteus. Puhallettavasta tuloilmasta tulisi poistaa kosteutta, jotta se voi ottaa vastaan kuivauspuhaltimien haihduttamaa vettä tehokkaammin, tällöin saataisiin ilman lämmittämiseen tarvittavaa energiaa pienennettyä.

2.2 Virtaus

Kaasu- tai nestevirtaus ilmoitetaan yleensä kuinka monta tilavuusyksikköä aine virtaa kanavan poikkileikkauksen läpi, jossakin aikayksikössä. Tilavuusvirta saadaan laskettua näiden kahden suureen osamäärästä kaavalla 14. (Hautala & Peltonen 2001, 111)

$$q_v = \frac{V}{t} = \frac{A * v * t}{t} = A * v \quad (14)$$

$$q_v = \text{Tilavuusvirta} \left(\frac{m^3}{s}, \frac{m^3}{h}, \frac{l}{min} \right)$$

$$V = \text{Tilavuus} (m^3, l)$$

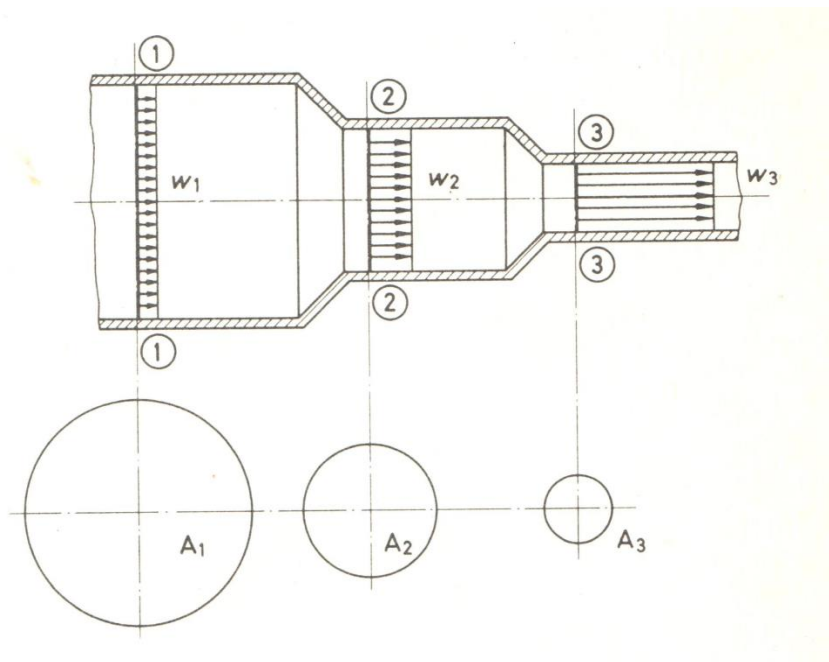
$$v = \text{nopeus} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$A = \text{Poikkipinta - ala} (m^2)$$

Tilavuusvirta pysyy läpäisemättömässä ja vuodottomassa kanavassa aina samana, vaikka poikkipinta-ala muuttuisi. Jatkuvuusyhtälöön pätee tällöin kaava 15. (Bohl 1982, 53)

$$q_v = A_1 * v_1 = A_2 * v_2 = A_3 * v_3 \quad (15)$$

Kaavasta onkin selkeästi havaittavissa, että mikäli poikkipinta-ala pienenee virtaus tällöin kasvaa, mutta tilavuusvirta pysyy aina samana. Jatkuvuusyhtälön periaatekuva on esiteltyä kuviossa 8.



KUVIO 8. Jatkuvajhtälön periaatekuva (Bohl 1982, 53)

2.3 Fysikaalisesti erilaiset virtausmuodot

Kanavistossa esiintyy aina fysiikallisesti erilaisia virtausmuotoja. Virtausmuodot määritellään raynoldsin luvulla, joka määrittelee onko virtausmuoto laminaarista vai turbulentista. Raynoldsin luku saadaan laskettua kaavalla 16. (Bohl 1982, 87)

$$R_e = \frac{v^* d}{\nu} \quad (16)$$

R_e = raynoldsin luku

d = kanavan halkaisija (m)

ν = ilman kineettinen viskositeetti

v = virtausnopeus ($\frac{m}{s}$)

Laminaarisessa virtauksessa eli kerroksittaisessa virtauksessa hiukkaset liikkuvat kanavan pituusakselin mukaisia virtausratoja pitkin, siten ettei hiukkasten linjat missään vaiheessa risteidy keskenään. Pyöreässä kanavassa, jossa esiintyy laminaari virtausta, reynoldsin luku on pienempi kuin kriittinen raja $Re=2320$. (Bohl 1982, 87-88)

Pyörteisessä virtauksessa eli turbulenttinen virtauksessa hiukkaset liikkuvat pituusakselin sekä poikittaissuuntaisesti, jonka vuoksi virtaus sekoittuu. Poikittaisliikkeen takia kanavan kitkahäviöt ovat myös riippuvaisia materiaalin pinnankarheudesta. Turbulenttivirtaus muodostuu kriittisen reynolds luvun $Re=2320$ yläpuolella. Turbulenttinen virtaus on yleisin virtausmuoto, joka esiintyy kanavistoissa. (Bohl 1982, 87-88)

2.4 Virtausvastukset putkiston eri rakenneosissa

Ilman kuljetukseen rakennettu kanavisto on harvoin täysin suora. Usein siihen liitetään erimuotoisista kanaviston rakenneosia, joissa tapahtuu tilavuusvirran, virtausnopeuden, poikkipinta-alojen sekä suunnan muutoksia. Tällaisia rakenneosia ovat esim. kuristimet, supistimet, laajennukset, haaraumat, venttiilit sekä eri jyrkkyydellä olevat putkimutkat. Painehäviöt jotka muodostuvat kertavastuksista on erittäin hankalia laskea teoreettisesti. Yleensä ne määritellään likimääräisillä laskuilla, kokeilla sekä tekemään aivan karkeita arvioita. Tämä yksinkertaisesti johtuu siitä, että kanavan seinämän pinnankarheus on vaihteleva muuttuja. Kanaviston rakenneosissa tapahtuvat painehäviöt lasketaan kaavalla 17, jossa vastuskerroin määritellään aina tapauskohtaisesti. Vastuskerroin voidaan laskea tai valitaan laadituista nomogrammeista. (Bohl 1982, 105-107)

$$p_v = \zeta_2 * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad (17)$$

$p_v = \text{painehäviö (Pa)}$

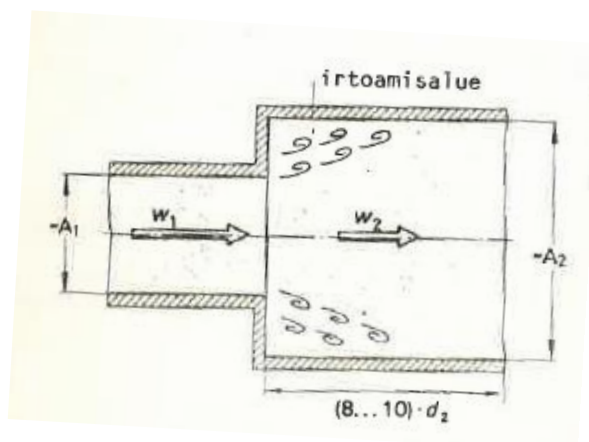
$\zeta_2 = \text{vastuskerroin}$

$\rho = \text{tiheys } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

Painehäviöitä muodostuu virtausten haarautuessa tai yhtyessä. Tällaiset muutokset ovat riippuvaisia useammasta eri muuttujasta. Suurin painehäviön kasvu tapahtuu etenkin geometrisissä muodoissa. Vastuskertoimet saadaan yleensä valittua lukuisien kokeiden perusteella tehdyistä diagrammeista tai valintataulukoista, joita löytyy esim. ilmastoinninsuunnittelu oppikirjoista (ks. liite 1). (Bohl 1982, 112)

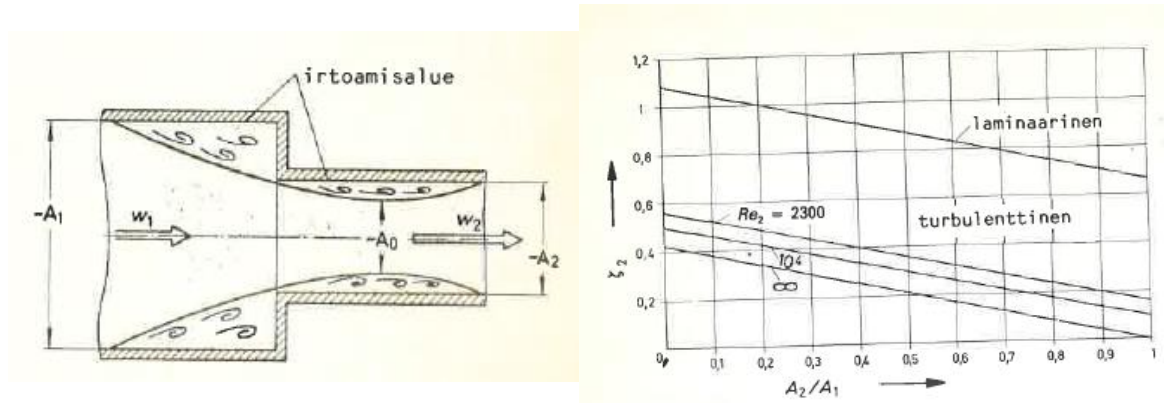
Kanavistoa rakennettaessa voidaan joutua liittämään toisiinsa erikokoisia kanavia supistimien sekä laajennuksien avulla. Tällainen muutos voidaan tehdä äkillisesti tai sitten diffusorien sekä konfusorien avulla. Äkillisen poikkipinta-ala laajennuksen periaatekuvat on esiteltyä kuviossa 9. Äkillisen muutoslaajennuksen vastuskerroin saadaan laskettua kaavalla 18. (Bohl 1982, 109-110)

$$\zeta_2 = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2 \quad (18)$$



KUVIO 9. Kanaviston äkillinen laajentuminen (Bohl 1982, 108)

Äkillisesti supistaessa tarkastellaan irtoamisalueen muodostaman virheen vuoksi vastuskertoimen ja supistumisen $\frac{A_2}{A_1}$ funktiona (ks. kuvio 10). (Bohl 1982, 107-110)



KUVIO 10. Äkillinen supistuminen sekä vastuskertoimen funktiokuvaaja. (Bohl W 1982, 109-110)

Äkillinen supistumisen vastuskerroin voidaan laskea myös kaavalla 19. (Wuori 1990, 124)

$$\zeta_2 = \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\right)^2 \quad (19)$$

$d_1 =$ kanavan halkaisija (m)

$d_2 =$ kanavan halkaisija (m)

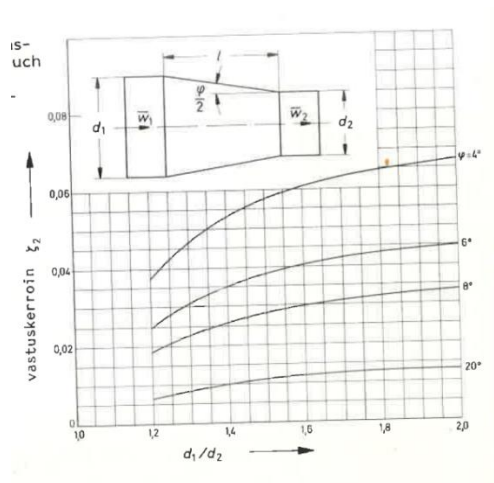
Diffusorin poikkipinta-ala muutoksen määrittelyyn vaikuttaa pinnankarheuden lisäksi geometriset ominaisuudet. Diffusorin periaatekuva on esiteltyä kuviossa 11. Diffusorin vastuskerroin saadaan määriteltä halkaisijasuhteen $\frac{d_2}{d_1}$ sekä aukenemiskulman φ funktiona. Diffusorin painehäviö lasketaan kaavalla 20. Kuviossa 11 on esiteltyä myös diffusorin funktio kuvaaja, josta voidaan määrittää vastuskerroin. (Bohl 1982, 108)

$$\zeta_2 = \lambda * \frac{1}{2 \tan \alpha} * \left(\left(\frac{D}{d} \right)^4 - 1 \right) \quad (20)$$

λ = pienemmän kanavan vastuskerroin

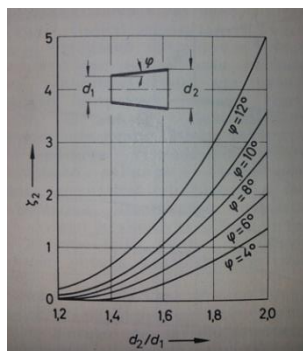
D = ison kanavan halkaisija (m)

d = pienen kanavan halkaisija (m)



KUVIO 11. Vastuskertoimen valinta käyrästä (Bohl W 1982, 110)

Konfusorin vastuskerroin määritetään aukenemiskulman φ ja halkaisijasuhteen $\frac{d_2}{d_1}$ funktiona (ks. kuvio 12). (Bohl 1982, 110)



KUVIO 12. Konfusorin vastuskertoimen valinta käyrästä (Bohl W 1982, 109)

Geometrialtaan pyöreässä suorassa kanavassa aiheutuu, myös painehäviötä. Tämä saadaan laskettua kaavalla 21. (Seppänen 1996, 95)

$$p_v = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (21)$$

$l = \text{kanavan pituus (m)}$

$\lambda = \text{kitkakerroin}$

$\rho = \text{ilman tiheys } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

$v = \text{ilman nopeus } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

Mikäli virtaus putkessa on turbulenttinen, kitkanvastuskerroin saadaan laskettua kaavalla 22. (Bohl 1982, 97) Yleisesti peltikanaville käytetään kaavaa 23 tai kitkakerroin valitaan Moodyn diagrammista (ks. liite 2). (Seppänen 1996, 96)

$$\lambda = \frac{1}{(2 * \lg^* \frac{d}{k} + 1,14)} \quad (22)$$

$d = \text{kanavan halkaisija (m)}$

$k = \text{pinnan karheus}$

$$\lambda = 0,0072 + \frac{0,61}{\text{Re}^{0,35}} \quad (23)$$

Mikäli virtaus kanavassa on laminaarista, kitkanvastuskerroin saadaan laskettua kaavalla 24. Laminaarisen virtauksen vastuskerroin on johdettavissa teoreettisesti, koska virtaukseen ei vaikutta ollenkaan kanavan pinnankarheus. (Seppänen 1996, 96)

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \quad (24)$$

Suorakanaviston ollessa suorakulmainen käytetään laskuissa kaavaa 25. (Seppänen 1996, 97)

$$d_h = \frac{4 * A}{U} = \frac{2 * a * b}{a + b} \quad (25)$$

A = kanavan poikkileikkauksen pinta – ala (m^2)

U = kanavan poikkileikkauksen piiri (m)

d_h = kanavan halkaisija (m)

a = Suorakaiteen sivu (m)

b = Suorakaiteen sivu (m)

2.4.1 Ilmastointikanaviston suunnitteluohjelmisto

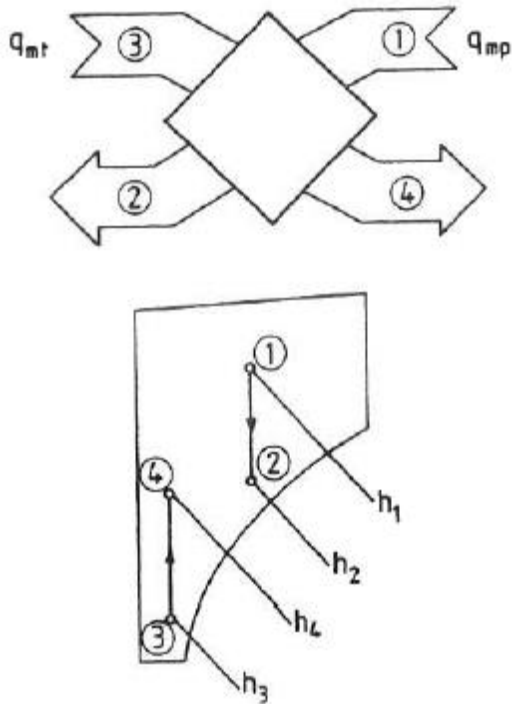
Ilmastointikanavien painehäviöt voidaan laskea edellä mainituilla kaavoilla käsin, mutta nykyaikana avuksi on ohjelmoitu esim. Autocad pohjalla toimivia ohjelmistoja. Magicad on yksi tällainen formaatti, joka on erinomainen työkalu kanaviston suunnittelussa. Sen avulla voidaan hetkessä määrittää kanavistossa aiheutuvat vastapaineet. Lisäksi ohjelmisto muuntaa automaattisesti kanavakoot oikeiksi, jotta halutut parametrit toteutuvat. Ohjelmisto osoittavat etunsa varsinkin suurempien kokonaisuuksien mitoittamisessa. Tällaisia kokonaisuuksia ovat esim. omakotitalojen sekä tehdashallien ilmastoinnin ja kärynpoiston suunnittelu.

3 Lämmöntalteenotto LTO-tekniikan avulla

Energiatehokkaassa kuivurissa tulee olla LTO (lämmöntalteenotto), jotta voidaan puhua nykyaikaisesta laiteesta. LTO:n tärkein tehtävä on varastoida lämpöenergiaa poistoilmasta tuloilmaan. LTO- tekniikoita on useita erilaisia ja kaikilla niillä on hyvät ja huonot puolensa.

Mikäli lämpö varastoidaan aineeseen, puhutaan regeneratiivisesta lämmönsiirtimestä, jossa lämpöä varaava aines lämpenee sekä jäähtyy ilmavirtauksessa. Lämpöä siirtäessä ilmavirtoja erottavien levyjen lävitse puhutaan puolestaan rekuperatiivisistä tyypistä LTO:sta. Yleisimmin käytetyt LTO- tekniikat ovat pyörivä, nestekierteinen lämmönsiirrin sekä levylämmönsiirrin. (Halminen, Kuvaja & Köttö 42)

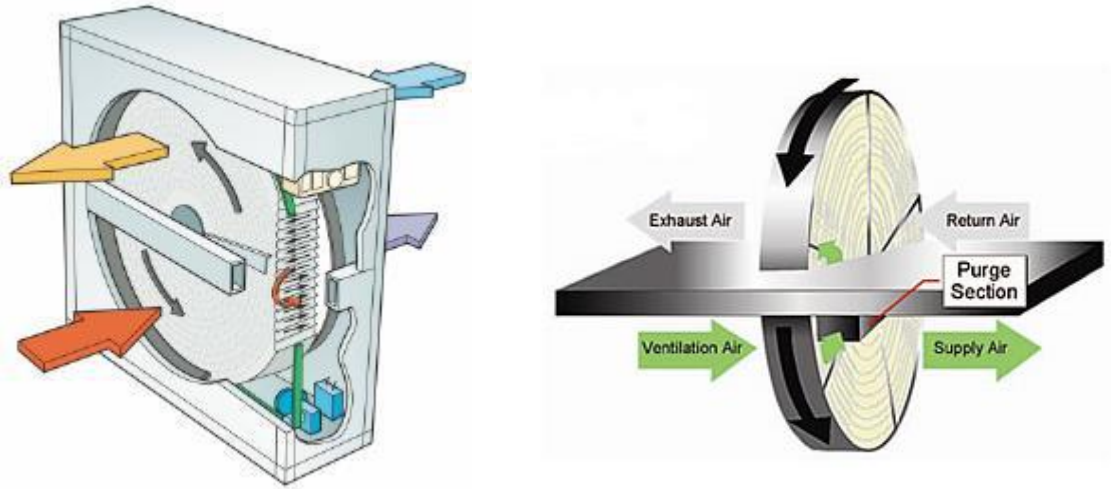
Lämmönsiirtymistä voidaan tarkastella Mollier-piirroksen avulla. Piirroksesta voidaan selvittää poistoilman luovuttama lämpöteho. Tuloilman vastaanottama lämpöteho on aina yhtä suuri kuin poistoilman luovuttama (ks. kuvio 13). (Seppänen O 1996, 189)



KUVIO 13. Lämmöntalteenotto prosessi Mollier-piiroksessa (Seppänen O 1996, 189)

3.1 Pyörivä lämmöntalteenotto

Pyörivä lämmönsiirtäjä eli regeneratiivinen on rakennettu pyörivästä kennostosta, jonka tarkoitus on varata lämpöenergiaa itseensä. Kennosto muistuttaa rakenteeltaan hyvin paljon katalysaattoria, jolla on erittäin suuri sisäinen pinta-ala. Kennon materiaali valinta vaikuttaa lämmön- sekä kosteudensiirto ominaisuuksiin. Sen avulla voidaan päättää siirretäänkö vai lämpöä, vai sitten lämpöä sekä kosteutta tuloilmaan. (Seppänen 2008, 288) Kennoston rotaatio saadaan aikaiseksi taajuusmuuttajalla varustetulla moottorilla. Kuviossa 14 on esiteltynä pyörivän LTO:n periaatekuva. (Halminen ym. 44-45)



KUVIO 14. Pyörivä lämmönsiirtäjä (Harmon 2013, Erway J 2013)

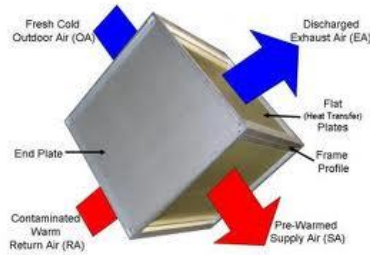
Tulo- ja poistovirtaukset ovat toteutettu pyörivässä lämmönsiirtäjässä vastavirtaperiaatteella. Pyörivän LTO:n hyötysuhde on paras verrattuna muihin järjestelmiin, sillä saavutetaan jopa 70-85 % hyötysuhde. Pyörivässä LTO:ssa helposti sekoitetaan keskenään tulo- ja poistoilmavirrat, lisäksi tulo- ja poistokanavat joudutaan asettamaan todella lähelle toisiaan mikä rajoittaa suunnittelua. Tuloilman ollessa liian kylmään on laitteistolla vaarana huurtuminen. Huurtumisvaara voidaan ehkäistä esilämmittämällä ulkoa otettavaa ilmaa. (Halminen ym. 44-45)

Laitteiston rakenne on suhteellisen yksinkertainen, minkä takia se on helppo puhdistaa riippuen täysin asennus tavasta. (Halminen ym. ,44) Yleisin laitteistossa ilmennyt ongelma on kennostoa pyörittävän remmin haurastuminen lämpötilaolosuhteissa. Tähän vaikuttaa erityisesti materiaalin vääränlainen valinta.

3.2 Ristivirta LTO

Suora rekuperatiivinen lämmönsiirrin koostuu useista ilmavirtoja erottavista levyistä. Kuviossa 15 on esitetty ristivirta levylämmöntalteenottojärjestelmä. Lämpöenergia siirtyy levyjen läpi lämpimästä poistoilmavirrasta kylmempään tuloilmaan. Levyläm-

mönsiirtimen materiaali on yleensä alumiinia, mutta tapauskohtaisesti voidaan myös käyttää muita metalleja. (Seppänen 2008, 286)



KUVIO 15. Ristivirtalämmöntalteenotto (Xetexinc 2014)

Levyt erottavat ilmavirrat toisistaan, ja sen seurauksena kosteutta ei siirry ilmavirroista toisiinsa. Levyt voidaan valmistaa, myös sellaisista materiaaleista, jotka läpäisevät kosteutta, mikäli tuloilmaa halutaan kostuttaa. Yksi levylämmönsiirtimen eduista on sen tiiveys, oikein asennettuna vuotoja ei esiinny ollenkaan. Se on yksikermainen ja helppohoitoinen sekä omaa hyvän hyötysuhteen 50-65 % myös suurilla ilmavirroilla. (Halminen & Kuvaja, 42) Ristivirta levylämmöntalteenotto ei aiheuta isoimmillakaan tilavuusvirroilla kovin suurta vastapainetta.

Mikäli tuloilma otetaan suoraan ulkoa talvella, on riskinä talteenoton huurtuminen. Jäätymissuoja yleensä toteutetaan esilämmitetyllä ulkoilmalla tai lämmönsiirtimen ohituksella, kummassakin tapauksessa lämpötilasuhde heikkenee. Huurtumista voidaan valvoa paine-eron mittauksella tai seuraamalla lämmönsiirtimen lämpötilaa. Näin voidaan varmistaa, että lämmönsiirrin pysyy sulana. (Halminen ym. 43)

3.3 Nestekiertoinen LTO

Nestekiertoinen lämmönsiirrin on rakennettu tulo- ja poistoilmavirroille asennetusta neula- tai lamellipatteriputkistoista, joiden välillä kiertää esim. vesi- glykoliseos, joka luovuttaa lämpöenergiaansa matalassa lämpötilassa. Tehoa säädetään säätöventtiilin avulla vähentämällä tai sulkemalla tuloilmavirran patterille tulevaa nestevirtausta. Nestekierteisen lämmönsiirtimen etu on, etteivät sen ilmavirrat sekoitu keskenään. Laitteiston putkiston suunnittelu on huomattavasti vapaampaa kuin edellä mainituilla menetelmillä. Huonoiksi puoliksi nestekiertoisella LTO:lla muodostuu putkistot ja patteriston rakennuskustannukset, jotka on pääsääntöisesti kalliita toteuttaa. Lisäksi laitteistosta saatava hyötysuhde ei ole niin hyvä. Nestekierrolla päästään ainoastaan 40–60% hyötysuhde luokkaan. (Halminen ym. 44)

3.4 LTO:n hyötysuhteen laskeminen

Kaikkien LTO- järjestelmien tuloilmanhyötysuhde voidaan laskea seuraavalla kaavalla 33. (Harju 2008, 75)

$$\frac{T_{LTO} - T_u}{T_s - T_u} \quad (33)$$

T_{LTO} = LTO jälkeinen lämpötila (°C)

T_u = Ulostulevan ilman lämpötila (°C)

T_s = Sisääntulevan ilman lämpötila (°C)

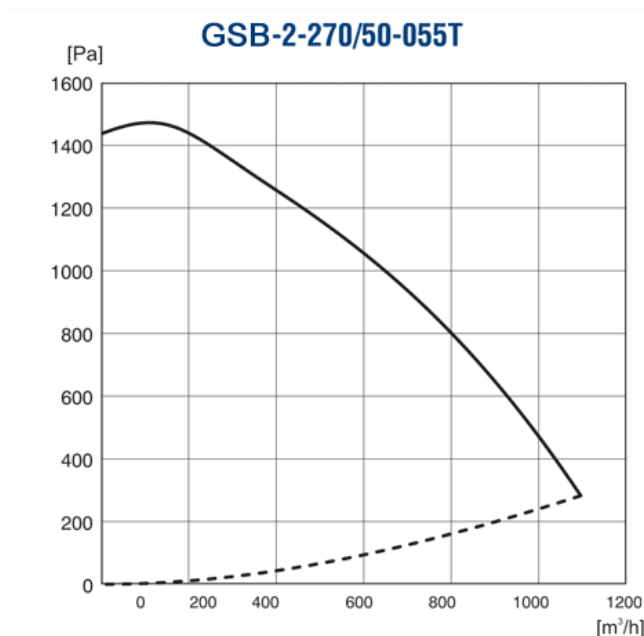
T_j = Jäteilman lämpötila (°C)

Poistoilman hyötysuhde lasketaan kaavalla 34. (Harju 2008, 75)

$$\frac{T_s - T_j}{T_s - T_u} \quad (34)$$

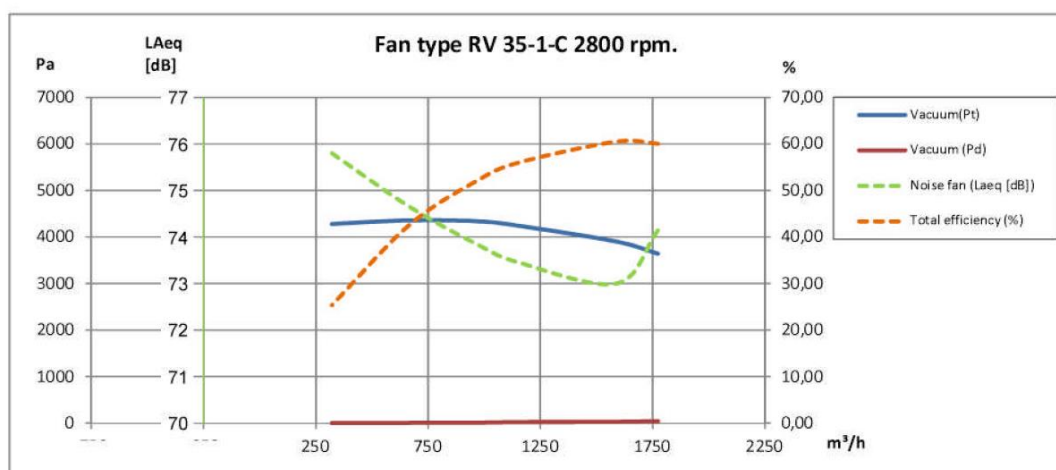
4 Puhaltimen valinta

Puhaltimen valinta on yksi keskeisimmistä kuivurin komponenteista. Valinta vaatii perehtymistä puhalluksesta syntyvien vastapaineiden tunnistamiselle. Vastapainetta syntyy kanavistosta sekä kuivattavasta materiaalista. Puhaltimien tehokäyrien avulla voidaan valita kohteeseen sopiva puhallin, kun tiedetään aiheutuvat vastapaineet suunnitellulla tilavuusvirralla (ks. kuvio 16). Väärällä puhaltimella saatetaan esim. kiinteistössä pilata kokonaan ilmanjako tai tehdashalleissa hitsauskäryjen tehokas poisto. Kuivureissa puolestaan saatetaan pitkittää kuivausaikaa oleellisesti liian heikon paineentuoton takia (Halminen ym. 1994, 52)



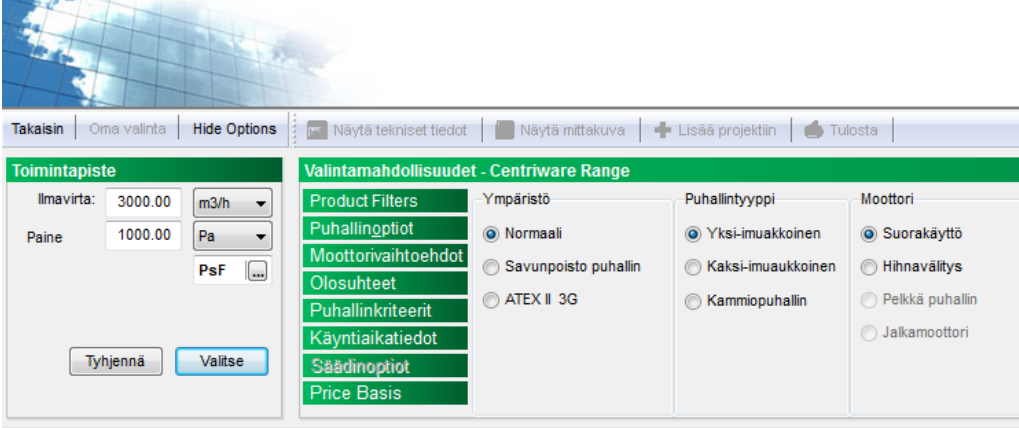
KUVIO 16. Ventur puhaltimen tehokäyrästäön esittely (Ventur Finland ab 2009)

Puhaltimen valmistajat saattavat esittää käyrästönsä graafisesti hiukan eri tavalla, mutta niiden lukutapa on silti käytännössä aivan sama. Toiset esittävät käyrästöllä paineentuoton ja tilavuusvirran lisäksi hyötysuhteen, tehontarpeen sekä puhaltimen aiheuttaman melun. Käyrästä piirretään kaikissa tapauksissa x- ja y-koordinaatistoon, jossa x-akselilla esitellään puhaltimen tilavuusvirta, kun puolestaan y-akselilla kokonaispaineenkorostus (ks. kuvio 17). (Halminen ym. 1994, 52)



KUVIO 17. Ourex puhaltimen tehokäyrästön esittely (Ourex Oy 2014)

Useimmilla puhallin valmistajilla sekä jälleenmyyjillä on saatavilla myös erillisiä puhaltimen mitoitusohjelmistoja, joiden avulla voi valita sopivan puhaltimen nopeasti (ks. kuvio 18).



Valintamahdollisuudet - Centriware Range

Product Filters: Puhallinoptiot, Moottorivaihtoehdot, Olosuhteet, Puhallinkriteerit, Käyntiaik tiedot, Säädinoptiot, Price Basis

Ympäristö: Normaali, Savunpoisto puhallin, ATEX II 3G

Puhallintyyppi: Yksi-imuakkoinen, Kaksi-imuakkoinen, Kammiopuhallin

Moottori: Suorakäyttö, Hihnavälitys, Pelkkä puhallin, Jalkamoottori

Malli	Tuotenumero	Teho %	Pyörimisnopeus (kierrosta/min)	Akseliteho	Nimellisteho	Moottorin runko
Centriware Range						
GTHB-1-031-1-d3-00	-	101	2901 rpm	1.15 kW	1.50 kW	90S
GTHB-1-035-1-d3-00	-	122	2928 rpm	1.94 kW	4.00 kW	112M
GTLB-1-031-1-d3-00	-	101	2901 rpm	1.15 kW	1.50 kW	90S
GTLF-1-035-1-d3-00	-	97	1433 rpm	1.27 kW	1.50 kW	90L
GTLF-1-040-1-d3-00	-	109	1440 rpm	1.90 kW	2.20 kW	100LA

KUVIO 18. Fläktwood fan selector

Puhallin kannattaa aina mitoittaa tarpeeksi suureksi, jotta voidaan varmistua sen riittävydestä. Vääränlainen puhallin valinta lisää oleellisesti energia kulutusta. (Mäkinen & Railio 2003)

4.1 Puhaltimen liitântähäviöt

Puhaltimen liitântähäviö on yhtä tärkeä huomioida suunnittelussa kuin kanavistosta aiheutuva painehäviö. Mikäli puhallin asennetaan huolimattomasti kanavistoon, saattaa siitä aiheutua suuri painehäviö, joka kasvattaa puhaltimen tarvitsemaa ominaissähkötehoa. Tällaisia epäedullisia liitântä tapoja on esitelty liitteessä 3. (Mäkinen P & Railio J 2001, 17-18)

Puhaltimen valinta tehdään valmistajan tarjoamilla mitoitusohjelmilla tai tehokäyräsovelluksilla. Mitoitusohjelmalla on huomattavasti nopeampi tapa löytää oikea puhallin käyttökohteeseen kuin tutkia useimpien mallien eri käyrästä. Ohjelma laskee puhaltimen toimintapisteet sekä pois sulkee puhaltimia joita ei kohteessa voi käyttää. Joissakin ohjelmistoissa voidaan myös huomioida liitântätavan tuoma häviö. Mikäli

liitântähäviöitä ei huomioida ohjelmistossa, tulee ne aina arvioida erikseen. (Mäkinen & Railio 2001, 17-18)

Liitântähäviöiden huomioon jättäminen saattaa pienentää suunnitellussa kanavistos-
sa toteutuvaa tilavuusvirtaa. Mikäli tilavuusvirta heikkenee liitântähäviön takia esim.
10 % suunnitellusta, joudutaan virtausta kasvattamaan. Tämä merkitsee puhaltimen
pyörimisnopeuden muuttamista suuremmaksi. Pyörimistehon kasvattaminen näkyy
puolestaan sähkötehon kasvuna peräti 33 %. (Mäkinen & Railio 2001, 17-18)

4.2 Puhallintyyppit

Puhaltimessa siipipyörien avulla saadaan aikaiseksi ilman liike. Siipipyörän muoto
puolestaan määrittelee puhaltimen ominaisuudet. Puhaltimet jaotellaan siipipyörien
mukaan kolmeen puhallintyyppiin; sekavirta, aksiaalinen sekä keskipakopuhaltimiin.
Näillä kaikilla on omat ominaisuutensa, jotka tulee tietää puhallin tyyppiä valittaessa.
(Halminen ym. 1994, 50)

Sekavirtapuhaltimet ovat usein hihnakäyttöisiä aksiaalis- ja keskipakopuhaltimen
yhdistelmä. Tässä konstruktiossa ei esiinny pienillä virtausnopeuksilla sakkausta. Sii-
piipyörä käyttää hyväkseen keskipako- ja työntövoimaa. Keskipakopuhallin on yleisin
käytetty puhallintyyppi. Puhaltimella on erittäin hyvä paineentuotto suurillakin tila-
vuusvirroilla. Aksiaalispuhaltimessa ilmavirran suunta säilyy puhaltimen akselin suun-
taisena. Puhaltimesta löytyy useita eri kokoja. Aksiaalispuhallin omaa kuitenkin hei-
kon paineentuotto verratessa sitä muihin puhallin tyyppeihin. Niiden yleisin käyttö-
kohde onkin toimia tuulettimena tai kaasujen poistajana. (Halminen ym. 1994, 50-52)

5 Kuivurin lämpövastuksen tehon määrittely

Kuivurin lämmitystehon mitoittamiseen tarvitaan parametrit, näitä ovat tilavuusvirta, virtausnopeus, haluttu lämpötila sekä ilman suhteellinen kosteus. Puhaltimen avulla ilmavirta siirtää lämpöenergiaa samalla jäähdyttäen lämpölähdettä. Lämmitykseen tarvittava energia määrän tarvetta saadaan tiputettua oleellisesti LTO- tekniikan avulla, koska lämpöenergia osittain siirretään tuloilmaan.

Lämmitysteho saadaan laskettua ominaislämpösisällön entalpian avulla tai käyttämällä pelkästään kuivanilmanlämpösisältöä. Molemmissa on huomioitava, että ilman tiheys muuttuu sitä lämmittäessä. Kuivanilman lämpösisältöä on huomattavasti yksinkertaisempi käyttää laskennallisesti kuin ominaislämpösisältöä. Molemmat voidaan myös lukea suoraan Mollierin diagrammista.

6 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka on koneiden toimintoja ohjaava elektroninen laite. Toiminnot muodostuvat määritetyistä parametreista, joita kontrolloidaan ohjattavan logiikan avulla. Tällaisia parametreja on esim. laitteen pois ja päälle kytkentä sekä lämpötilan ohjaus kytkimellä jne. Toiminnallisia funktioita ohjataan logiikan tulojen ja lähtöjen avulla. Laite puolestaan käsittelee antureilta tulevan tiedon ja muuttaa sen ohjelman mukaisesti suoritetuksi toiminnallisuudeksi. Laitteella voidaan näin vaikuttaa ympäristöön erilaisten käyttölaitteiden avulla. Ohjelmoitava logiikka toimii näin ollen koneen ja ihmisen rajapintana. (Oamk 2013, 5)

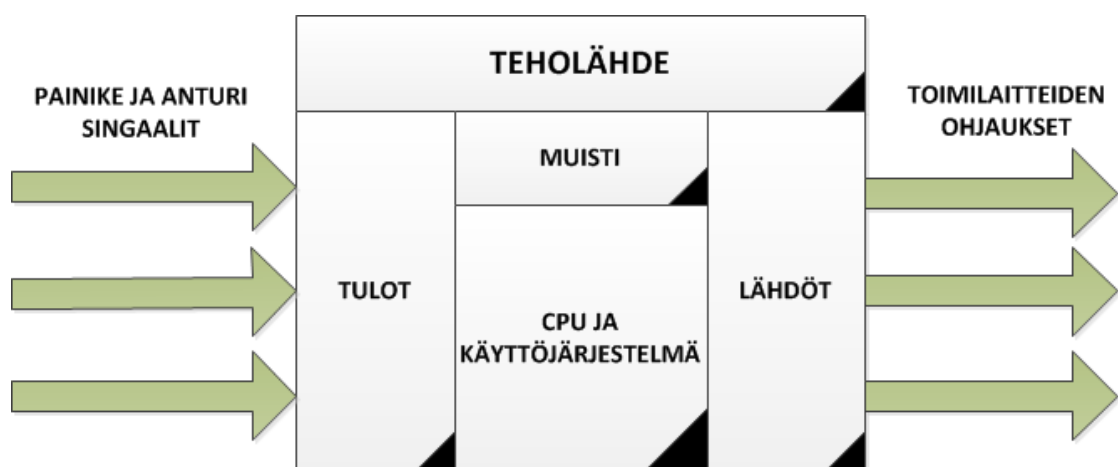
6.1 PLC-järjestelmä

”PLC tulee englanninkielestä sanoista programmable logical controller. Suomeksi käännettynä se tarkoittaa ohjelmoitavaa loogista ohjausjärjestelmää” (Frid & Johnson 2005, 98). PLC- järjestelmiä on useita erimallisia. Suurimmat tunnetut valmistajat ovat Omron, Siemens sekä Mitsubishi. Yksittäisiä koneita kontrolloidaan pääsääntöisesti yksinkertaisilla ohjausjärjestelmillä, joissa saattaa olla kymmeniä tuloja sekä lähtöä, kun taas kehittyneimmillä ohjataan kokonaisia tehdaslaitteistojen toimintoja kymmenientuhansien lähtöjen avulla. PLC- järjestelmän löytää usein kytkettynä pölysuojaiseen laitekaappiin. Kaappi sisältää ohjausjärjestelmän lisäksi usein myös seuraavanlaisia komponentteja. (Frid & Johnsson 2005, 99-98)

- varokkeita
- kelakytkimiä
- kytkimiä
- pääkytkimen
- merkkilamppuja
- muuntajan
- riviliittimiä
- taajuusmuuttajia
- valvontapaneelin
- johdonsuojia

PLC- järjestelmän pääosat ovat lähtöyksikkö, tuloyksikkö, flash- muisti, prosessori, sekä tiedonsiirtoportti. Painikkeiden ja anturien signaalit otetaan vastaan tuloyksikössä. Tulosignaalit käsitellään puolestaan prosessorin avulla, jossa ne muutetaan lähtösignaaleiksi. Lähdöt puolestaan liitetään ohjaaviin lamppeihin, kelakytkimiin, sireeneihin ja magneettiventtiileihin. Tietokone tai ohjelmointiyksikkö liitetään tiedonsiirtoporttiin, jonka kautta järjestelmään voidaan ajaa ohjelmia. (Frid & Johnsson 2005, 100)

Tulojen ja lähtöjen määrä PLC- järjestelmässä muodostuu niiden yhteissumman mukaan. ”PLC:n tehtävänä ei ole ainoastaan laitteiston ohjaaminen. PLC:tä käytetään myös laitteiston valvontaan ja tarkkailuun sekä turvallisuuden luomiseen.” (Frid & Johnsson 2005, 100-101) Sen avulla onkin erittäin helppo saada tietoa laitteen häiriö tiedoista sekä käyttöasteesta, tai kerätä prosessissa tapahtuvaa tietoa muistiin jne. Kuviossa 19 on esiteltyä ohjelmoivan logiikan perusrakenne.

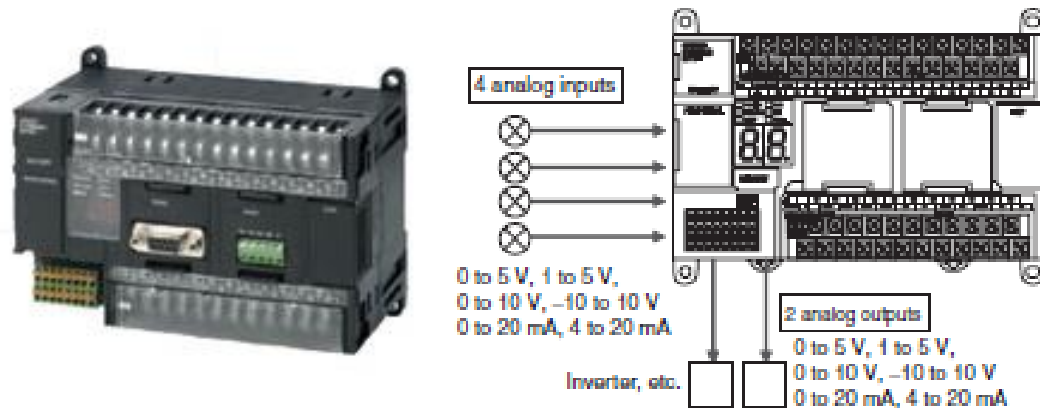


KUVIO 19. Ohjelmoitavan logiikan lohkokkaavio (Oamk 2013, 6)

Sisäisiä toimintoja ohjataan logiikassa mikroprosessorin sekä käyttöjärjestelmän avulla. Ne pitävät yllä viestiliikennettä logiikan ja ohjelmointi- sekä oheislaitteiden välillä. Suurissa logiikoissa tehtävät on jaettu useamman prosessorin kesken. Jaottelun avulla on mahdollista toteuttaa nopeaa ohjausta, myös laajemmalla toiminta skaalalla. Logiikan käyttöjärjestelmä on tallennettu ROM- muistiin. (Oamk 2013, 5)

Logiikan tehtävät määritellään sovellusohjelman avulla. Ohjelma talletetaan RAM- ohjelmamuistiin, joka on yleensä paristovarmennettua muistia. Paristovarmenteella pyritään ohjelma pitämään muistissa myös mahdollisten sähkökatkojen ajan. Käytössä olevan ohjelmamuistin koko on yksi rajoittava tekijä sovellusohjelman pituudessa. Logiikka koostuu lisäksi tuloihin ja lähtöihin liittyviin muistialueisiin sekä ohjelmassa

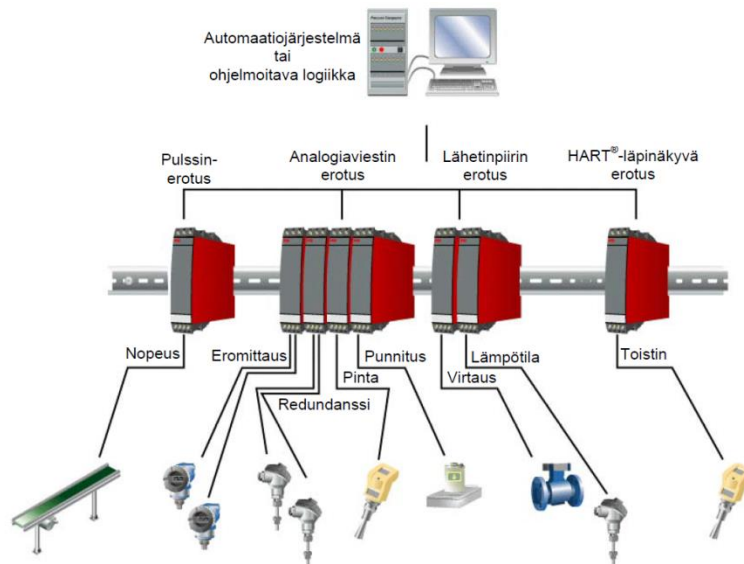
käytettäviin apumuisteihin, mittaustietojen tallennukseen. Muistialueita käytetään, myös laitteiden välillä tapahtuviin tiedonsiirtoihin (ks. kuvio 20). (Oamk 2013, 5)



KUVIO 20. CP1H ohjelmoitava logiikka (Industrial 2013)

6.2 Tulot ja lähdöt eli I/O

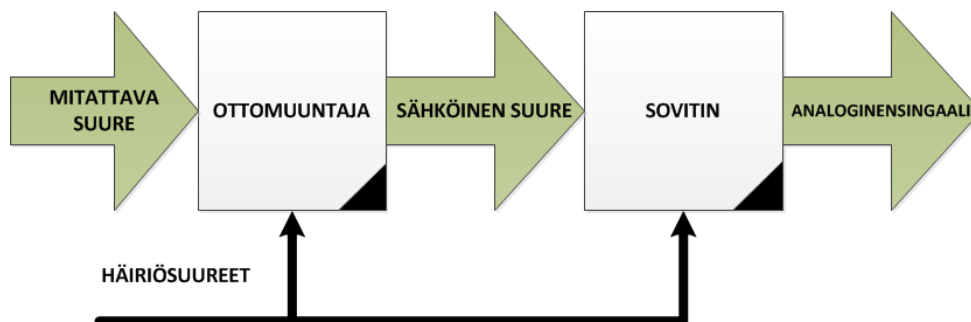
Tulot sekä lähdöt ilmaistaan lyhenteellä I/O. Ne ovat rinnakkaisia bittiryhmiä eli tavuja ja sanoja. Tavun sisältää kahdeksan rinnakkaista bittiä ja sen tunnus on B. Sanan sisältää puolestaan 16 bittiä, sen tunnus on W. (Keräinen, Kärkkäinen, Metso & Puttonen 2001, 249) Tulot välittävät logiikalle sovitettua jännitetietoa antureilta, tunnistimilta sekä kytkimiltä keskusyksikölle. (Fonselius, Pekkola, Selosmaa, Ström & Välimaa. 1996, 107). Tulot ja lähdöt jakautuvat analogisiin sekä digitaalisiin toiminta alueisiin. Tulo- ja lähtöyksiköt sisältävät usein optoerottimen, jonka avulla toteutetaan galvaaninen erotus. ”Galvaanisella erottamisella tarkoitetaan kahden tai useamman viestin erottamista toisistaan” (Sks automaatio Oy 2007, 1). Häiriöitä pyritään poistamaan mittasignaalista erotuksen avulla (ks. kuvio 21).



KUVIO 21. Galvaaninen erotin (Sks automaatio Oy 2007, 2)

6.2.1 Anturit

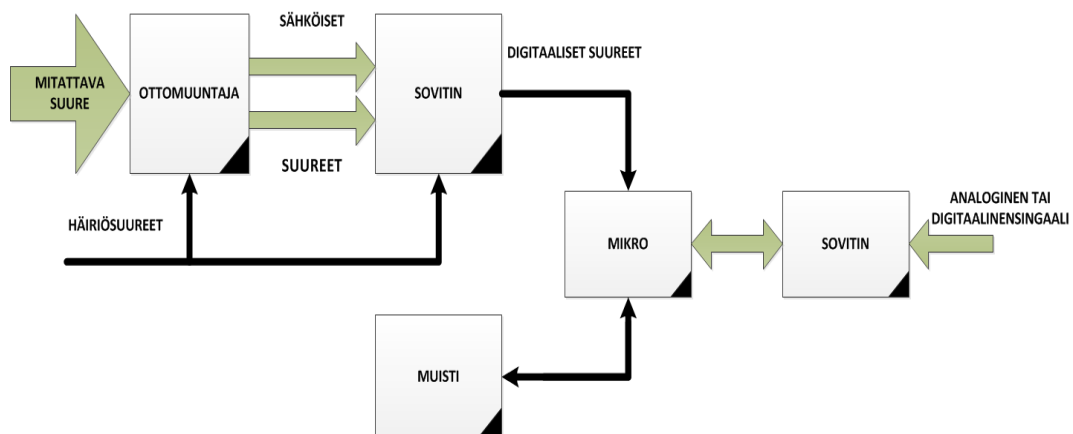
Anturi muuntaa mitattavan suureen pneumaattiseksi tai sähköiseksi impulssiksi. Esimerkiksi platinalämpötila-anturissa platinalangan resistanssi kasvaa lämpötilan nousun myötä, koska sähkövirta kulkee langan kautta. Vakiovirralla langan yli mitattava jännite kasvaa resistanssin vuoksi. Saatu jännitetieto viedään kaapelin kautta lähettimelle. Mittausviesti on pääsääntöisesti 4-20mA anturista riippumatta. Lähettimellä tieto muunnetaan standardiviestiksi. Lähetin voidaan rakentaa, myös kiinteästi anturin yhteyteen. Kuviossa 22 on esiteltyä perinteisen anturin toimintaperiaate. (Fonselius ym. 1996, 22)



KUVIO 22. Anturin periaatekaavio (Keräinen ym. 2001, 168)

6.2.2 Älykäs anturi

Anturi joka pystyy parantamaan signaalin laatua, kutsutaan älykkääksi anturiksi. Mikroprosessori mahdollistaa älykkään anturin erottumisen tavallisista antureista tuomalla sille parempia etuja. Konkreettisina etuina voidaan mainita esim. mahdollisuus säätää mittausalueita ohjelmallisesti, jolloin mittausvirheet pienenevät. Älykkääseen anturiin voidaan myös siirtää halutessaan digitaalista tietoa. Älykkään anturin ongelma on kuitenkin digitaalisen standardiviestin puute. Ne lähettävät edelleen analogista viestiä (ks. kuvio 23). (Keräinen ym. 2001, 170)



KUVIO 23. Älykkään anturin periaatekaavio (Kääriäinen 2001, 170)

6.2.3 Reed-kytkin

Reed-kytkin toimii kestopagneetin avulla. Kosketin sulkeutuu magneettikentän vaikutuksesta. Kytkentä etäisyys on yleensä 5 – 10 mm luokkaa ja katkaisuetäisyys 10–15 mm luokkaa. Reed-kytkimiä käytetään paljon pneumatiikkasynterien päätyasentojen tilatietojen tunnistamisessa. (Keräinen ym. 2001, 185)

6.3 Ohjelmoitavan logiikan valinta

Logiikan valintaan vaikuttaa ennen kaikkea I/O-määrät sekä toimintojen monimutkaisuus, kytkettävien yksiköiden tyyppi ja määrä sekä logiikalta vaadittava nopeus. Logiikan valinta tapahtuu sitten, että aluksi on selvitettävä kuinka paljon ohjattava laite tarvitsee analogisia sekä binäärisiä tuloja ja lähtöjä. I/O-määrät määrittävätkin logiikan kokoluokan. (Fonselius ym. 1996, 115.)

Nykypäivän logiikoiden käskykanta on monipuolistunut, mutta on kuitenkin syytä selvittää löytyykö logiikassa käskyä millä sen voi toteuttaa. ”Esimerkiksi säätöön ja askellusohjeikseen liittyvät käskyt eivät aina ole pienten logiikoiden vakiokäskyjä.” (Fonselius ym. 1996, 115)

6.4 Ohjelmointi

Ohjelmointi logiikalle tehdään tietokonepohjaisella ohjelmalla. Tällaisia ohjelmia ovat esim. Cx-programmer, Syswin sekä Simatic step 7- micro/win. Standardi IEC 1131-3 määrittää viisi ohjelmointikieltä ohjelmoitaville logiikoille.

- Logiikkakaavio-ohjelmointi
- Käskylista

- Strukturoituteksti
- Sekvenssiohjausohjelmointi
- Relekaavio-ohjelmointi

Harvat ohjelmat täysin noudattavat standardia kirjaimellisesti. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ohjelmat poikkeavat täysin toisistaan, vaan yhden ohjelman opettelu riittää muidenkin ohjelmien nopeaan omaksumiseen. Ohjelmointi toteutetaan käskylistana, logiikkakaaviona tai tikapuukaaviona. Ohjelma luodaan ja tallennetaan tietokonepohjaisella ohjelmalla, josta se sarjaportin kautta siirretään logiikanmuistiin (Oamk 2013, 7). Ohjelman virheet havaitaan parhaiten testaamalla luotua ohjelmaa fyysisesti itse laitteistolla, vaikka ohjelmistoista löytyy usein nykyään simulointi työkalu, jonka avulla voidaan tarkastella ohjelman toimivuutta. Simulointi ei kuitenkaan paljasta mahdollisia ajatusvirheitä. Virheet paljastuvat usein vasta laitteen käyttöönotossa, kun laitteisto ei toimi halutulla tavalla.

7 Opinnäytetyön toteutus

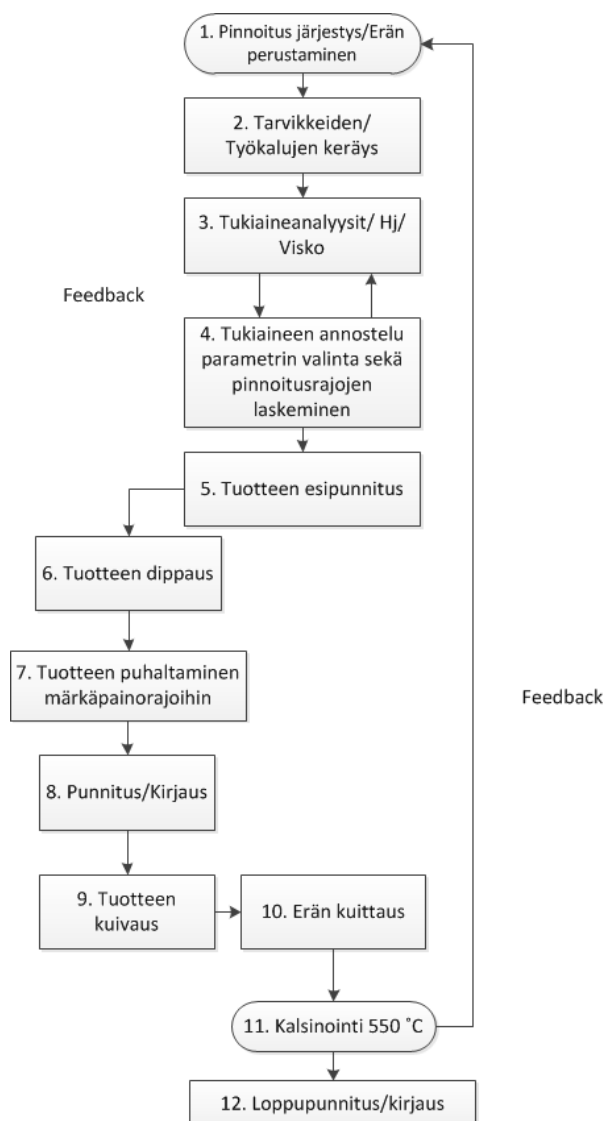
Opinnäytetyö aloitettiin aluksi kartoittamalla kuorma-autokatalysaattoreiden nykyinen kuivaus- sekä valmistusprosessi. Selvitystyöllä pyrittiin hahmottamaan tämän hetkiset ongelmakohdat. Kartoituksen tehtävä oli toimia kuivurin suunnittelun pohjana. Lisäksi suunnittelun tukena hyödynnettiin yrityksestä löytyviä muita kuivaimalleja. Kuivureiden analysointi onkin pyritty tarkastelemaan teoreettisen näkökulman kautta. Tarkastelun tarkoituksena oli poistaa suunnittelusta virheitä. Kuivurin toiminnallisten funktioiden suunnittelun lähtökohtana toimivat empiiriset tutkimukset, joiden avulla kerättiin ylös kuivattavista tuotteista valmistusaikoja, käytettyjä kuivausparametreja sekä niissä ilmeneviä ongelmia. Kuivurin rakenteellinen suunnittelu toteutettiin Solidworks ohjelmalla, kun puolestaan toiminnalliset funktiot suunniteltiin Cx-programmerilla.

8 Kuorma-autokatalysaattori kennon nykyinen tuotanto

Tässä kappaleessa käymme kuorma-autokatalysaattorin tuotantoprosessia läpi. Tarastelu on rajattu pinnoitus- sekä kuivausprosessiin. Ennen pinnoitusprosessin aloittamista operaattori laskee pinnoitusrajat työohjeesta saatavien tietojen mukaan kaavan 26 mukaisesti sekä punnitsee kennojen lähtöpainot.

$$Tukiaine\ määrä\ (g) = \frac{Tavote\left(\frac{g}{m^2}\right) * Kennon(m^2)}{Tukiaineen\ (HJ\%)} \quad (26)$$

Tukiaineen rajat lasketaan aina kuiva-aine määrän perusteella g/m² kohden, tällöin liuoksen HJ% (hehkutusjäännös prosentti) vaikuttaa oleellisesti kennoon pinnoitettavaan märkäpainorajaan. Pinnoitusraja muodostuu aina minimi sekä maksimi arvosta, jonka välille märkäpainon tulee asettua. Tuote pinnoitetaan upottamalla se kokonaan tukiaineeseen. Tämän jälkeen ylimääräinen osuus puhalletaan kennosta pois paineilmalla. Kennon märkäpainon ollessa rajojen sisällä laitetaan tuote kuivumaan kuivuriin. Kuviossa 24 on kuvattuna prosessin kulku vuokaaviossa.



KUVIO 24. Kuorma-autokatalysaattoreiden tuotanto prosessin kulkukaavio

Pinnoitusaineena käytetään pääsääntöisesti alumiinioksidipohjaista tukiainetta, vaihtoehtoisena raaka-aineena voidaan myös käyttää tuotteen spesifikaatiosta riippuen ceriumoksidia, piioksidia, zirkoniumoksidia tai berylliumoksidia sekä muita metalliseosoksideja. Tukiaineliuokseen voidaan valmistusvaiheessa tuotantotavasta riippuen lisätä nestemäistä jalometallia kuten platinaa, palladiumia tai rodiumia tai näiden kaikkien yhdistelmiä. Jalometalli voidaan lisätä oksidipinnoitettuun kennoon myös jälkikäteen imeyttämällä.

Ennen pinnoituksen aloittamista tukiaineelle tehdään analyysit, jossa mitataan liuoksen viskositeetti sekä HJ %. Analyysin perusteella operaattori lisää tarvittaessa ennen pinnoitusta tislattua prosessivettä, mikäli hehkutusjäännös on liian korkea. Pinnoitusparametrit valinnat tehdään käytännössä aina edellisten pinnoituskokemusten mukaan, tällöin viskositeetin huomioiminen unohtuu. Veden lisäämisen tavoite onkin:

- Laskea viskositeettia
- Nopeutta ja helpottaa pinnoitus prosessia

Veden lisääminen aiheuttaa seuraavanlaisia muutoksia pinnoitusprosessissa:

- Hehkutusjäännös prosenttiosuus laskee
- Pinnoitusrajat muuttuvat
- Märkäpainorajat nousevat

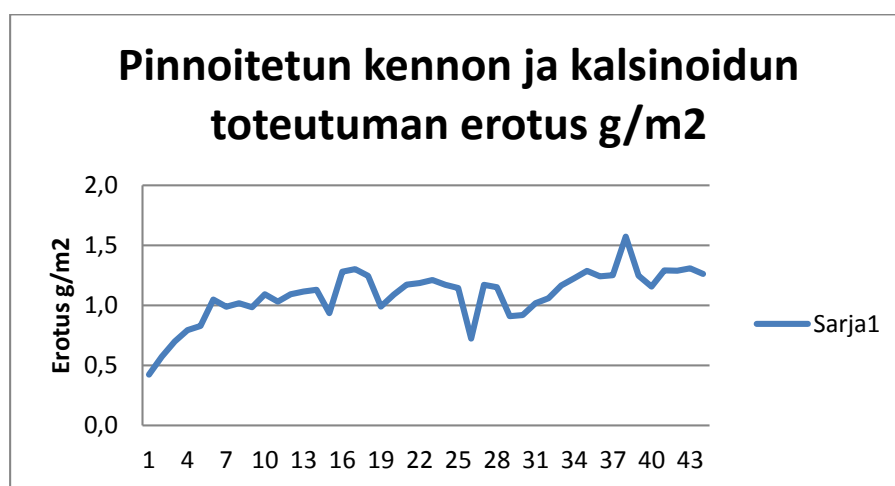
Mikäli tukiaineen hehkutusjäännös prosenttia lasketaan liikaa, saattaa viskositeetti puolestaan tippua liian alhaiseksi. Yleisesti ottaen operaattorit tuijottavat liikaa hehkutusjäännös prosenttia, joka vaikuttaa pinnoitusrajoihin, kun puolestaan viskositeetti pinnoitettavuuteen. Alhainen viskositeetti saattaa aiheuttaa seuraavanlaisia ongelmia:

- Tukiaineen valunta ja liikkuvuus kennossa herkistyy liikaa
- Kuivurissa kennon tukkeutumisvaara lisääntyy
- Pinnoite levittäytyy kennoon epätasaisesti
- Tuotteen vastapaine kasvaa
- Pinnoitus vaikeutuu
- Märkäpaine menee liian helposti alarajoihin tai jopa alle

Viskositeetin ollessa puolestaan liian korkea pinnoitusprosessi hidastuu ja hankaloituu oleellisesti:

- Koheesio, adheesio sekä leikkaus- ja pintajännitysenergiat vastustavat nesteen virtausta kennon sisällä
- Rajoihin puhaltamiseen kuluu aikaa huomattavan kauan
- Jatkuvan ilmavirtauksen takia tukiaine alkaa kuivua
- Kuivuminen näkyy kennon märkäpainossa syntyvänä virhemarginaalina.

Märkäpainon virhemarginaali havaitaan esim. 43 kennon testiotoksessa, jossa vertailaan märkäpainojen ja kalsinoitujen kennojen tukiainemäärien toteutumia (ks. kuvio 25). Otoksessa yhden kennon puhaltaminen rajoihin kesti peräti 5 min. Ero voi myös kertaantua, mikäli pinnoitettavan tukiaineen HJ % on oletettua korkeampi. Tämän on kuitenkin pyritty pois sulkemaan tarkistamalla HJ % aina ennen pinnoittamista ottamalla tukiaineesta analyysseja, joiden perusteella saadaan laskettua tukiaineen sen hetkinen HJ %.



KUVIO 25. Märkäpainon ja kalsinoidun toteutuman ero g/m².

Kuivaamisen tärkein tehtävä on poistaa pinnoitetusta tukiaineesta ylimääräinen vesi. Veden haihduttua pinnoitetta voidaan verrata kuivuneeseen vesiliukoiseen maaliin,

joka voidaan pestä vedellä folion pinnasta pois. Lopullinen luja molekyylisidos pinnoitteeseen saadaan vasta kuivauksen jälkeisessä kalsinoinnissa, jossa pinnoite poltetaan folioon kiinni poistamalla siitä kidevesi sekä muut mahdolliset epäpuhtaudet 550 °C lämpötilassa. Tämän jälkeen pinnoite ei lähde foliosta edes pesemällä. Pinnoite pitää kuivata kuivurissa kunnolla, koska on vaarana sen kiehuminen kalsinoinnissa. Kalsinoinnin lämpötila nostetaan pääsääntöisesti 20°C:ta aina 550°C:seen, jossa tuotetta pidetään yhdestä tunnista aina neljään tuntiin asti, riippuen siitä onko kyseessä välikalsinointi vai loppukalsinointi. Pinnoituskertoja uusitaan korkeintaan kolme kertaa riippuen tuotteen vaatimista rajoista. Esim. 50 g/m² on mahdotonta pinnoittaa yhdellä kerroksella kennoon, vaan tällaisissa tapauksissa joudutaan määrää jakamaan useammalle pinnoitus kerralle. Jokaisen pinnoituskerran jälkeen tuote aina kalsinoidaan, viimeinen kalsinointi on aina loppukalsinointi.

8.1 Kuorma-autokatalysaattoreiden nykyinen kuivaus

Kuorma-autokatalysaattorit kuivataan ilmanvaihtokoneelta muistuttavalla massiivisella kuivurilla (ks. kuvio 26). Kuivurissa on kolme kuivauskaappia, joista kaksi on jatkuvasti käytössä suurien sarjojen teossa. Jokaisella kaapilla on oma puhallin sekä kanavanlämmitin. Puhaltimien tuloilma otetaan suoraan huoneilmasta nestekierteisen lämmönsiirtimen kautta. Vesiglykolin virratessa siirretään lämpöä poisto- sekä tuloilman välillä. Kanavisto on eristetty energia tehokkuuden lisäämiseksi. Kuivauskaappien pakotetut konvektiovirtaukset on toteutettu 48 kW:n lämmityspattereilla sekä 11 kW:n keskipakopuhaltimilla. Kuivauslaitteiston kanavisto on eristetty 90 mm vuorivillalla. Operaattorilla ei ole mahdollisuutta seurata kanavistossa vallitsevaa virtausnopeutta millään tavalla, mutta virtausvoimakkuutta voidaan kuitenkin säätää kiertopeltiä avaamalla, niin sanotun by pass säädöllä. Kuivauskaapeille tuleva konvektiovirtaus on lämpötilaltaan 80°C.



KUVIO 26. Kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauslaitteisto takaapäin.

Kuivauskaapin koko on pieni 690x560x370 mm, se onkin aikoinaan suunniteltu pienkatalysaattoreita varten. Kaappia ei ole eristetty, vaan se on rakennettu muovilevyistä, jolloin kuivausenergiaa hävitään väistämättä johtumisen takia. Kaappiin ei mahdu kuin yksi halkaisijaltaan 334 mm oleva kuorma-autokatalysaattori. Kuivumisprosessin seuranta on toteutettu mittaamalla tulevan ja lähtevän ilman lämpötilaa. Kenno tulkitaan kuivuneeksi, kun näiden antureiden ilmoittama lämpötilaero on noin 4°C. Tässä tulkinnassa on kuitenkin vuorokohtaisia eroja, toiset saattavat pitää 3- 2°C lämpötilaneroon asti (ks. kuvio 27).



KUVIO 27. Kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauskaappi

Kuivurin kanavistoon suunniteltu tilavuusvirta on noin $2880 \text{ m}^3/\text{h}$, koska kanaviston koko on 315 mm, tulisi putkiston virtausnopeuden tällöin olla 10 m/s. Taajuusmuuntajalta havaitaan, että puhaltimet toimivat täysillä, mutta silti poistokanavasta mitattu virtausvoimakkuus on vain 4,5 m/s. Koska laitteessa itsessään ei ole visuaalisesti toteutettua virtausvoimakkuuden mittausta, jouduttiin se tässä työssä erikseen mittaamaan Swema air 30 termoaanemometrillä. Mittaus suoritettiin kuivauskaapilta lähtevästä poistokanavaan poratusta reiästä (ks. kuvio 28).



KUVIO 28. Poistokanavaan porattu mittausreikä sekä mittauslaite.

Yleisesti tarkastellessa kuivauslaitteessa on melko paljon vedetty kanavaa usealla mutkalla, joista muodostuu turhaa vastapainetta sekä laiterakennuskustannuksia.

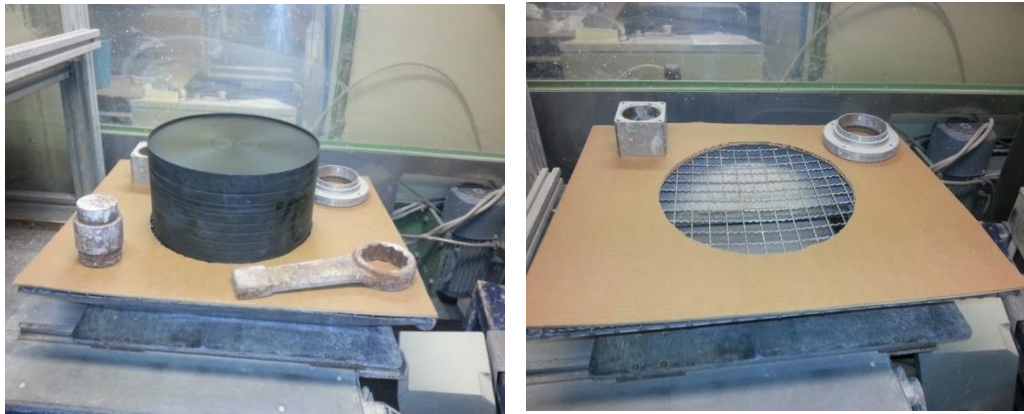
Lisäksi puhallin on kytketty suoraan mutkaiseen t-haaraan, joka on myös hyvin epäedullinen vaihtoehto. T-haaran avulla toteutetaan virtausnopeuden säätö ns. by pass ohituksen avulla. (ks. kuvio 29.)



KUVIO 29. Puhaltimen by pass säätö sekä kanavavedot.

Virtauksen by pass säätöä ei suositella kuin pienille virtausnopeuksille. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että säätömenetelmässä hävitään tehoa, joka kuluu palautusilmavirran tilavuusvirranhäviöön (Halminen ym. 1994, 55). Lisäksi kanavanlämmittimet on asennettu suoraan puhaltimien taakse, jolloin puhaltimien tulee olla kuumuutta kestäviä. Liian lähelle puhaltimia asennetut lämmityspatterit johtaa väistämättä liittähäviön muodostumiseen.

Kuorma-autokatalysaattorin kuivausritilä ulkoisesti tarkasteltuna on huono, sillä siinä ei virtausvuotoa juuri estetä. Kuviossa 30 on esiteltyä kuivauskaapin alusta sekä siinä olevia ohivirtausta estäviä rakennelmia. Kuten kuviosta voidaan havaita, on pahvin päälle jouduttu laittamaan painoja pitämään se paikoillaan. Pahvin palanen on edullinen ratkaisu, mutta energiaa ajatellessa kiinteä tiivistiasennettava pelti tulisi halvemmaksi vaihtoehdoksi.



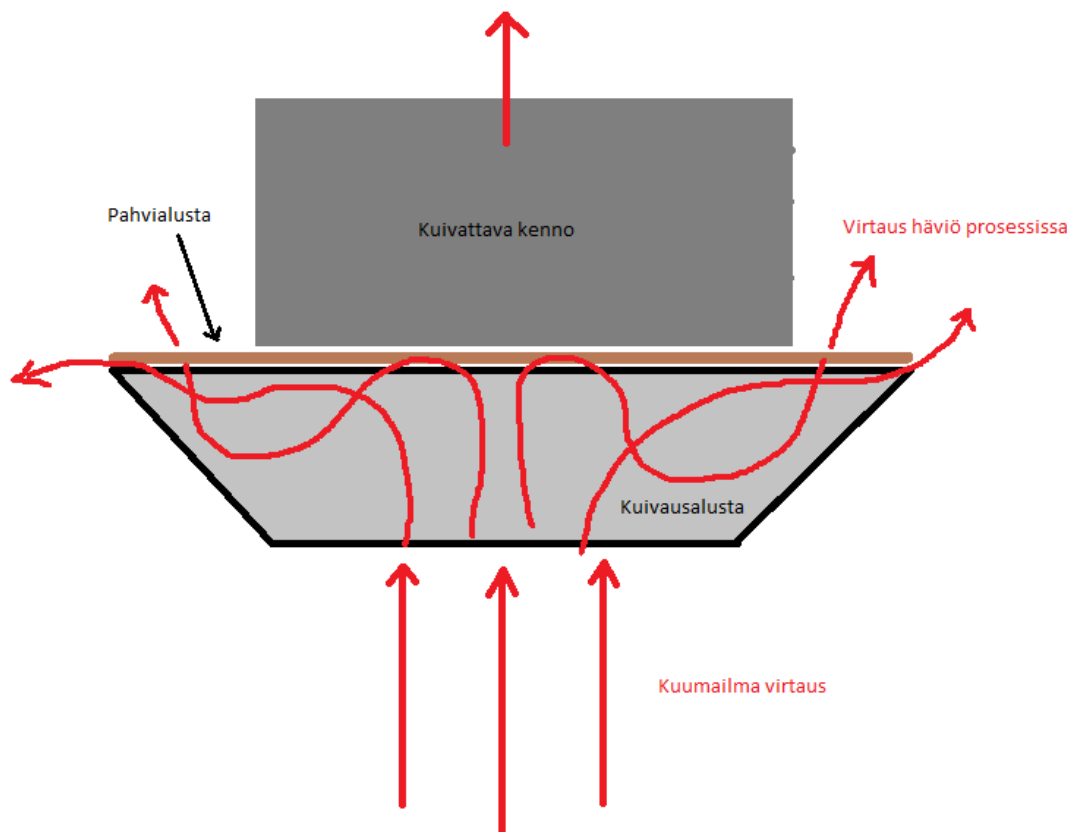
KUVIO 30. Kuorma-autokatalysaattori ja kuivausalusta

Samaa tekniikkaa on käytetty muidenkin tuotteiden kuivauksessa, kuten kuviossa 31 on punaisilla ympyröillä havaittavissa.



KUVIO 31. Tekniikka on käytössä myös muiden tuotteiden kuivauksessa.

Tarkastellessa kuivausalustaa, sen sisäiset muodot ohjaavat ilmavirtaa osittain poiskennosta. Kennon ympärillä oleva pahvipala ei juuri estä ilmavirtaa kulkemasta ohitse, vaan kuivausprosessissa hävitään ilmavirran tuomaa energiaa vaikutusta kosteuden poistossa. Ilmavirta pyrkii aina etsimään reitin mistä helpoiten pääsee pois. Tämä on havainnollistettu kuviossa 32.



KUVIO 32. Virtaus vuotojen hahmottaminen

9 Yrityksen muiden kuivauslaitteiden arviointi

Edellisessä kappaleessa käytiin läpi kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauslaitetta. Yrityksestä löytyy myös kaksi muuta kuivuria, jotka on suunniteltu eri tuotteiden tekoprosessia varten. Scr-tilan kuivuri, joka on suunniteltu diesel katalysaattoreiden valmistusta varten sekä isojen kennojen kuivuri, joka on suunniteltu puolestaan teollisuuskatalysaattoreiden kuivaukseen. Tässä kappaleessa arvioidaan näiden laitteiden ominaisuuksia.

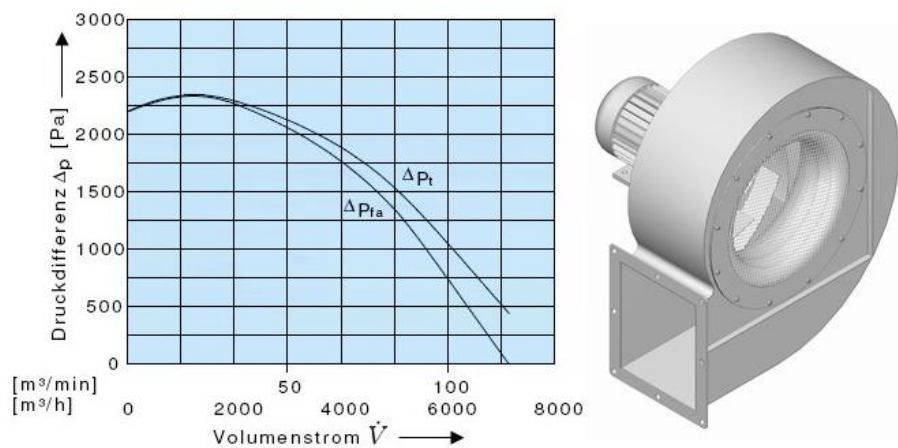
9.1 Scr-tilan kuivurin esittely ja arviointi

Scr- kuivuri on suunniteltu diesel katalysaattoreiden kuivausta varten. Kuivurin Kuivauskammio on erittäin tilava, 1000x600x600 mm. Kuivurin lämpöenergia tuotetaan 60 kW:n kanavalämmittimellä, joka on asennettu erilliseen kytkentäkoppaan. Kytkentäkoppaa jäähdytetään erillisellä jäähdytyspuhaltimella. Kanaviston koko 400 mm ja tulokanava sekä kuivauskammio on eristetty tukemaan lämmitysenergiaa. Poistoilmaan menevää lämpöä ei kuitenkaan taltioida mitenkään talteen, jolloin energiaa hävitään prosessin poistoilman mukana.

Kuivurin kanaviston virtausnopeuden mittaus on toteutettu virtausanturilla. Kuivuri pysyy nostamaan virtauksen lämpötilan 75°C:een virtausnopeuden ollessa 10 m/s. Konvektiovirtaus aikaan saadaan kahdella 3 kW:n Karl-kleinin keskipakopuhaltimella. Toinen puhaltimista on asennettu poistokanavaan ja toinen tulokanavaan. Tuloilma otetaan suoraan huoneilmasta. Kuviossa 33 on esiteltyinä kuivurin puhaltimien tekniset tiedot.

Typ DNG 13-120

Volumenstrom	max. 7150	m ³ /h
Druckdifferenz P _{fa}	max. 2200	Pa
Motornennleistung	3,000	kW
Nennspannung	Δ / Y 230/400	V
Nennstrom	11,5/6,7	A
Nennzahl	2850	min/™
Frequenz	50	Hz
Schutzart IP	55	
Schalldruckpegel	88	dB (A)
Gewicht	ca. 65	kg



KUVIO 33. Scr-tilan kuivurin tekniset tiedot (Karl-klein 2013)

Tarkastellessa puhaltimen tehokäyrää havaitaan, että kuivurin puhallin pystyy tuottamaan esim. 4523 m³/h tilavuusvirralla 1500 Pa paineenkorostuksen. Sarjaan kytkeillä puhaltimilla paineentuotto paranee 3000 Pa (ks. kuvio 34).



KUVIO 34. Tulo- ja poistopuhaltimet

Rakenteeltaan Scr- kuivuri vie vähän lattia tilaa, mutta sen layout siirrettävyys on tehty hankalaksi. Puhaltimet on kiinnitetty seinään, minkä johdosta laitteen sijoittelu on rajattu erittäin paljon. Lisäksi laitteiston kuivauskammion luukku pitää avata mekaanisesti käsin, jonka takia luukun käsittely on erittäin raskasta, rinnastettuna kokonaiseen työpäivään. Kuivauskammion korkeutta ei ole mitenkään hyödynnetty, vaan tuotteita kuivataan yhdellä tasolla (ks. kuvio 35).

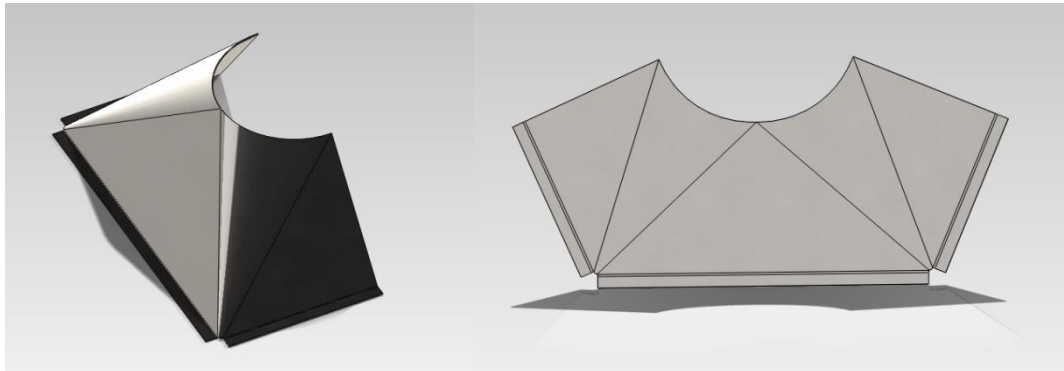


KUVIO 35. SCR-kuivuri

Kuivurin kuivauskammio muodostaa poistokanavan kanssa äkillisen supistumisen mikä aiheuttaa 24 Pa painehäviön suurilla virtausnopeuksilla. Lisäksi kanaviston mutkat sekä kanavanlämmittin aiheuttaa painehäviötä (ks. taulukko 2). Taulukon tulokset on laskettu liitteessä 17. Kuivurin kanavistossa painehäviötä muodostuu 43 % äkillisistä geometrisissä konstruktio muutoksista. Kammion ja poistoputkien liitântä voitaisiin toteuttaa esim. huuvan kaltaisella diffusorilla, jolloin painehäviöksi muodostuisi vain 3,8 Pa (ks. kuvio 36). Lisäksi puhaltimen kytkennässä tulisi myös huomioida liitântähäviöiden syntyminen. Hyvänä säätönä puhaltimelle voidaan pitää 500 mm vapaata tilaa, ennen mutkia ja esteitä. Scr- kuivurissa todennäköisesti aiheutuu puhaltimien liitântähäviöiden takia myös sähkötehon kasvua.

TAULUKKO 2. Scr-kuivurin painehäviöiden muodostuminen

Kanavaosassa	Painehäviö (Pa)
Äkillinen supistuminen	24
Mutkat 3 kpl:ta	54
Äkillinen 90° mutka	90
Suora kanava	9,04
Diffusori	5,4
Lämmityspatteri	80
Yht:	262,44



KUVIO 36. Cad-malli huvan puolikkaasta.

9.2 Isojen kennojen pinnoituspaikan kuivurin esittely ja arviointi

Isojen kennojen kuivuri on suunniteltu halkaisijaltaan 500-1000 mm teollisuuskatalysaattoreille. Kuivurin puhaltimina toimivat neljä 750 W:set PR1-malliset keskipakopuhaltimet. Puhaltimien tuottamaan virtausnopeutta ei mitata ollenkaan. Lämmitysenergia on toteutettu neljällä seitsemän kW:n kanavanlämmittimillä, jotka nostavat kuivurin konventiovirtauksen lämpötilan 54°C:een. Kanavisto on eristetty 50 mm villalla sekä kammio 19 mm solukumilla, mutta poistokanavaan menevää lämpöenergiaa ei kuitenkaan taltioida mitenkään talteen. Tuotteiden kuivausaika on todella pitkä suhteutettuna kappale määrään, yhden tuotteen kuivaaminen kestää noin 30 min. Kuivauskammioon mahtuu kerralla vain yksi kenno. Kuivuri soveltuu geometrialtaan neliöiden sekä pyöreiden kennojen kuivaukseen, vaihdettavan jigien ansiosta (ks. kuvio 37).



KUVIO 37. Teollisuuskatalysaattoreista ja kuivausjigistä

9.3 Tuotteiden valmistus- ja kuivausajat

Tuotteiden valmistusaikoja mitattiin työssä aivan tavallisella sekuntikellolla (ks. liite 4). Tuotteiden pinnoitus- ja kuivausajan eroavaisuuden vuoksi kuivurin eteen muodostuu nopeasti puskuria (ks. kuvio 38).



KUVIO 38. Kuivaus kerää kuorma-autokatalysaattoreita puskuriin.

Kuorma-autokatalysaattori kennossa oleva kosteus siirtyy kuivauskaapissa konvektiovirtaukseen, joka vie sen kuivurista pois. Mollierin diagrammin sekä matemaattisten yhtälöiden perusteella voidaan laskea kuivauksessa poistettava vesimäärä kennosta, lisäksi niiden perusteella voidaan tarkastella teoreettisia kuivausaikoja. Tuotteen kuivausaikojen tulokset on esiteltyä liitteessä 5. Teoreettiset kuivausajat eivät tosin ota kantaa lämpöjohtumisille, ohivirtaukselle ja muille häviöille joita kuivausenergiälle tapahtuu.

Tuotteiden kuivausaikojen konkreettisista mittauksista sekä teoreettisesti lasketuista ajoista havaitaan, etteivät ne tässä tapauksessa täsmää. Tämä saattaa osittain johtua energiahäviöiden ohella myös pinnoitusaineen kemiallisesta koostumuksesta. Kemiallisesti sidotun veden poistaminen vaatii paljon energiaa. Tukiaineen valmistusvaiheessa lisätään liuokseen esim. erittäin vahvaa typpihappoa. Lisäksi laskennassa käytetty virtausnopeudet eivät välttämättä täysin toteudu kennon läpivirtauksessa.

9.4 Virtausnopeuksien testaus

Kuivurin suunnittelua varten kokeiltiin eri virtausnopeuksia sekä pinnoitteen käyttäytymistä niissä. Tuotteiden yksi laadullisista riskeistä on kennon tukkeutuminen kuivurissa liian voimakkaan puhalluksen takia. Virtausnopeuksien testaus toteutettiin kuorma-autokatalysaattoreiden kuivauslaitteella sekä Scr- kuivurilla, jossa saadaan toteutettua 10 m/s voimakas konvektiovirtaus. Todellisuudessa mitatut virtausnopeudet eivät toteudu samalla voimakkuudella kennoissa. Tämä johtuu siitä, etteivät kennojen kuivausalustat ole täysin tiiviitä, vaan ohivirtausta pyritään ehkäisemään pahvista leikatuilla alustoilla. Tällöin ei voida välttyä virtaus vuotohäviöiltä.

Testien tuloksena havaittiin, että virtausnopeus vaikuttaa kennon tukkoisuuteen, mutta tukiaineen viskositeetin tunteminen on oleellisempi muuttuja. Pinnoitusaineen ollessa viskositeetiltään liian matala, joudutaan suurilla virtausnopeuksilla kennoa kääntelemään useamman kerran, ennen kuin tukiaine alkaa jähmettyä. Käänteilyllä pyritään välttämään kennon pillien tukkeutuminen. Tukkeutumiseen oleellisesti vaikuttaa myös kennon reikäluvun tiheys. Mikäli kenno on reikäluvultaan 200, puhutaan tällöin harvareikäisestä eikä niissä esiinny juuri pahempia ongelmia, kun puolestaan 500 reikäisissä esiintyy yleisemmin ongelmia viskositeetin ollessa alle 700 Cp ja virtausnopeuden ollessa yli 4,5 m/s. Lisäksi kennon korkeus vaikuttaa suurelta osin ongelmien syntymiseen.

Kennojen tukkeutumisvaaraa voitaisiin ehkäistä sekä kuivumiseen kuluva aikaa lyhentää, mikäli virtausvoimakkuuden säätäminen toteutettaisiin automaattisesti porastamalla sitä vaiheittain suuremmaksi (ks. kuvio 39).



KUVIO 39. Pillien tukkeutuminen virtausnopeuden ollessa yli 5 m/s.

10 Kehityskohteiden tunnistaminen

Yrityksen ainoa ongelma ei ole pelkästään kuorma-autokatalysaattorit vaan suuremmatkin teollisuuskatalysaattorit, joiden kuivausaika kappalemäärään nähden on erittäin surkea. Kuivuria suunnitellessa onkin syytä vetää suurennuslasia hiukan laajemmalle. Eräkooltaan pienet harvinaiset hankalat tuotteet vievät suhteessa paljon aikaa valmistuakseen kuivauksesta ja toimivat näin ollen myös muiden tuotteiden pullon-

kaulana. Kuivurin tulisikin tukea juuri näiden tuotteiden valmistettavuuden parantamista.

Teorian pohjalta voidaan päätellä, että kuivauksessa lämmöllä, virtausnopeudella sekä otettavalla tuloilman suhteellisella kosteudella on oma vaikutuksensa kuivausprosessiin. Tehdasilman suhteellinen kosteus voi varsinkin kesällä olla todella korkealla, mikä saattaa omalta osaltaan heikentää kuivausprosessia sekä lisätä lämmittämiseen tarvittavaa energian kulutusta. Lisäksi kuivureita suunnitellessa tulisi huomioida kanaviston eristäminen sekä välttää turhia mutkia virtausputkistossa, jotta moottorin maksimaalinen hyötyteho saataisiin käyttöön.

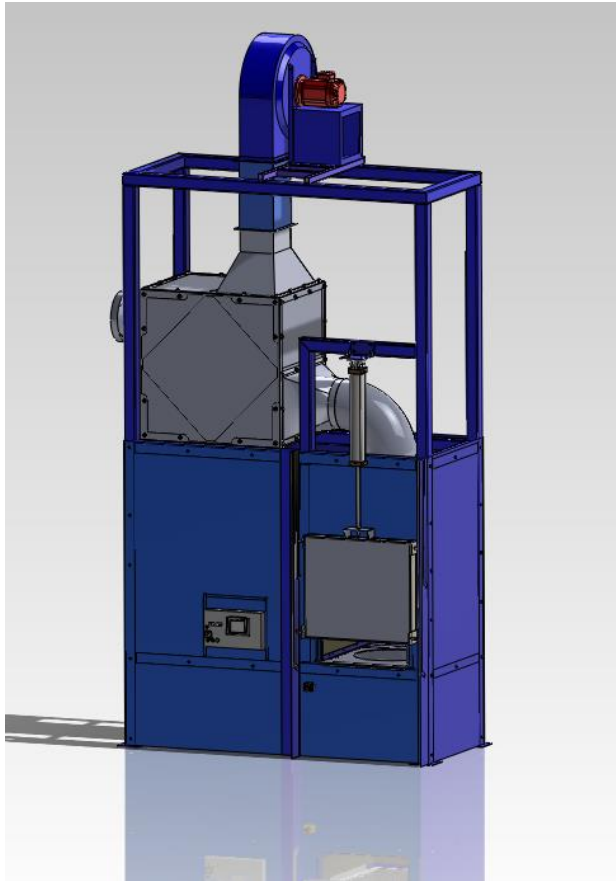
11 Kuivauslaitteen toimintaidea

Seuraavassa kappaleessa käydään analyysien pohjalta syntyneen kuivauslaitteen toiminnallista ideaa lävitse. Tarkastellessa yrityksessä olevia kuivureita havaittiin, että kuivausprosessin kosteuden poistumista seurataan pelkästään lämpötila eroja seuraamalla. Kuivauksen perustuessa tuloilman- sekä jäteilmanlämpötila eroon, yli kuivataan tuotteita todella herkästi. Tämä näkyy esim. siinä, että lämpötilaeron tulokinnassa löytyy vuoro kohtaisia eroavaisuuksia. Aamuvuorossa lämpötila ero voi olla 2 °C kun iltavuorossa 4 °C. Yhden asteen ero voi merkitä kuivausajassa pahimmillaan 2-10 min. Tämän takia kuivurista tulisi myös mitata tuloilmankosteutta, jota verrataan poistuvan ilman suhteelliseen kosteuteen. Lisäksi kuivureiden energian talteenottoa ei hyödynnetä kuin yhdessä kuivauslaitteessa. Lisäksi virtausnopeuden mittaus sekä säätötoimet olivat kaikissa laitteistoissa omalla tavallaan joko unohdettu tai puutteelliset.

Kuivauslaitteiston tärkeimpänä ideana olisi kasvattaa portaittain virtaus voimakkuutta suuremmaksi. Viskositeetin ollessa 1000 Cp kennot tukkeutuvat helposti virtausvoimakkuuden ollessa yli 4,5 m/s, mutta mikäli virtaus toteutettaisiin aluksi esim. alle 4,5 m/s, voitaisiin kennot kuivata portaittain ennen maksimi virtausnopeuteen nostamista. Idea nojautuu täysin Peltolan tekemät kokeeseen, joka osoitti, että virtausnopeuden kasvulla on suurimerkitys kostean ilman poistamisessa. Portaittain nostamisella ehkäistään myös katalysaattori kennoston pillien tukkeutuminen.

12 Kuivauslaitteen suunnittelu

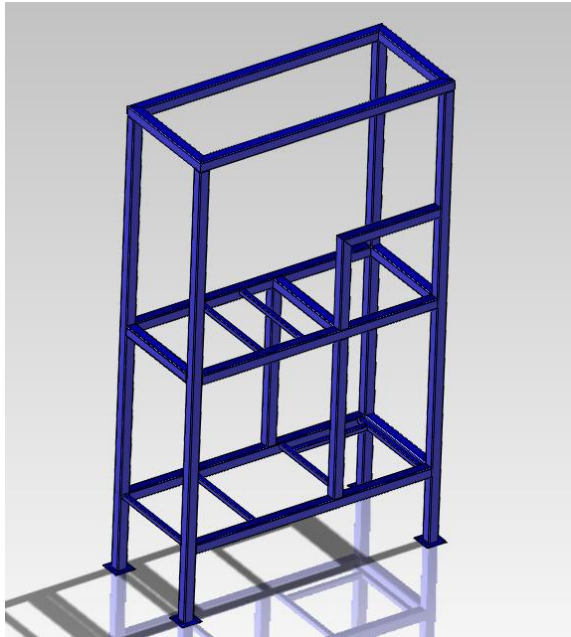
Kuivurin suunnittelu toteutettiin komponenttien geometrinen mittojen ehdoilla. Seuraavassa kappaleessa käydään läpi kuivurin suunnittelua. Kuivurin karkeasuunnittelu onnistuu parhaiten, kun tiedetään geometriaan vaikuttavat komponentit. Pääkomponenteiksi muodostui kuivausuuni, puhallin, lämmityspatteri, ristivirta LTO sekä kanavisto. Näiden komponenttien kokoluokkien perusteella voitiin kuivurille hahmotella pääpiirteet, joiden pohjalta mallia ruvetaan jatkojalostamaan. Kuviossa 40 on esiteltyä lopullinen suunnitelma kuivauslaitteesta. Liitteessä 6 on esiteltyä kuivaimen tarkempia kuvakulmia sekä strategisia mittoja.



KUVIO 40. Kuivurin kokoonpantu cad-malli

12.1 Kuivauslaitteiston rungon suunnittelu

Kuivauslaitteiston runko ja rakenne syntyivät valittujen komponenttien mukaan. Rungon päätukipilarit rakennetaan 100x100x5 rh-putkesta. Rungon suunnittelun apuna käytettiin Solidworks simulaatiota (ks. liite 7). Simulaation avulla on mahdollista tarkastella rungon kestävyyttä, kun syntyvät rasitukset tiedetään. Varmuuskertoimen saadessa arvon yksi tai yli rakenteen kestävyys voidaan tulkita hyväksi (ks. kuvio 41).



KUVIO 41. Kuivurin runko

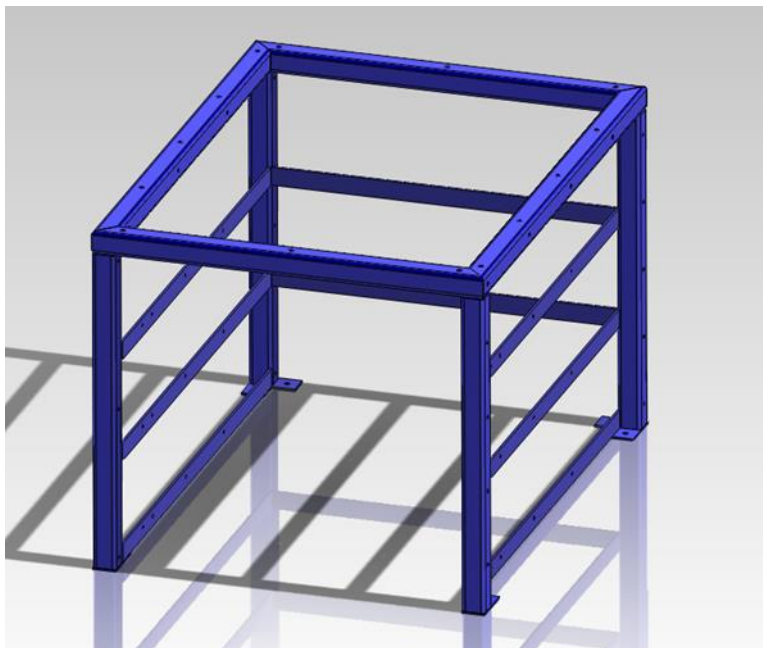
12.2 Kuivauskammion suunnittelu

Kuivauskammion kokoluokka mitoitettiin kapasiteetin mukaan. Tutkiessa Kuivaus- sekä valmistusprosessia havaittiin selvä ongelma. Vaikeimpien tuotteiden pullonkaulana toimii ehdottomasti kuivausprosessi, joka kerää puskuria eteensä. Tämä yksinkertaisesti johtui siitä, että kuivureissa ei voida kuivata kuin yhtä kennoa kerralla. Lisäksi kuivausaika on huomattavasti valmistusaikaa hitaampi. Kuivauskammion kokomääräytyikin lähinnä kuorma-autokatalysaattoreiden sekä hivenen suurempien teollisuuskatalysaattoreiden mukaan. Tavoitteena oli toteuttaa toimeksiantajan ehto kolminkertaisesta kuorma-autokatalysaattoreiden vuorokohtaisesta valmistettävyyden parantamisesta. Kuivurin kokoluokan suunnittelussa pyrittiin huomioimaan myös teollisuuskatalysaattoreiden vaatimia geometrisiä mittoja.

Kammion rajaehdoiksi valittiin halkaisijaltaan noin 600 mm teollisuuskatalysaattori sekä neljä 337mm kuorma-autokatalysaattoria, tällöin pohjan pinta-alaksi muodostui 750x 1000 mm ja korkeudeksi 700 mm. Teollisuuskatalysaattoreiden halkaisija kokorajaus määräytyi käsiteltävyyden mukaan. Esim. halkaisijaltaan 1000 mm on todella

hankala käsin nostella ja siksi niitä useimmiten käsitellään jo nosturilla, kennon märkätaino lähentelee yli 40 kg.

Kammion korkeuden suunnitteluun vaikutti lähinnä halu hyödyntää energiaa mahdollisimman tehokkaasti. Tarkoituksena oli suunnitella kuivuri, johon voidaan hitaasti kuivuvia tuotteita nostaa myös ylemmille kerroksille (ks. kuvio 42). Tällä tavoin saadaan poistettua kuivurin eteen syntyvää puskuria sekä kasvattamaan vuorokohtaista valmistusmäärää. Kuivurin kuivauskammioon päätettiin suunnitella kolme mahdollista käyttötasoa, jotka on tarvittaessa nopea purkaa. Tasot kiinnitetään liukukiskoilla, jolloin tuotteiden laittaminen sekä pois ottaminen on helppoa.



KUVIO 42. Kuivaus kammion runkorakenne 50x50x3 rh

Oikeilla parametreilla voidaan tasokuivauksessa välttyä laadullisilta riskeiltä. Valmistuskeskeistä ajatusta laadusta voidaan parantaa keräämällä esim. tukiaineiden viskositeettejä ylös sekä niiden käyttäytymistä eri olosuhteissa. Yksi ratkaiseva menetelmä olisi standardisoida tukiaineiden viskositeetit. Tällaisella toimenpiteillä voitaisiin rajoittaa valmistuksen laadullisia ongelmia. Vakio tukiaine käyttäytyy aina lähestulkoon sa-

malla tavalla samoissa olosuhteissa. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan syvennytä tukiaineiden standardisointiin, sillä tällöin siirrytään syvemmälle kemian puolelle. Standardisointi sanana on huomattavasti yksinkertaisempi lausua kuin toteuttaa. Tukiaineen viskositeettiin vaikuttavat niin monet tekijät, kuten esim. hiukkaskoko, lämpötilaolosuhteet, raaka-aine erät sekä monet muut muuttujat.

Kuivauskammio tulisi eristää levyvilloilla energian säästämisen sekä kuivaustehokkuuden parantamisen vuoksi. Eristys voitaisiin toteuttaa Paroc Fire Slab 80 Alucout 50 mm paloeriste villalla. Siitä on erittäin helppo leikata määrämittäisiä paloja (ks. kuvio 43).



Eristeet

PAROC Fire Slab 80 AluCoat

- Vuorivillaa
- Paloluokka A2-s1, d0

Päällyste:

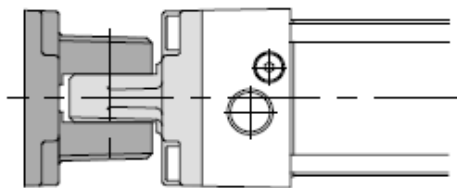
Verkkovahvistettu alumiinilaminaatti



KUVIO 43. Paroc 50 mm fire slab 80 eristelevy (Paroc 2013)

Kammion luukun aukaisumekanismi suunniteltiin toteutettavaksi paineilmalla toimivalla kaksitoimisella sylinterillä. Sylinteri kiinnitetään laippaan nivelen avulla (ks. kuvio 44). Nivelen tarkoitus on mahdollistaa uuninluukun liikkuminen, sitten ettei turhia jännityksiä muodostu sylinterin iskuvarteen. Ohjausraiteena toimii c-profiili valsatun tanko, jonka sisällä mahtuu laakeripyörät liukumaan. Luukku pyritään tiivistämään tiivistimen avulla, jonka kuluminen estetään pykältämällä aukaisu vaiheessa laakereiden liukuraiteita. Pykällys toimii luukun sulkeutumisvaiheessa päinvastaisena toimintana, tällöin se painaa luukun tiivistintä vasten. (ks. liite 8).

Single clevis + Double clevis



KUVIO 44. Paineilmasylinlerin nivelkiinnitys (Smc 2014)

13 Kanaviston suunnittelu

Kuivuriin asennettavaa kanavistoa, jolla ilmaa siirretään haluttuun paikkaan halutulla virtauksella, voidaan verrata ilmastoinnin suunnitteluun, molemmissa ollaan tekemisissä puhaltimen avulla suoritettavan pakotetun ilman siirtämisen kanssa. Kanavisto aiheuttaa vastapainetta, jonka puhaltimen moottori pyrkii voittamaan. Kuivurissa kuivattava kohde aiheuttaa kuitenkin huomattavasti suuremman vastapaineen. Nä-mä kaikki tuleekin selvittää, jotta saadaan mahdollisimman tehokas kuivausprosessi aikaiseksi sekä valitaan kohteeseen oikeanlainen puhallin.

Kanaviston rakenne suunniteltiin pääsääntöisesti pyöreästä kanavistosta. Ainoastaan puhaltimelta vedetään suorakaidekanavaa LTO:lle saakka. Suorakanavan asentami- seen alkupäähän vaikutti ennen kaikkea puhaltimen lähtöpään geometrinen muoto sekä tavoite puhaltimen liitäntähäviön muodostumisen minimointi.

13.1 Kuivurin kanavan halkaisijan valinta

Kanavistoa suunnitellessa tuli selvittää ensimmäisenä millaiset fysikaaliset ominai- suudet siirrettävältä ilmalta halutaan, kuten lämpötila, virtausnopeus sekä tilavuus- virta. Jälkimmäiset kaksi ominaisuutta vaikuttavat mitoitettavaan kanaviston halkaisi-

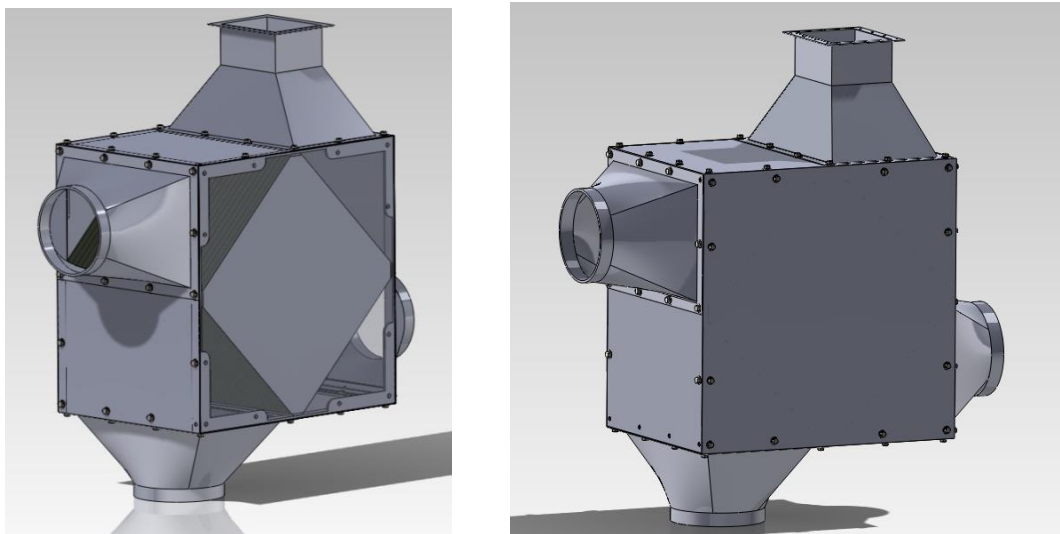
jaan. Suunnittelun lähtökohdaksi valittiin kuivureissa kuivattavat kuorma-autokatalysaattoreiden geometriset vaatimukset. Tarvittava tilavuusvirta määriteltiin samalla tasolla kuivattavien kennojen lukumäärän perustella. Suunnittelussa oletettiin, että virtaus jakautuu tasaisesti jokaisen kuivaustasolla olevan kennon lävitse. Tällöin voitiin laskea tarvittava tilavuusvirta kanavistoon, jonka avulla saatiin valittua sopiva standardin mukainen kanavan halkaisija.

Tutkittaessa virtausnopeuksia havaittiin, että vähiten ongelmia syntyi virtausnopeuden ollessa alle 4,5 m/s. Tätä kyseistä virtausnopeutta käytetään referenssi arvona kanavistoon liittyvissä laskelmissa. Kammion kokoluokka määräytyi puolestaan valmistettavuuden mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että yhdelle tasolle mahtuu kerrallaan neljä kuorma-autokatalysaattoria. Katalysaattoreiden pinta-alan perustella voidaan laskea tarvittava kokonaistilavuusvirta, joka tarvitaan kuivattavien kennojen lävitse toteutuvan virtausnopeuden määrittämiseksi (ks. liite 9).

13.2 LTO:n valinta

Kuivauslaitteeseen päätettiin suunnitella LTO- tekniikka energian säästämisen vuoksi. LTO- tekniikan valinnan lähtökohtana käytettiin adjektiivejä, kuten mahdollisimman tiivis, yksinkertainen, edullinen ja helppo asentaa. Teknisinä vaatimuksina puolestaan vastaan tuli soveltuvuus suurille tilavuusvirroille sekä mahdollisimman pieni vastapaine ja hyvän hyötysuhde. Näiden perusteella päädyttiin levy LTO- tekniikkaan. Levy LTO- tekniikoita on markkinoilla saatavana kahta eri mallia vasta- sekä ristivirta. Ristivirta- LTO soveltuu paremmin suurille tilavuusvirroille kuin vastavirta. Tämän takia päätettiin ristivirta levylämmönsiirtimen tarjouspyyntö kysyä Ecoil oy:tä. Siirtimen tekniset tiedot on esiteltynä liitteessä 10 ja 11. Yritys lupaa valituilla parametreilla 60 % hyötysuhteen 6000 m³/h tilavuusvirralla sekä vastapaineeksi kyseisellä tilavuusvirralla muodostuu toimittajan laskelmien mukaan kokonaisuudessaan 266 Pa.

LTO komponentti ja runko päätettiin mallintaa Solidworksillä. Runko suunniteltiin ruostumattomasta teräksestä samoin myös kotelolevyt. Tämä johtui yksinkertaisesti siitä, että ollaan tekemisissä kosteuden kanssa. Kanavat liitetään konfusorien ja difusorien avulla LTO:n kiinni. Rakennelman sisälle asennetaan Ecoil ristivirta-LTO. LTO asennuksen tulee olla tiivis, jolloin komponenttien asennusten rajapinnoissa on syytä käyttää apuna tiivistenauhaa. Materiaalin tulee kestää kuumuutta (ks. kuvio 45).



KUVIO 45. Cad kuva Lto:n kytkentäkopasta.

13.3 Lämmitysvastuksen mitoittaminen

Lämmitysvastuksen koko mitoitettiin ilman tilalaskuilla. Tarvittavan patteriston kokoluokkaan vaikuttaa erityisesti lämpötila sekä ilman virtausnopeus. Lopullisessa tuloksessa on pyritty huomioimaan myös LTO:n tuoma lämpötehon hyöty. Laskuista voidaan havaita, että tarvittava lämmitysteho pienenee merkittävästi LTO:n asioista. Lämmitysvastuksen kokoluokan laskeminen on esiteltynä liitteessä 12, jossa lämmitystehon tarvetta tarkastellaan ominaisentalpian sekä kuivalämpötilan avulla. Vastuksen kokoluokka valittiin kuivalämpötilan mukaan. Kuivalämpötilan antamat teho arvot olivat mitoituksen riittävyyden kannalta varmempia kuin monimutkaisesti lasketun ominaisentalpian antama tulos, joka oli 20 kW pienempi.

Lämmityspatteriksi valittiin Loval Oy valmistama 48 kilowatin kanavalämmitin. Kanavalämmitin rakentuu kolmesta tehoportaasta 24, 14,4 sekä 9,6 kW:sta. Tehoportaisen ohjaus toteutettiin ohjelmoitavalla logiikalla puolijohdereleiden avulla. Lämmityspatterista löytyy kytkentäkopan ylikuumentumissuoja (ks. liite 13). Vastusten tarvitsema virta saadaan laskettua kolmivaiheisten sähkölaitteiden kaavalla 27.

$$P = \sqrt{3} * U * I \quad (27)$$

$P = \text{pätöteho (W)}$

$U = \text{Jännite (V)}$

$I = \text{kokonaisvirta (I)}$

Kaavaa 27 soveltamalla saadaan laskettua vastusten tarvitsema kokonaisvirta. Tämä tieto on tärkeä komponentteja valittaessa. Puolijohdereleiksi voitaisiin valita esim. Omronin G3PE teollisuusluokan kompakti puolijohderele (ks. taulukko 3).

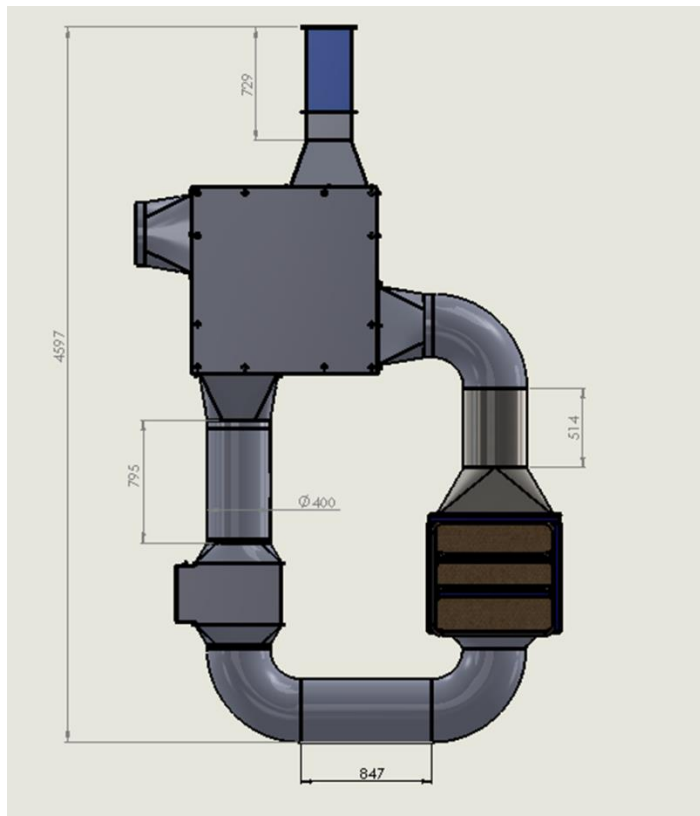
TAULUKKO 3. Puolijohdereleiden valinta

Tehoportaat kW	Jännite V	Virta A	Varmuuskerroin 1,2	Puolijohderele Omron
24	400	34,64102	41,56921938	G3PE-545B DC12-24
14,4	400	20,78461	24,94153163	G3PE-525B DC12-24
9,6	400	13,85641	16,62768775	G3PE-525B DC12-24

13.4 Kanaviston eristäminen

Kanaviston eristämisestä syntyviä vuotuisia säästöjä arvioitiin Paroc calculus ohjelmalla, joka on saatavilla kanavaeristeitä valmistavan Paroc topin verkkosivuilta. Eris-

tämätön kanava aiheuttaa laskelmien mukaan noin 1588 W/m energia hävikin, kun eristettynä hävikki olisi vain 119 W/m luokkaa. Liitteessä 14 on esiteltyä eristyksen tuomat säästöt. Laskenta on vain karkea arvio saavutettavista hyödyistä, sillä se käsittelee vain suorat kanava vedot. Todellisuudessa eristyksen alaisena on kaikki kanavistoon suunnitellut osat kuten mutkat, diffusorit, konfusorit sekä kuivauskammio. (ks. kuvio 46).



KUVIO 46. Kanaviston rakenne

13.5 Kanaviston painehäviö

Kanaviston osissa syntyvien painehäviöiden laskeminen toteutettiin luomalla excel-taulukkoon laskentafunktiot teoriassa esitettyjen kaavojen pohjalta (ks. liite 15). Excelin laatiminen osoittautui erittäin hyväksi työkaluksi kanaviston suunnittelussa. Sen

avulla oli todella nopea tarkastella painehäviön muodostumista geometrialtaan erilaisissa kanavaosissa sekä eri olosuhteissa (ks. liite 16).

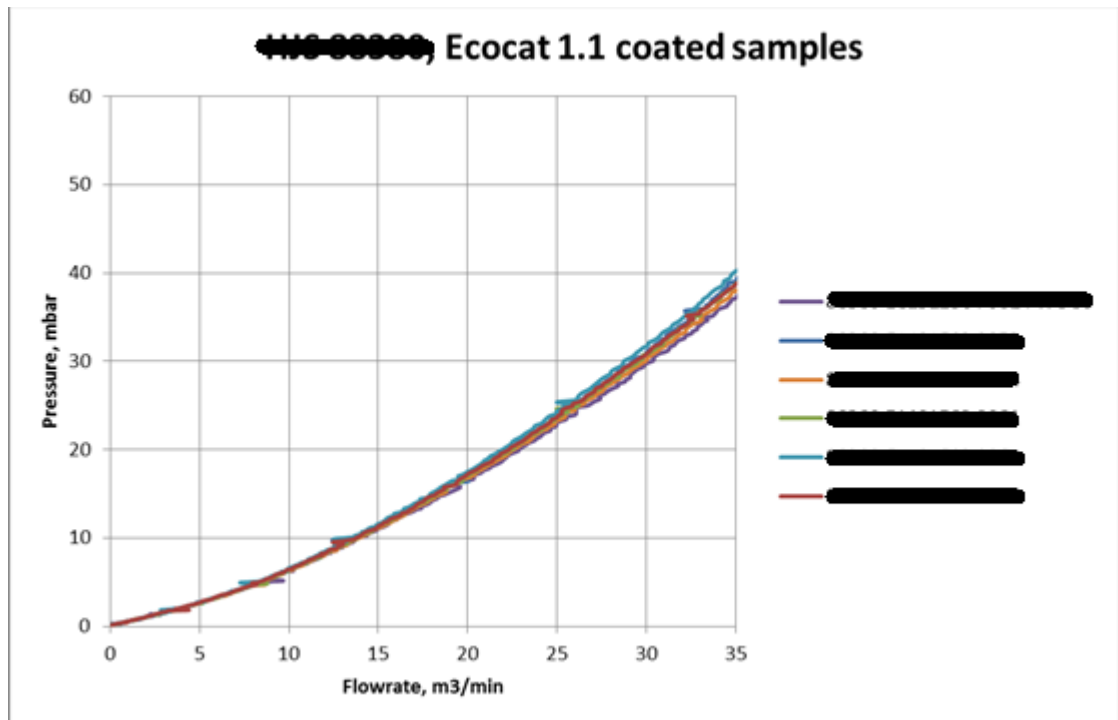
13.5.1 Kuorma-autokatalysaattorin vastapaineen määrittäminen

Kuorma-autokatalysaattorin vastapaine mitattiin yrityksestä löytyvällä vastapaineen mittauslaitteella (ks. kuvio 47). Mitatuista tuloksista saatiin funktiokaava 28, jota vastapaineen muodostuminen seuraa (ks. kuvio 48). Mittaustuloksista voidaan havaita heti, että suurin vastapaine aiheutuu juuri kuivauskammiossa kuivattavista tuotteista.



KUVIO 47. Vastapaineen mittauslaitteisto

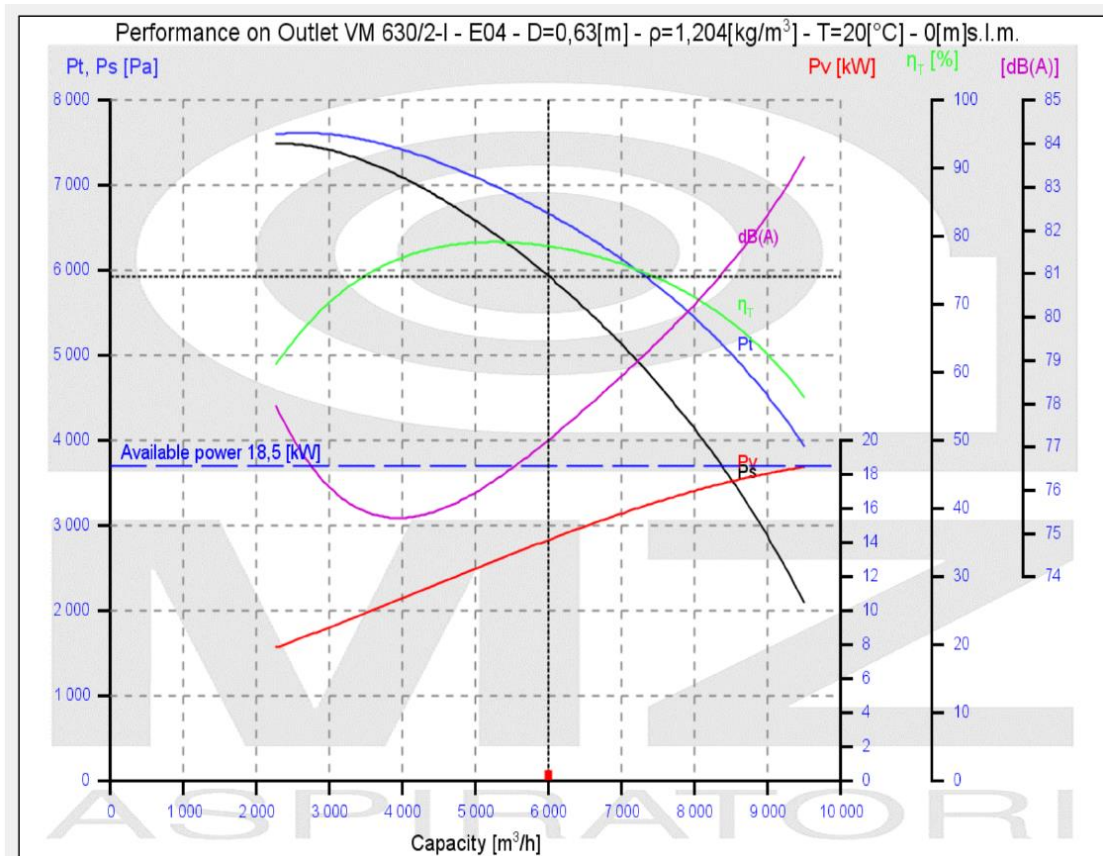
$$y = 0,0168 * x^2 + 0,5296 * x - 0,2503 \quad (28)$$



KUVIO 48. 270 mm Kuorma-autokatalysaattorin mitattu vastapaine.

13.6 Kuivauspuhaltimen valinta

Kuivurin puhaltimeksi valittiin keskipakopuhallin sen hyvän paineenkorostuksen johdosta myös suurilla tilavuusvirroilla. Puhaltimeksi voidaan valita esim. Venturin tarjoama VM 630 mallinen keskipakopuhallin, joka pystyy suurillakin tilavuusvirroilla kehittämään korkeanpaineen. Puhallin on valittu MZ aspirator mitoitusohjelman avulla ja siitä saatava tehokäyrä on esiteltyinä kuviossa 49. Paineenkorostus on tärkeää varsinkin silloin kun kuivataan materiaalia kerrostasoissa mahdollisimman suurella tilavuusvirralla. Liitteessä 17 on esiteltyinä puhaltimen geometrisia mittoja.



KUVIO 49. VM630 keskipakopuhaltimen 18,5 kW tehokäyrästä

Puhaltimen virtausnopeus voidaan säätää taajuusmuuttajalla, muuttamalla moottorin pyörimisnopeutta. Tämä on helpoin tapa toteuttaa kanaviston tilavuusvirtauksen säätö. Muita tapoja säätää tilavuusvirtaa on by pass, kuristussäätö sekä johtosiipisäätö. (Halminen ym. 1994, 55)

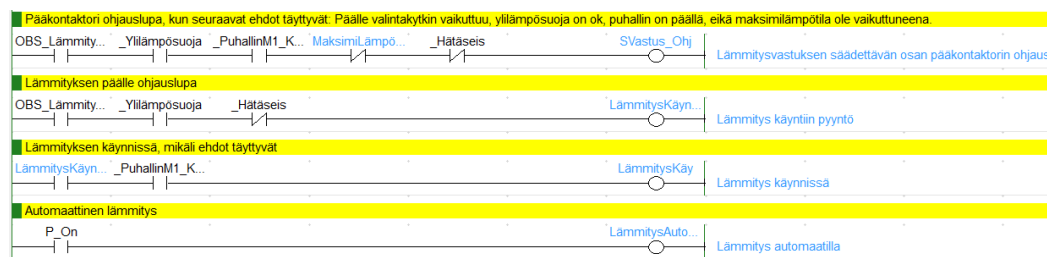
Puhaltimen sekä kuivattavien kuorma-autokatalysaattoreiden toiminta-alueita on tarkasteltu taulukossa 4. Taulukosta havaitaan, että puhallin pystyy kehittämään riittävän paineenkorostuksen vihreällä merkityllä alueella. Kuorma-autokatalysaattoreita kuivatessa kahdessa tasossa, kanaviston tilavuusvirran toiminta-alueeksi sallitaan korkeintaan 2400 m³/h suuruinen tilavuusvirta, tällöin puhaltimen paineenkorostus riittää voittamaan syntyvät painehäviöt. Mikäli kuivataan yhdellä tasolla, voidaan tilavuusvirtaus nostaa 4320 m³/h. Taulukko on laadittu kanaviston Excel-työkalun sekä kaavan 27 avulla. Näiden kahden työkalun avulla saamme selvitettyä kuivurin kokonaispainehäviön eri olosuhteissa.

TAULUKKO 4. vastapaineista ja puhaltimen toiminta alueesta.

Puhaltimen paineenkorostus (Pa)	7500	7250	7000	6900	6800
Taso 2. + kanaviston painehäviö (Pa)	5813,56	9722,96	10588,78	12428,96	14342,56
Taso 1. + kanaviston painehäviö (Pa)	3123,28	5133,48	5579,14	6538,68	7517,88
Taso 2. (8 kennon vastapaine) (Pa)	5380,56	9178,96	10019,28	11780,56	13649,36
Taso 1. (4 kennon vastapaine) (Pa)	2690,28	4589,48	5009,64	5890,28	6824,68
Kanaviston painehäviö (Pa)	433	544	569,5	648,4	693,2
Kanaviston virtausnopeus (m/s)	5,3	8,0	8,5	9,5	10,6
kokonaistilavuusvirta (m3/h)	2400	3600	3840	4320	4800
Kennon vastapaine (mPa)	6,7257	11,4737	12,5241	14,7257	17,0617
Kennon vastapaine (Pa)	672,57	1147,37	1252,41	1472,57	1706,17
Kennon tilavuusvirta (m3/min)	10	15	16	18	20
Kennon tilavuusvirta (m3/s)	0,17	0,25	0,27	0,30	0,33
Kennon virtaus (m/s)	1,873	2,809	2,996	3,371	3,745
Pinta-ala (m2)	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089

14 Kuivauslaitteen logiikan suunnittelu

Kuivauslaitteiston ohjelmoitava logiikka on suunniteltu Cx-programmerilla. Alustavasti logiikkamalliksi valittiin I/O lähdöiltään kattava CP1H, jonka tekniset tiedot on esitelty liitteessä 18. Ohjelman suunnittelun pohjana on hyödynnetty yrityksestä jo olevien kuvauslaitteiden valmiita toimivia toiminnallisia toteutuksia. Kuivuriin laadittu ohjelma on esitelty liitteessä 19. Kuivurin toiminnot mallinnettiin pääsääntöisesti tikapuukaaviona. Lisäksi ohjelmoinnin tukena on päätetty käyttää runsaasti selventäviä kommentteja. Kommenttien tarkoitus on helpottaa ohjelman funktioiden tulkin-taa myös myöhemmässä vaiheessa. Kommenttien avulla on helppo esim. käyttöönoton yhteydessä paikallistaa mahdolliset ajatusvirheet. (ks. kuvio 50)

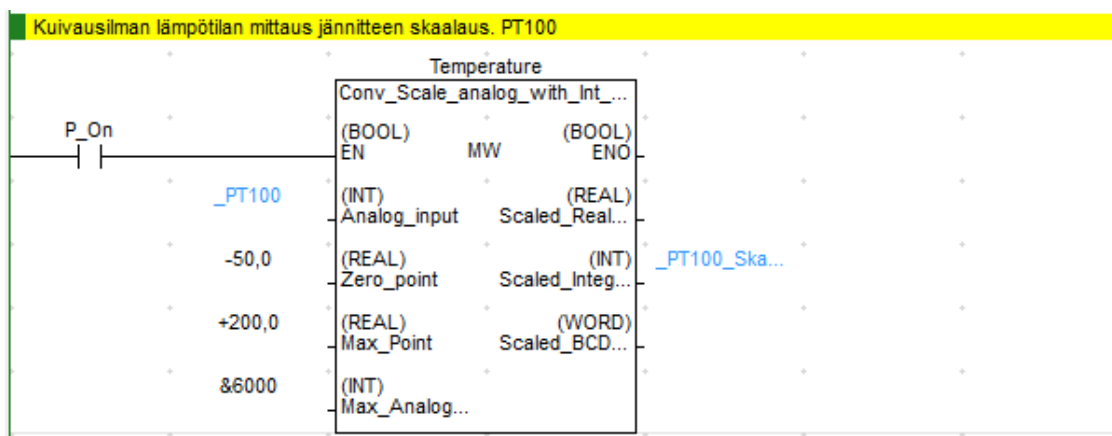


KUVIO 50. Tikapuukaavio

14.1 Lämpötilan, suhteellisen kosteuden sekä virtausnopeuden skaalaus

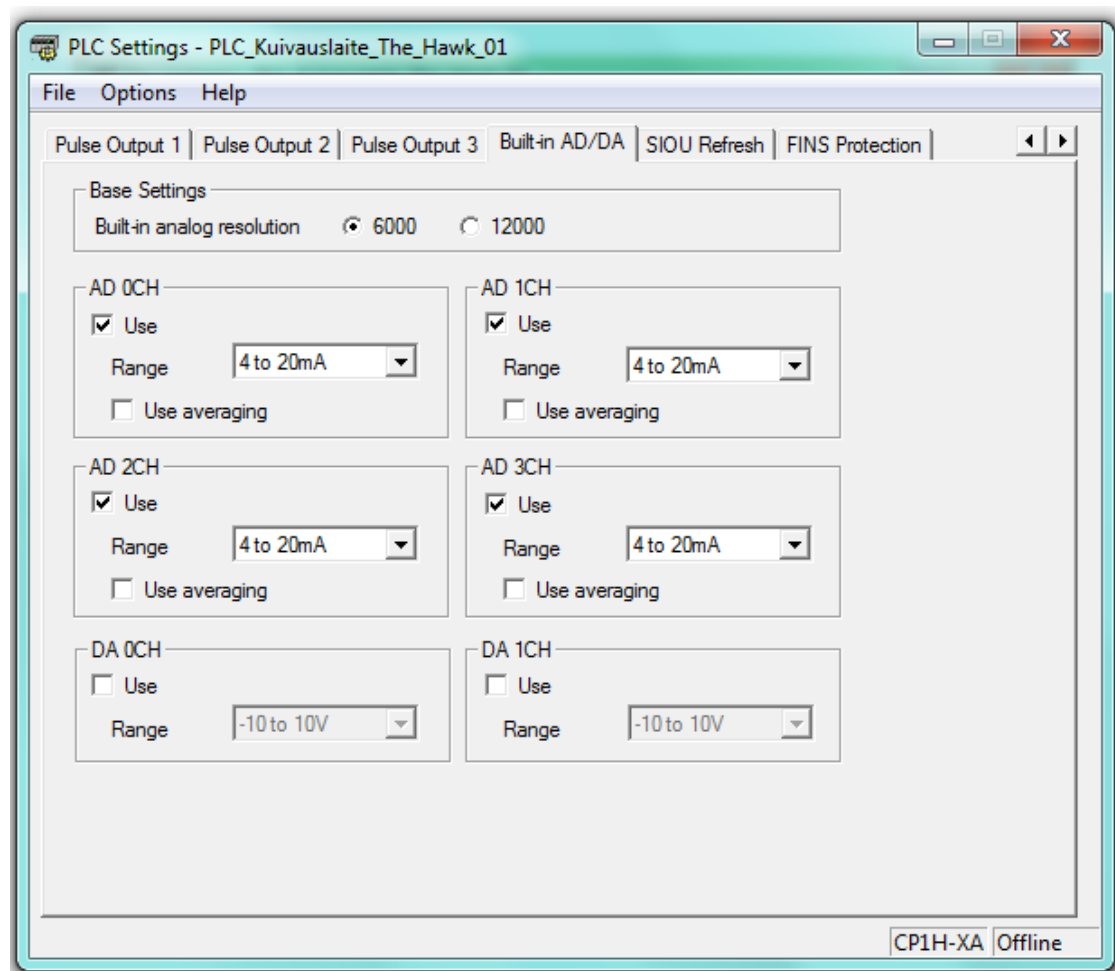
Lämpötilojen, suhteellisen kosteuden sekä virtausnopeuden analoginen tulo skaalataan toimintalohkokaavion avulla. Antureita valittaessa oli syytä selvittää sen toiminta-alue sekä ulostuleva signaali. Toimintalohkokaavioita voi itse rakentaa tai niitä löytyy myös valmiina ohjelmiston kirjastosta sekä internetistä. Toimintalohkokaavioiden etuna on niiden yksinkertaisuus, joka selkeyttää ja nopeuttaa ohjelman luontia. esim. Lämpötilan skaalaus tapahtuu toimintalohkokaaviossa lineaarisesti.

Lämpötila anturiksi päätettiin valita PT100 tyyppinen anturi. Se on yleinen valinta teollisuusprosesseissa. Valitun anturin E52-EP6-100-T2-CC1.5B analoginen tuloalue on -50 °C virtaviestillä 4 mA sekä 200 °C viestillä 20 mA. Anturin virtaviesti tulee analogiseen tuloon. Toimintalohkossa tulo on asetettu resoluutiolle 1/6000. Resoluutio selvitettiin valittavan logiikan teknisistä tiedoista. CP1H logiikan miniarvo on 1 ja maksimi arvo 6000. Toimintalohko skaalaa anturin tiedon kelluvana arvona -50 ja 200 °C välillä. Aina tosi bittiä käytetään toimintalohkon aloittavan käskynä. Lohkossa skaalattu tulos tallennetaan muistipaikkaan D1159 (ks. kuvio 51).



KUVIO 51. Analogi viestin skaalaaminen

Logiikalta tulee selvittää input datan yhteensopivuus valittavien antureiden kanssa, virtaviesti voi olla joko V tai mA. Resoluutio sekä viestin tyytit valitaan cx-programmerilla logiikalle PLC settings toimintavalikosta. Kyseisiä tietoja tarvitaan analogitulojen käsittelyssä (ks. kuvio 52).



KUVIO 52. PLC settings

Laitteen virtausmittaus voidaan toteuttaa esim. Heconen virtausmittarilla jonka toiminta-alue on 0,2-50 m/s. Valintaan vaikutti ennen kaikkea toiminta alue sekä lämpötila soveltavuus. Kosteudenmittaus voitaisiin toteuttaa puolestaan kahdella Vaisalan kosteusantureilla, joiden toiminta alue on 0-100 RH %. Laitteessa on mukana myös lähetin. Kosteusmittarit tulee sijoittaa ennen puhallinta ja jälkeen ristivirta LTO:n, koska näissä tilavaiheissa ilma on jäähtyneenpää. Kuivausajan määrittämisen

tukena käytetään edelleen myös tulo- ja poistoilman lämpötila erojen mittausta. Lisäksi Kyseisellä laitteella on mahdollisuus mitata haluttaessa myös lämpötilaa (ks. liite 20). Antureita tarvitaan kuivausprosessin mittauksessa yhteensä seitsemän, jolloin analogisia lähtöjä tarvitaan vastaava määrä, koska valitulta logiikalta ei löydy kuin neljä analogista lähtöä, joudutaan logiikkaan liittämään lisäpalikka. Lisäpalikkojen avulla voidaan analogisien lähtöjen ja tulojen määrää kasvattaa.

14.2 Hyötysuhteen laskennan toteutus

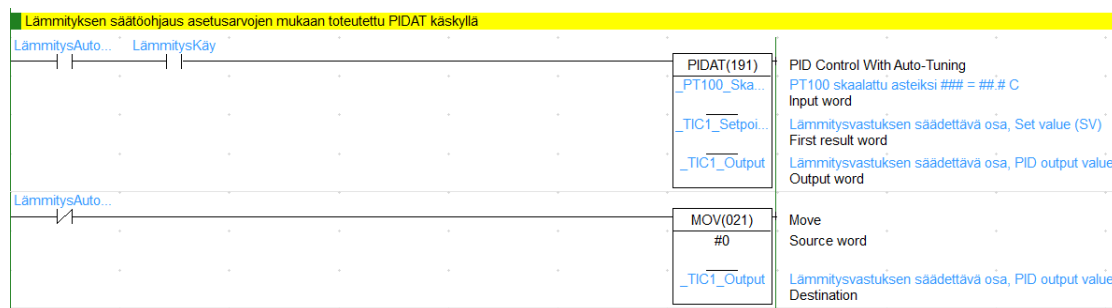
Kuivauslaitteelle suunniteltiin logiikan avulla hyötysuhteen laskentafunktio, tällä tavoin voidaan helposti seurata laitteen toiminta-astetta eri olosuhteissa. Hyötysuhdelaskenta toteutetaan lämpötilamittareiden avulla. Hyötysuhteen määrittäminen toteutetaan Cx-programmerista löytyvillä laskentafunktio käskyillä. Laskentaan tarvittavat tiedot saadaan lämmönmittauksien skaalaus toimintalohkon ulostulosta. Laskenta toteutetaan kaavan 21 mukaisesti. Laskennasta saatava osamäärän tulos eli hyötysuhde tulee muistipaikkaan D6 (ks. kuvio 53).



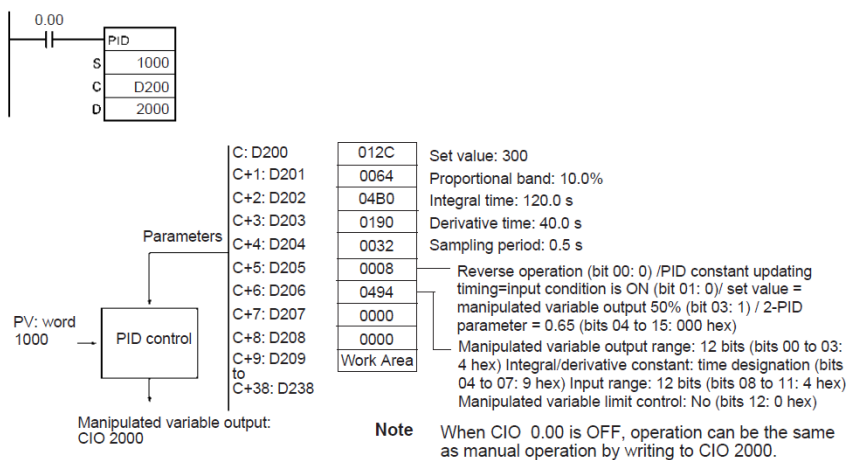
KUVIO 53. Hyötysuhteen laskennan toteutus

14.3 Kuivurin lämmityksen toiminta

Lämmityksen ohjaus toteutettiin analogisen suuren mitatun arvon säädöllä. Säättö-käskyn tehtävä on pitää lämpötila mahdollisimman lähellä asetettua, korjaamalla mahdolliset poikkeamat, ohjaamalla lämmitysportaita. Säättökäskynä käytetään pidat käskyä, joka on saatavilla CPH1 mallisesta logiikasta. Käskyssä määritetään tulosana, parametrisana sekä lähtösana. ”Ensimmäinen sana kertoo asetusarvon, siitä seuraavat sanat kertovat vahvistuksen, integrointiajan ja derivointiajan”. Käskyyn täytyy näiden lisäksi määrittää parametri sanat. Niillä vaikutetaan tulosanan näytteenotto-taajuuteen, suodatukseen sekä rajoitetaan lähtö ja tulosanan alue. (ks. kuvio 54 ja 55) (automaatiolaitteet, 147)

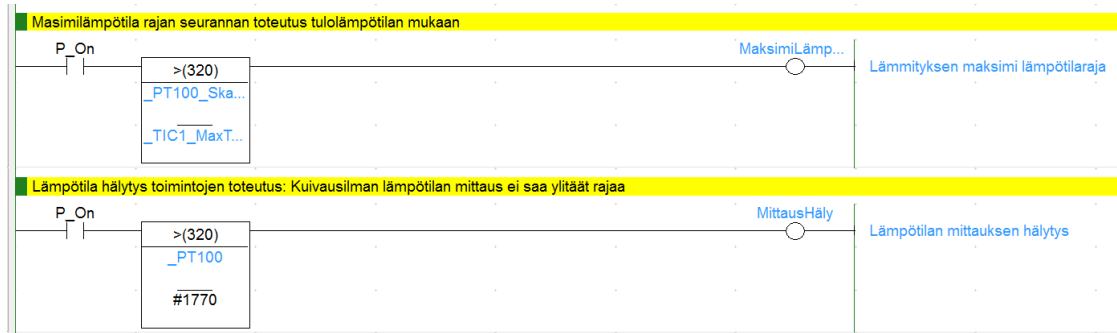


KUVIO 54. PIDAT käsky



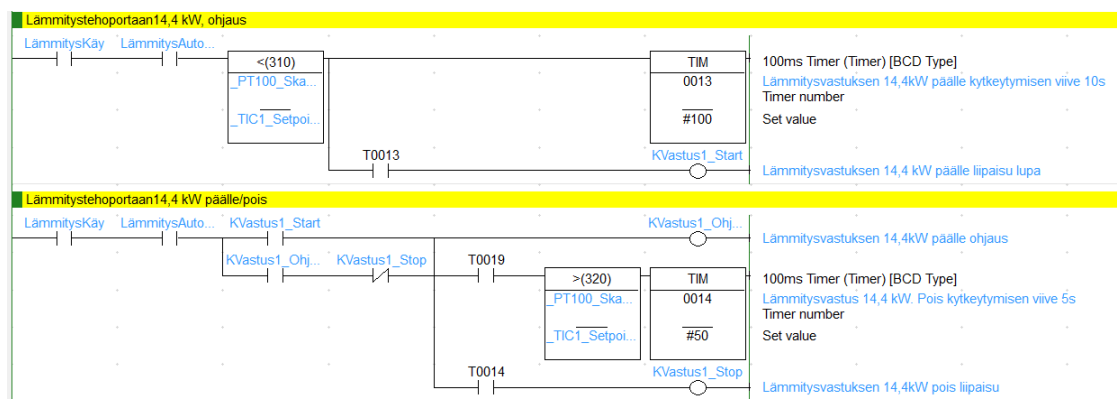
KUVIO 55. PID parametrien käyttöohje (Industrial 2006, 619)

Laitteiston maksilämpötilan seuranta toteutettiin mitattavan ja asetetun arvon välillä. Käskynä käytetään vertailu funktiota. Ehdon toteuduttua maksimilämpötila aktivoituu (ks. kuvio 56).

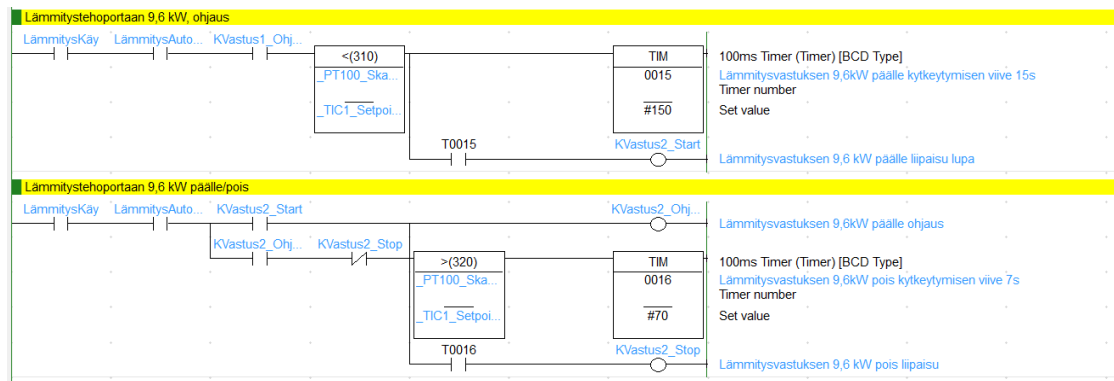


KUVIO 56. Lämmitysrajan seuranta ja hälytykset

Lämmitystehoportaiden kiinteän osan ohjaus suunniteltiin porrastamalla niitä ajastimien avulla. Ajastimien tehtävä on rytmittää vastusten toimintaa siten, että vastukset vuorottelevat lämmitystä. Esim. tehoportaan 14,4 kW ohjaus päälle tapahtuu 10 sekunnin viiveellä, kun tehoportaassa 9,6 kW viive on 15 sekuntia. Pois kytkennässä näiden kahden tehoportaan välinen viive-ero on puolestaan kahden sekunnin luokkaa. Lämmitysvastusten ajastimet T0013 sekä T0015 kytkeytyvät päälle mitatun lämpötila arvon ollessa asetettua lämpötila arvoa pienempi. Poiskytkentä puolestaan tapahtuu päinvastaisessa tilanteessa. (ks. kuvio 57 ja 58)



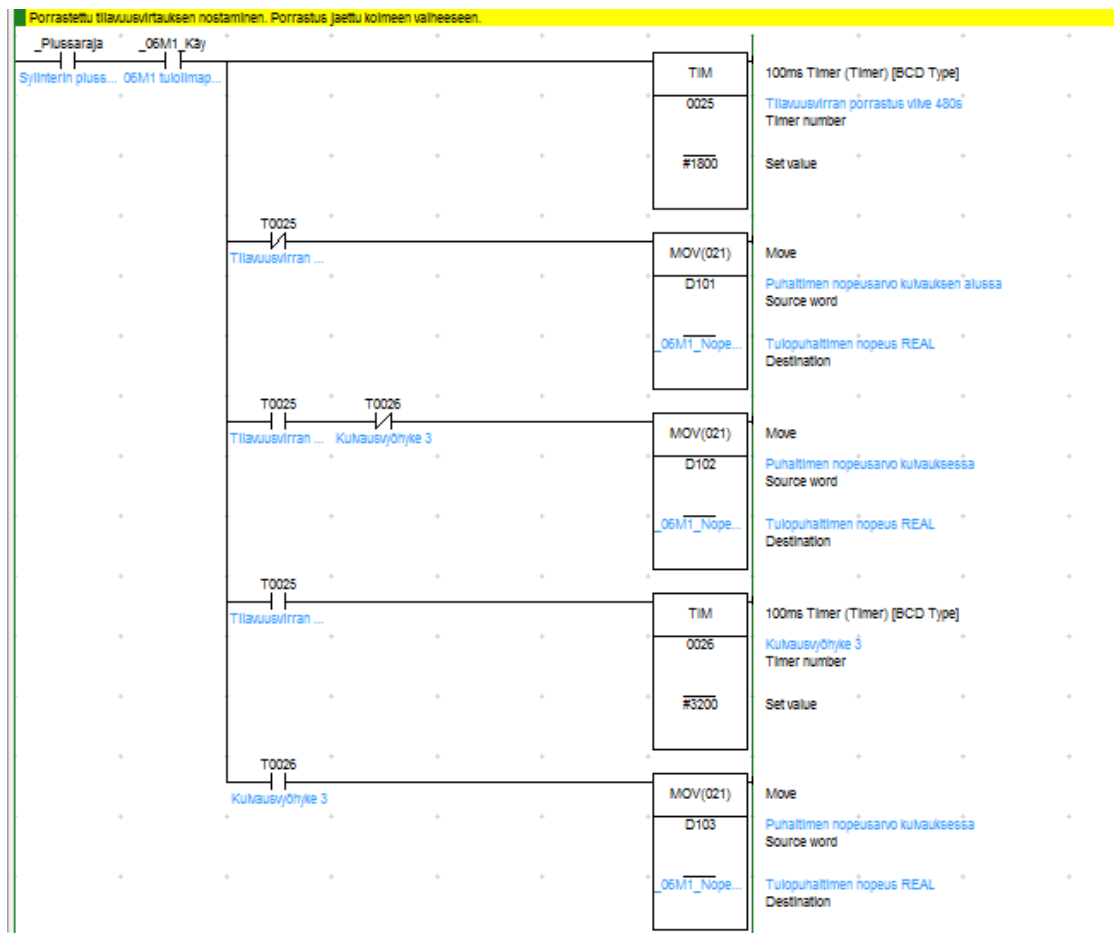
KUVIO 57. Lämmitysportaan 14,4kW ohjaus



KUVIO 58. Lämmitystehoportaan 9,6kW ohjaus

14.4 Kuivausluukun toiminnan toteuttaminen

Luukun aukaisu suunniteltiin toteutettavan kaksitoimisella paineilmasylinterillä. Sylinteri antaa toimiessaan logiikalle miinus- ja plussarajojen tilatietoja. Tilatietojen avulla voidaan toteuttaa virtausnopeuden säätötoimet. Luukun mennessä kiinni plus-saraja tilatieto aktivoituu ja asettaa ensimmäinen MOV- siirtokäskey päälle. Siirtokäskeyllä ohjataan puhaltimen virtausnopeutta antamalla taajuusmuuttajalle siirtokäskeyssä määritetty nopeusohje. Ensimmäisen siirtokäskeyn asetusarvo on niin kauan päällä kunnes ajastin T0025 katkaisee edellisen siirtokäskeyn ja asettaa uuden bitin päälle. Ajastin T0026 katkaisen toisen portaan käskeyn ja kytkee viimeisen siirtokäskeyn portaan päälle. Ajastimille valittaviin aikoihin sekä nopeusohjeisiin joudutaan varmasti palaamaan empiiristen tutkimusten myötä myöhemmin uudelleen, mikäli tavoitteena on saada mahdollisimman optimaaliset parametrit (ks. kuvio 59).



KUVIO 59. Porrastetun virtausnopeuden ohjauksen toteutus.

Puhaltimen virtausnopeuden säätäminen päätettiin suunnitella taajuusmuuntajalla. Moottorin tarjouspyyntöä kysyttäessä tulee varmistaa, että moottori soveltuu 400 V taajuusmuuntajan käyttöön. Moottorin taajuusmuuttajaksi voitaisiin valita esim. ABB:n valmistama ACS355-03E-38A0-4 taajuusmuuntaja. Se on suunniteltu juuri 18,5 kW moottoreille, tällöin logiikalta tulee lähteä yksi analoginen lähtö. Lähdöllä ohjataan taajuusmuuntajaa, joka puolestaan säätää puhaltimen moottorin pyörimisnopeutta. Maksimi kierrokset puhallin saa 50 Hz.

15 Opinnäytetyön tulokset ja yhteenveto

Työntuloksena suunniteltiin toimeksiantajalle kuivuri ja siihen ohjelmoitava logiikka. Laitteen toimivuutta on pyritty varmistamaan simuloimalla esim. 3d-mallissa uuninluukun avaamista sekä rungon kestävyyttä. Ohjelmoitavaa logiikkaa on simuloitu Cx-programmer ohjelmasta löytyvän simulointi työkalun avulla. Siinä kaikki tuntui toimivan, mutta todellisuudessa laitteiston käyttöönotossa vasta todelliset virheet ilmenevät.

Laitteistoa ei ole rakennettu opinnäytetyön aikana eikä sen suunnittelu ole tämän jälkeen edennyt. Työntuloksena on kuitenkin yrityksen pienkatalysaattoreille rakennettu kerroskuivaintaso. Aikaisemmin pienkatalysaattoreita mahtui kuivuriin kerrallaan 24 kappaletta, kun kerroksen ansiosta määrä on kaksinkertaistunut. Kuivauksen kehittäminen on siirtänyt ongelman pinnoitusprosessiin, joka nyt puolestaan vaatii kehittämistä. Tekijällä on ongelma päästä kuivurin kanssa järkevään rytmiin (ks. kuvio 60).



KUVIO 60. Pienkatalysaattoreiden kerroskuivain

16 Pohdinta

Opinnäytetyön tekeminen oli haastavaa ja mielenkiintoista. Tehtävänä oli suunnitella toimeksiantajalle kuivauslaite ja siihen ohjelmoitava logiikka. Konkreettisten tulosten saavuttamiseksi jouduin opettelemaan uusien ohjelmistojen käyttöä, kuten Solidworksia sekä Cx-programmeria. Laitteiston suunnittelun pohjana toimii kuivausteoria sekä virtausoppi, jota käsitellään paljon myös ilmastoinnin suunnittelussa. Teoriaosuudessa perehdytään ennen kaikkea virtausopin fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä ilman kykyyn sitoa itseensä kosteutta eri ilmatiloissa. Teoriaan perehtyminen edesauttaa ymmärtämään mitä kuivauksessa tapahtuu sekä mitä erityisiä seikkoja laitteiston sekä kanaviston suunnittelussa pitää huomioida. Teorian pohjalta on helppo havaita kuinka kaikki ilmiöt linkittyvät toisiinsa aina komponenttien valintaan asti.

Solidworksin ohjelmiston opettelussa hyödynsin Inventorista sekä Catia v5:sta opittuja tietoja ja taitoja. Ohjelmistojen samankaltaisuus toimii, jossain määrin helpottavana tekijänä. Solidworksin työkaluja opettelin käyttämään tekemällä useita harjoitustutoralleja, joita löytyy ohjelmiston kirjastosta sekä internetistä. Cx-programmer ohjelman käyttöä opettelin ohjelmistosta löytyvästä manuaalista. Ohjelmisto sisältää lukuisia funktioita joiden toiminnallisia ominaisuudet vaati jossain määrin vieläkin perehtymistä. Manuaali on kattava ja sisältää lukuisia käyttökohde esimerkkejä, joiden avulla on helppo päästä alkuun. Opinnäytetyössä ohjelmistojen osalta ongelmien ratkaisuisa hyväksi käytin useaan kertaan Youtubesta löytyviä opetusvideoita.

Suurin haaste oli vuorotyön ja opinnäytetyön yhdistäminen. Työn ohella tekeminen viivästytti ennen kaikkea lopullisen opinnäytetyön valmistumista oleellisesti. Solidworks ohjelman käyttöä opettelin käytännössä kokonaan omalla ajallani kelluvalla lisenssillä, joka oli saatavilla vain viikonloppuisin. Yrityksessä oli muutenkin lisenssejä saatavilla vain kolme kappaletta, joka omalta osaltaan rajasi aikataulutusta. Cx-programmer ohjelman sain työkoneelleni, joka ei tarvinnut onneksi erillistä lisenssiä

toimiakseen, jolloin ohjelman käytön opettelu ja tekeminen oli suhteellisen kevyttä aikataulun puolesta.

Cx-programmerilla laaditun ohjelman rakentamisen ja suunnittelun tukena oli, valmiiden kuivureiden toiminnalliset toteutukset. Niitä mukailemalla ja muokkaamalla oli suhteellisen helppo tehdä ohjelmoitava logiikka. Ohjelmoitavan logiikan suunnittelussa pyrin kehittämään kuivurin toimintaa paremmaksi kokonaisuudeksi verrattuna sitä aikaisempiin kuivureihin. Toimintojen kehittämisessä on pyritty selvittämään nykyisten kuivureiden rajoitteita ja heikkouksia. Selvitystyössä on tehty myös empiirisiä testejä joiden pohjalta on saatu arvokasta tietoa virtausnopeuksista sekä kuivausajoista. Empiiristen tutkimusten perusteella havaitaan, että kuivurit keräävät paljon puskuria eteensä eikä kuivauksessa hyödynnetä kuivausenergiaa tarpeeksi hyvillä ratkaisuilla. Pahvista tehdyt alustat ovat käytännössä täysin työntekijöiden tekemiä ratkaisuja. Havaintojen pohjalta syntyi idea kuivauskammioiden korkeuden hyödyntämisestä, lisäksi kuivausalustat tulisi suunnitella tiiviiksi, jotta kaikki energia saadaan virtaamaan kennojen lävitse eikä sen ohi.

Laitteiston rungon suunnittelu rakentui pikkuhiljaa komponenttien valinnan kautta. Suurin vaikuttava tekijä laitteiston geometrisissä mitoissa on ehdottomasti ristivirta-LTO:n liittäminen kuivauslaitteiston yhteyteen. Laitteiston runkoa hahmottelin alussa lyijykynällä, kunnes lopullinen kompakti idea valmistui. Kuivurin mallintamisessa ainoaksi huolekseni jäi kuivurin korkeus, mikä omalta osaltaan rajoittaa laitteen sijoittamista sekä liikuttelua, vaikka tavoite oli suunnitella sijoittamista ajatellen joustava ratkaisu. Yksi mahdollinen muutos olisi pienentää puhaltimelta lähtevää suorakaidekanavaa, jolloin laitteiston korkeutta saataisiin laskettua, mutta tällainen toimenpide saattaa puolestaan lisätä puhaltimelle muodostuvaa liitântähäviö riskiä.

Kuivurin kerrostaosassa kuvaamista pidän hyvänä ideana, mutta mikäli olisin rajauksen pitänyt pelkästään kuorma-autokatalysaattoreissa, olisi kuivauskammion geometri- nen konstruktio ollut huomattavasti erilainen. Kuivaus olisi voitu toteuttaa esim. ja-

kamalla tulokanava neljälle kuivauspisteelle, joihin laitetaan vain yksi kenno kerrallaan kuivumaan. Tällöin virtausnopeuksin toteutumien kennoissa olisi voitu mitata jokaisesta kanavasta täsmällisemmin ja voitaisiin samalla kerätä luotettavampaa dataa ylös. Kuivausaikoja tarkastellessa havaittiin, että teoreettisesti lasketut ajat eivät täsmää konkreettisten kuivausaikojen kanssa. Yhtenä syynä tähän voidaan juuri pitää kennossa toteutuvaa virtausvoimakkuutta. Kanavasta mitattu arvo ei toteudu kennon läpivirtauksessa vaan se on huomattavasti pienempi. Huonon kuivausalustan vuoksi kuivausprosessissa tapahtuu ohivirtausta. Tosisijaisena syynä voidaan pitää kemiallisten seosten ominaisuuksia, jolloin veden sitoutuminen kuivausilmaan hidastuu merkittävästi. Kumpaakaan seikkaa ei tässä työssä kuitenkaan lähdetty tutkimaan sen tarkemmin rajauksen vuoksi.

Nykyisten kuivureiden virtausnopeuksien säätäminen on hankala toteuttaa manuaalisen toiminnan vuoksi. Tämän takia kuivurin suunnitellussa pyrittiin luomaan porrastettu automaattinen virtausnopeuden säätö. Kuivauksen onnistuminen on kriittisimmillään kuivauksen alussa, jolloin pinnoitusaine on kosteimmillaan. Tulevaisuudessa kuivurin toimintaa voitaisiin kehittää siten, että antureiden avulla laskettaisiin poistuneen veden määrä. Tämä avulla voitaisiin esim. säätää puhaltimen toimintaa. Tällöin porrastetusta virtausnopeuden säätämisestä tulisi huomattavasti tarkempaa ja tehokkaampaa sekä yksilöllistä, koska kennojen kokoluokat ja pinnoitus rajat vaihtelevat. Kaikissa kennoissa on aina eri määrä kuivattavaa pinnoiteainetta. Tässä työssä porrastettu virtaussäätö on toteutettu ajastimilla, jolloin se on kiinteä ja kaikille tuotteille aivan sama, jolloin sen toiminta ei ole kovinkaan optimaalista.

LÄHTEET

Bohl W/Strömungslehre 1982 suomentanut Matti Krannila. 5. Painos. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Frid J& Johnsson J 2005. Ohjaustekniikka. 1. Painos. Iisalmi: IS Print Oy.

Fonselius J, Pekkola K, Selosmaa S, Ström M, Välimaa T 1996. Automaatiolaitteet. Helsinki: Oy Edita AB.

Halminen E ,Kuvaja O, Köttö R 1994 Ilmastointitekniikka. Helsinki: Saarijärven Offeset Oy.

Harju P 2008 Ilmastointitekniikan oppikirja 1. 1. Painos. Anjalankoski: Penan Tieto-Opus Ky.

Hautala M, Peltonen H 2001. Insinöörin AMK fysiikka osa 1. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Keränen T, Kärkkäinen P, Metso T, Puttonen K 2001 Logiikat ja ohjausjärjestelmät. 1. Painos. Vantaa: Tummavuoren Kirjapaino Oy.

Seppänen O 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver palvelut Oy.

Wuori P.A 1990 Virtausmekaniikan perusteet. 3. Painos. Helsinki: Pikapaino Nitekki Oy.

Ekocoil Oy 2013. Levylämmöntalteenotto vaihtimet Ekocoil verkkosivuilla. Viitattu 2013.11.11

http://www.ekocoil.fi/assets/levyl%c3%a4mm%c3%b6nvaihtimet_v02.pdf

Erway J 2013. Artikkelin Energy recovery how it shapes todays buildings Engineering verkkosivuilla. Viitattu 2013.6.6

<http://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/6516/Energy-Recovery-How-It-Shapes-Todays-Buildings.aspx>

Halkonen T 2005 tutkimus biopolttoaineiden aumakuivauksesta Motiva verkkosivulla. Viitattu 2013.6.4

http://www.motiva.fi/files/7939/Tutkimus_biopolttoaineiden_aumakuivauksesta.pdf

Hantor 2011. Uploads valintamatriisi. Viitattu 2014.4.3 http://hantor.fi/wp-content/uploads/2011/11/Valintamatriisi_virtausanturit-teollisuusprosesseihin1.pdf

Harmon R, Li D, Xu W, and Sunnam R 2013 Heat Recovery Wheel. Center for sustainable landscapes integrated hvac system verkkosivuilla. Viitattu 2013.12.7

http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~russellh/main%20page/components/heat%20wheel/heat_wheel.html

Ahokas J & Hautala M 2012 artikkeli Maatilakuivurit enpos weebly verkkosivuilla.

Viitattu 2013.6.4

<http://enpos.weebly.com/uploads/3/6/7/2/3672459/maatilakuivurit.pdf>

Industrial Omron 2014. Products viitattu 2014.2.3

http://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/automation_systems/software/configuration/cx-one/cx-programmer.html

Industrial Omron 2006. Programming manual Uploads CP1H viitattu 2014.2.3

[http://industrial.omron.com.br/uploads/arquivos/CP1L\(H\)_2007_W451-E1-03_PROGRAMACAO.pdf](http://industrial.omron.com.br/uploads/arquivos/CP1L(H)_2007_W451-E1-03_PROGRAMACAO.pdf)

Karl-klein 2013 kategoria produkt Karl-klein verkkosivuilla. Viitattu 2014.10.2

<http://www.karl-klein.de/index.php?id=44&L=0&kategorie=0&produkt=297>

Laurikko J 1993 pakokaasukurssi oppimateriaali katalysaattorit autotieto verkkosivuilla viitattu 2013.6.4

http://www.autotieto.net/pakokaasukurssi/oppimateriaalit/katalysaattorin_rakennus.htm

Mz aspiratori 2014. Images VM series. Viitattu 2014.6.6

http://www.mzaspiratori.eu/images/flipbook/serie_vm/index.html

Mäkinen P, Railio J 2001. SFP opas flaktwoods verkkosivuilla. Viitattu 2014.20.2

<http://www.flaktwoods.fi/476d6be3-be6e-42e9-bd82-6152ff71a7aa>

Oamk 2013. Aineisto Syswin peruskoulutusmateriaali tekniikka oamk verkkosivuilla.

Viitattu 10.6.2013

http://www.tekniikka.oamk.fi/~timohei/TL602Z/aineisto/syswin_peruskoulutusmateriaali.PDF

Omron corporation 2013. Omron ap products Omron verkkosivuilla. Viitattu

2013.5.5 <http://www.omron-ap.com/products/family/1778/download/catalog.html>

Ourex Oy 2014 puhaltimet RV-C images esitteet Ourex verkkosivuilla. Viitattu

2014.10.2 <http://www.ourex.fi/images/esitteet/puhaltimet/RV-C.pdf>

Rautaruukki Oyj 2014. Kylmavuovattuterasprofiilit C-profiilit Rautaruukki verkkosi-

vuilla. Viitattu 2014.1.1 <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja->

[ratkaisut/Terastuotteet/Kylmamuovattut-terasprofiilit/C-profiilit](http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kylmamuovattut-terasprofiilit/C-profiilit)

Sks automaatio Oy 2007. Viitattu 2013.12.12

[http://www.sks.fi/Sofor/skswww.nsf/images/A410-0007_050607.pdf/\\$FILE/A410-0007_050607.pdf](http://www.sks.fi/Sofor/skswww.nsf/images/A410-0007_050607.pdf/$FILE/A410-0007_050607.pdf)

Smc 2014. Standard air cylinder viitattu 2014.2.2

[http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/05\)Standard_Air_Cylinder/5.1\)Standard_Air_Cylinder/n\)CA2/CA2_EU.pdf](http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/05)Standard_Air_Cylinder/5.1)Standard_Air_Cylinder/n)CA2/CA2_EU.pdf)

Solidworks 2014, solidworks verkkosivuilla. Viitattu 20.2.2014

http://www.solidworks.fi/sw/6455_SVF_HTML.htm

Vaisala 2014. Tuotteet.Viitattu 2014.2.3

<http://www.vaisala.fi/fi/products/humidity/Pages/HMT330.aspx>

Ventur finland ab 2009. Products Ventur verkkosivuilla. Viitattu 2014.10.2

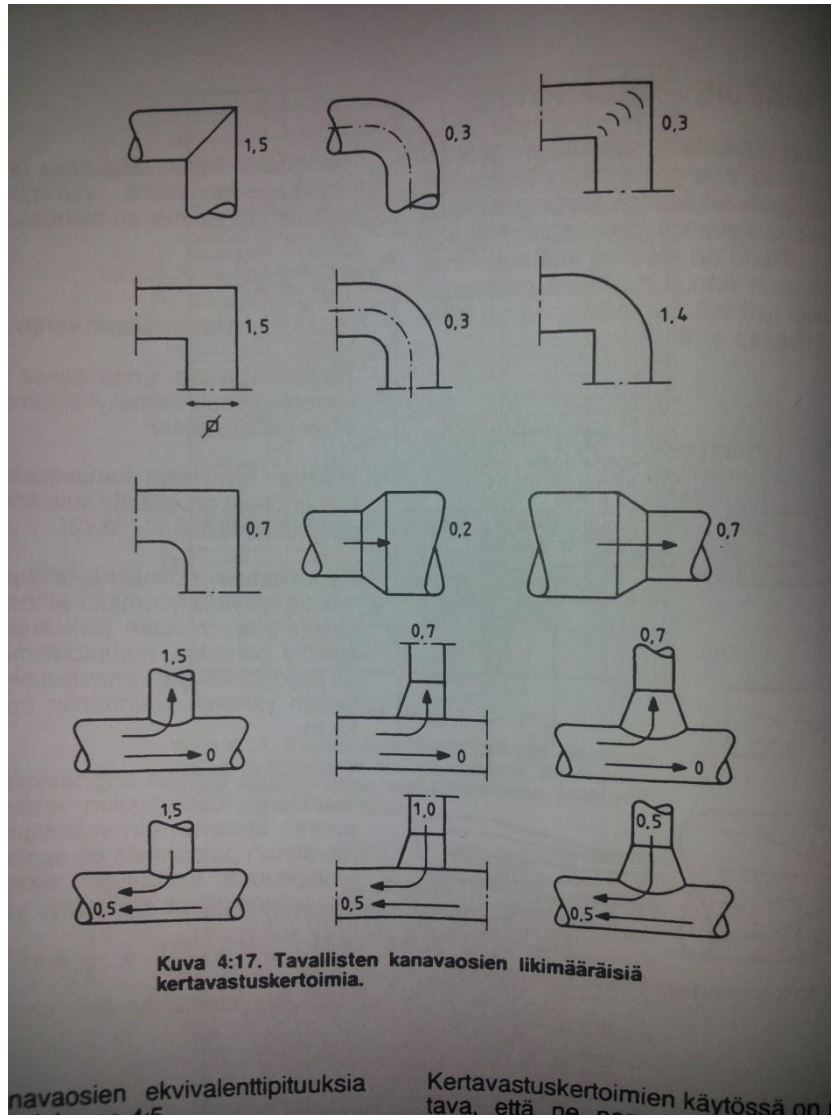
<http://www.ventur.fi/fi/products/product/2864>

Xetexinc 2014. Flat plate crossflow. Xetexinc verkkosivuilla. Viitattu 2014.10.2

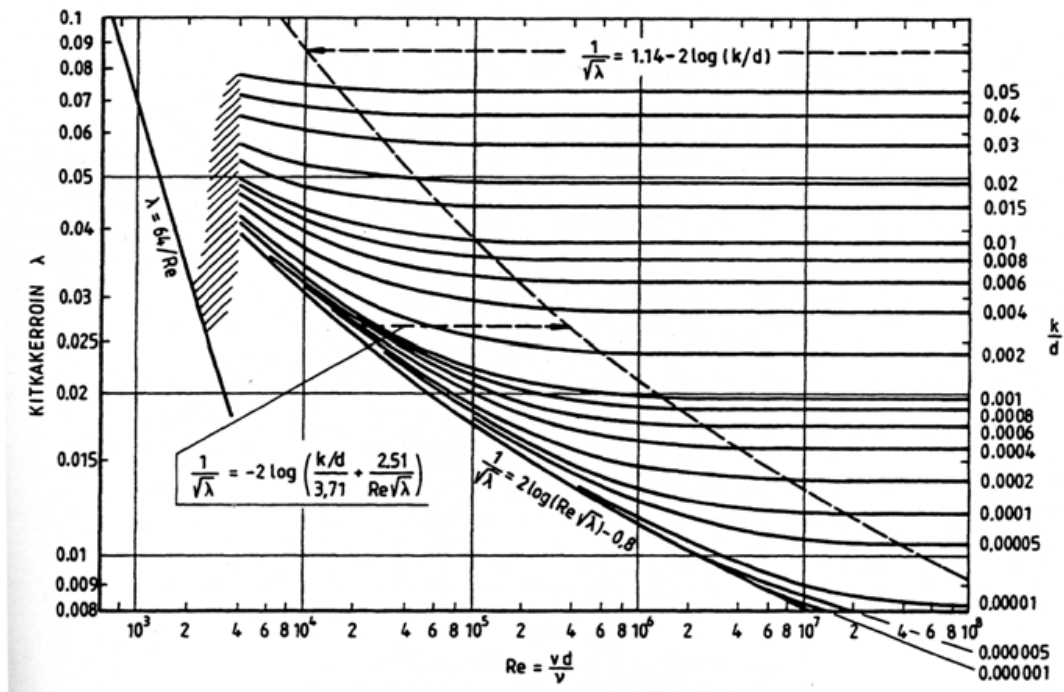
http://www.xetexinc.com/flat_plate_crossflow

LIITTEET

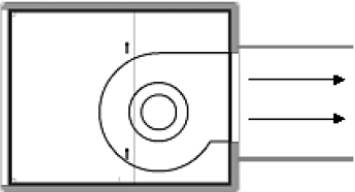
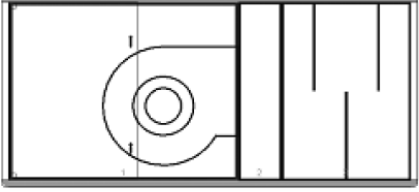
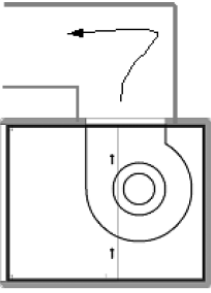
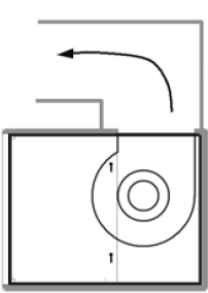
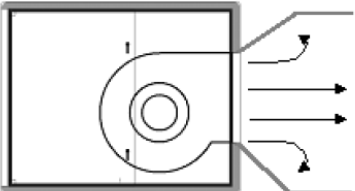
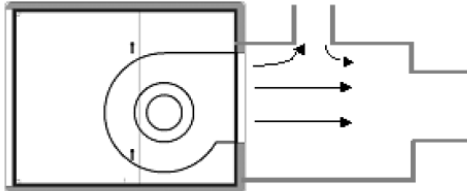
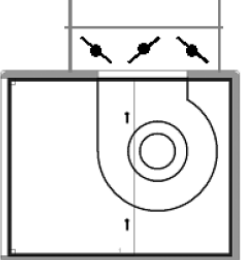
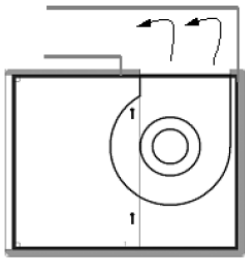
Liite 1. Kanavaosien likimääräisiä kertavastuksia (Seppänen 1996, 100)



Liite 2. Moodyn diagrammi (Seppänen 1996, 97)

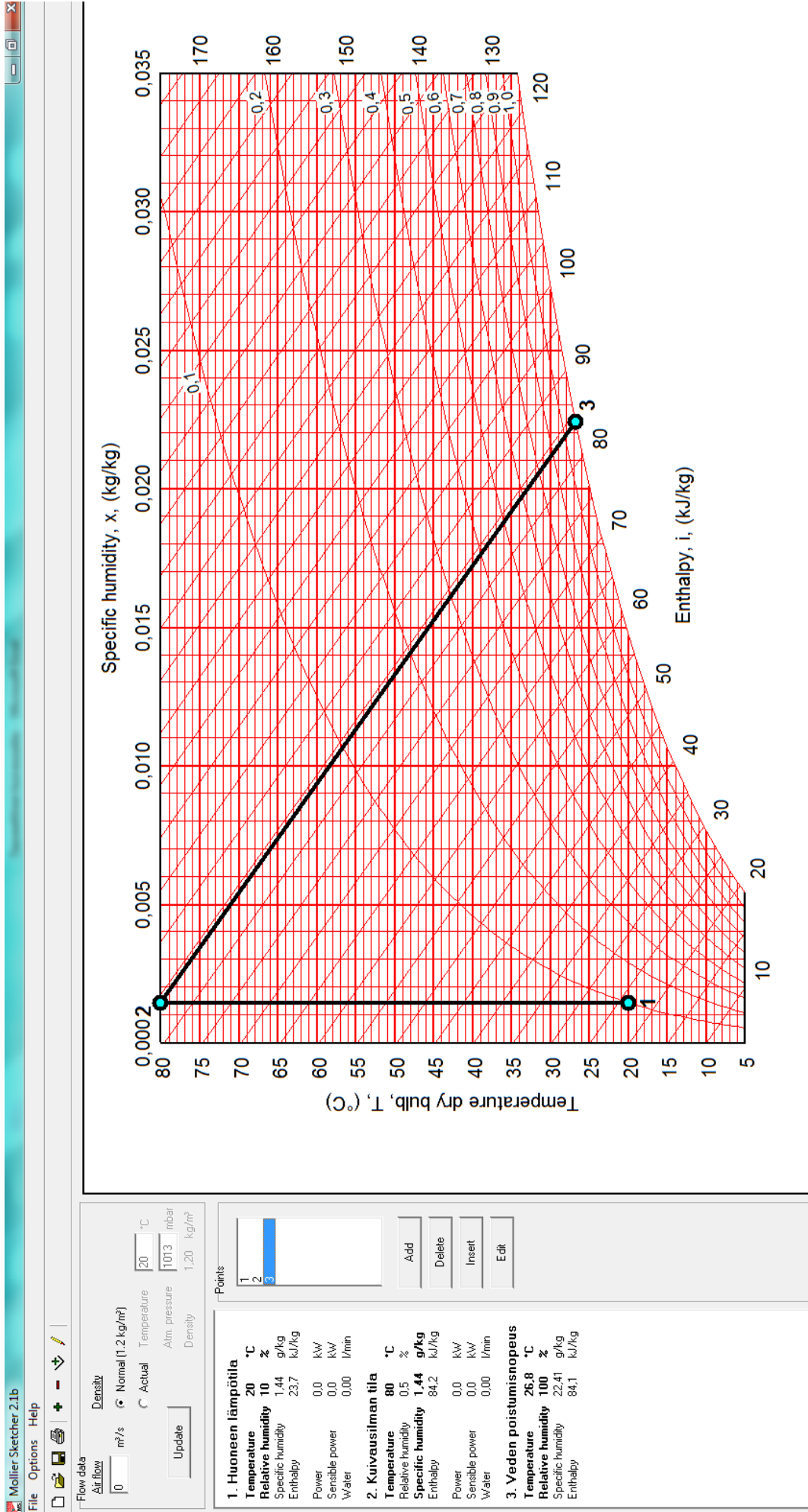


Liite 3. Puhaltimen liitännähäviöitä (Mäkinen P & Railio J 2001, 17-18)

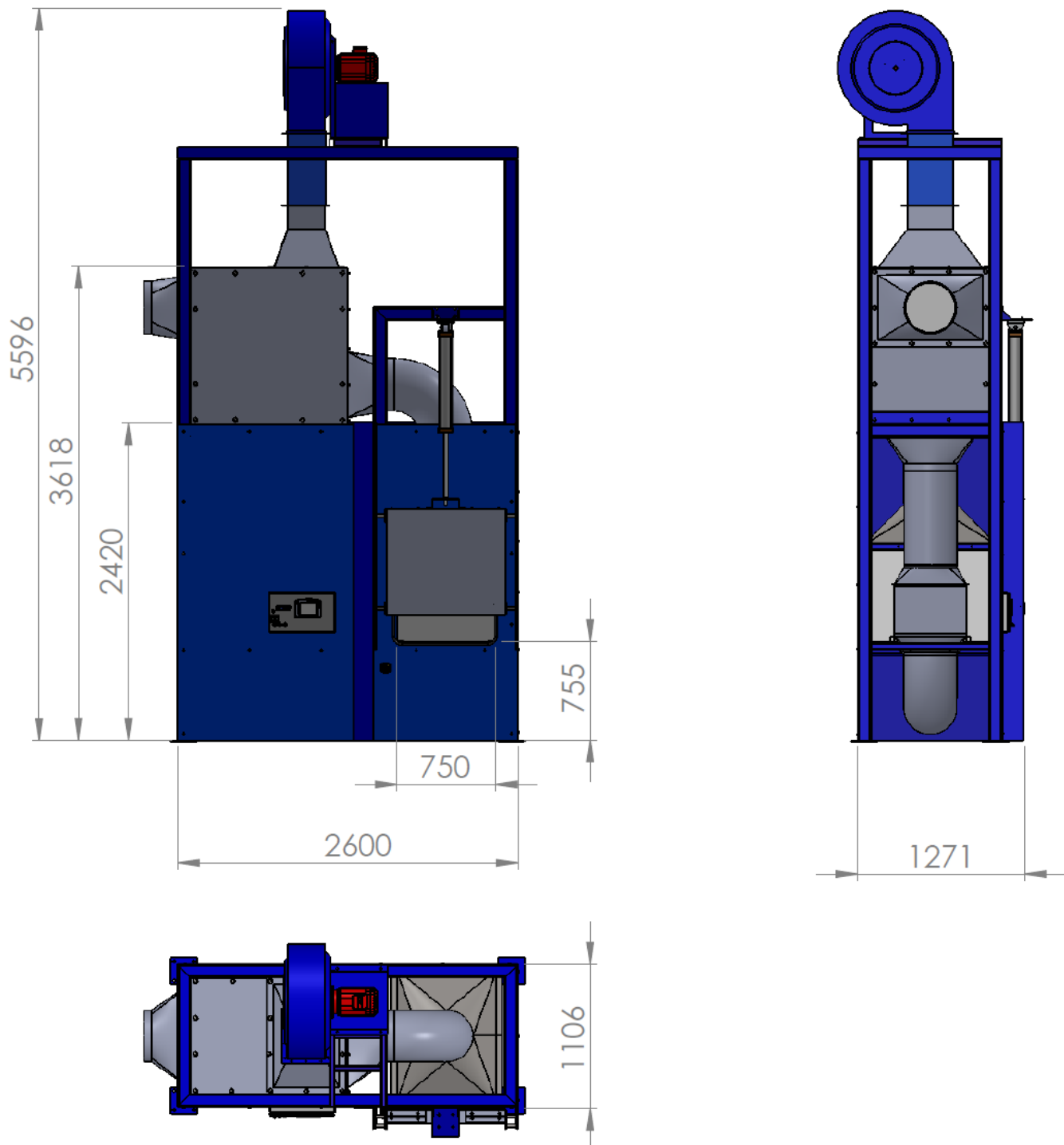
	
<p>Kun ilmanvaihtokoneen puhallin valitaan ja mitoitetaan kanavaliitännäisenä, laskee mitoitusohjelma liitännähäviön käyttäen tiettyä, puhaltimeen liittyvää kanavakokoa. Asennuksessa tulee noudattaa puhaltimen valmistajan suositusta kanavakoon ja esteettömän pituuden suhteen.</p>	<p>Kun ilmanvaihtokoneen puhallin mitoitetaan samaan tuotesarjaan kuuluvan äänenvaimentimen kanssa, ottaa mitoitusohjelma automaattisesti huomioon tarvittavat painehäviökorjaukset. Vaimentimen jälkeen ilman nopeus on niin tasainen, että liitännätavalla ei ole käytännön merkitystä.</p>
	
<p>Mikäli puhaltimen paineaukko liitetään käyrään, joka kääntyy väärään suuntaan puhaltimen pyörimissuuntaan nähden, aiheutuu tästä suuri liitännähäviö, koska puhaltimesta suurella nopeudella tuleva ilmavirta joutuu vaihtamaan suuntaa pienessä tilassa.</p>	<p>Kun käyrä kääntyy samaan suuntaan puhaltimen pyörimissuunnan kanssa, saadaan virtausteknisesti edullinen liitäntä. Puhaltimen pyörimissuunta tuleeekin mahdollisuuksien mukaan aina valita tämän tapauksen mukaisesti.</p>
	
<p>Kanavan laajentaminen jyrkällä 'diffusorilla' ei ole suositeltavaa. Kanavaliitännässä pitää kanavan yläreunan jatkua suoraan pitkin puhaltimen ulospuhallusaukon yläreunaa. Vaihtoehtoisesti kanavan pitää olla kaukana puhallusaukon yläreunasta (= puhallus kammioon -tilanne).</p>	<p>Mikäli puhaltimen painepuoli on liitetty kammioon, josta lähtee kanavaliitäntöjä eri suuntiin, joudutaan ejektorivaikutuksen takia kuristamaan eteenpäin lähtevää kanavaa kohtuuttoman paljon, jotta ilma saataisi menemään ylöspäin olevaan liitäntään.</p>
	
<p>Puhaltimen paineaukkoon ei ilman suojaetäisyyttä pidä asentaa mitään osia, kuten esimerkiksi sälepeltiä. Sälepelti estää virtauksen tasaantumisen ja aiheuttaa näin suuren törmäyshäviön. Samalla pelti joutuu voimakkaasti pyörteilevään ilmavirtaan, jolloin sen elinikä lyhenee ratkaisevasti.</p>	<p>Liian pieni kanavakoko puhaltimen jälkeisessä käyrässä aiheuttaa voimakkaan törmäyshäviön ja virtaushäiriön. Tällöin puhaltimen ilmavirta tulee epästabiiliksi eli puhallin alkaa 'pumpata'. Puhallin pitää voimakasta ääntä ja vaurioituu ennen pitkää. Kanavamitoissa pitää noudattaa valmistajan ohjeita.</p>

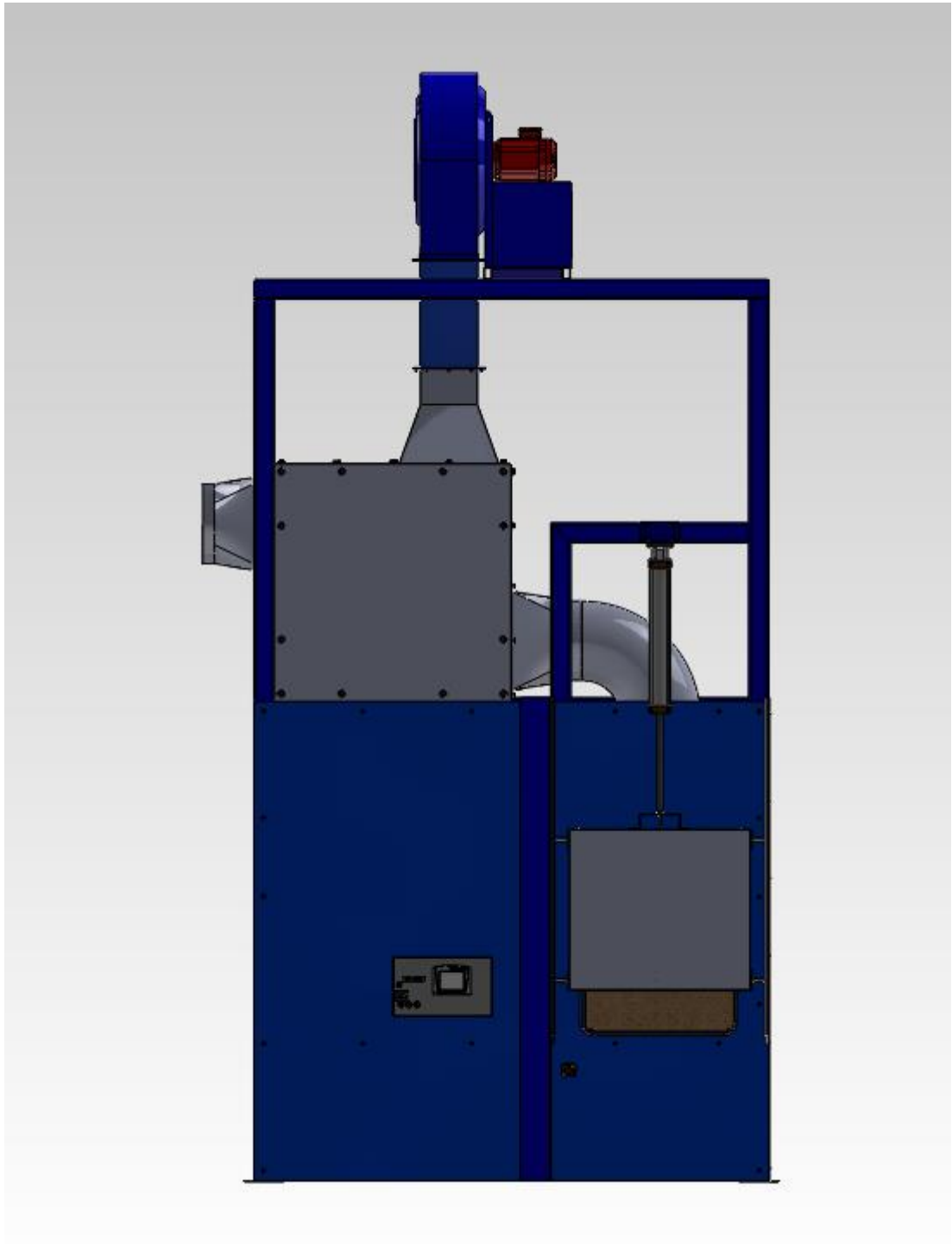
Liite 4. Valmistusaikojen vertailua

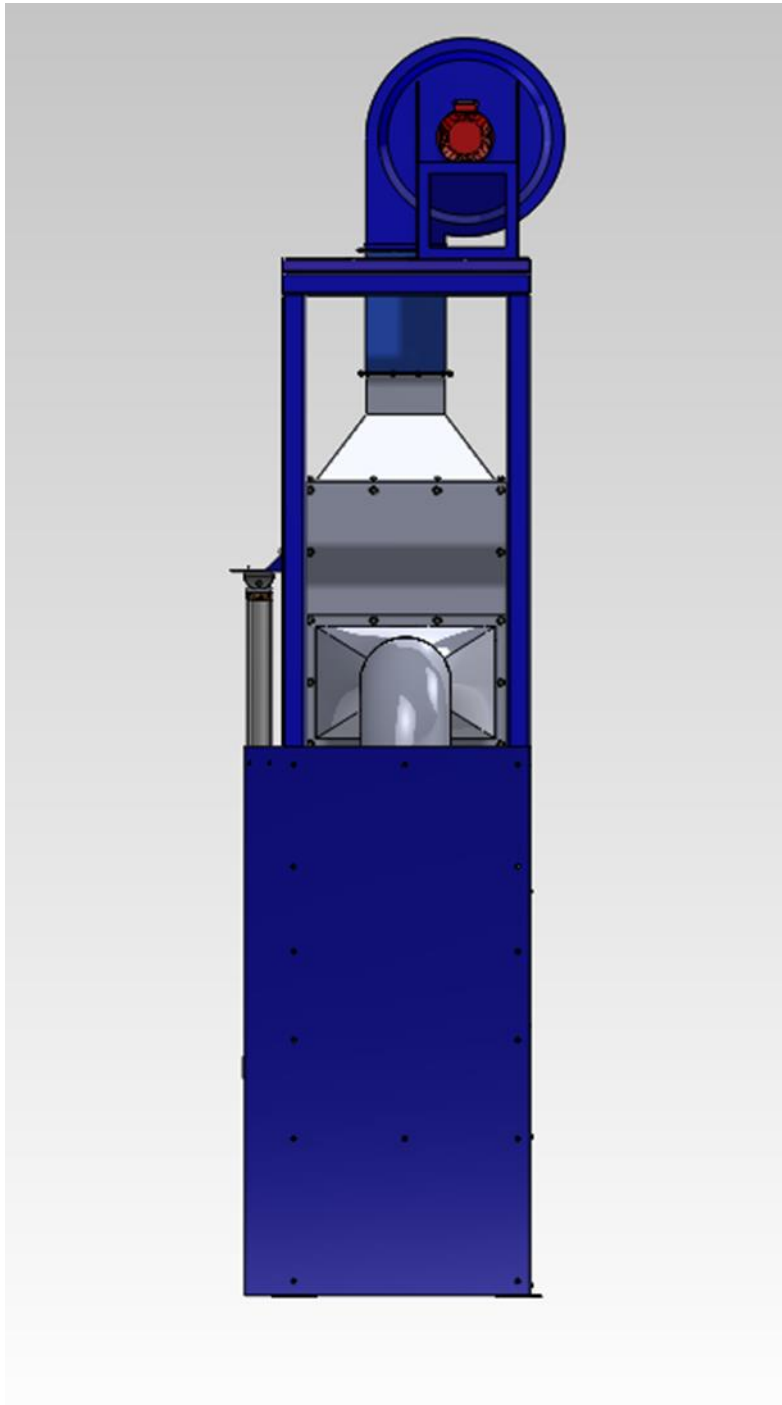
KUORMA-AUTOKATALYSAATTORIT										
HALKASIJÄ	Korkeus	Pinnoitus aika min.	Kuivumisaika min.	Kuivattava kpl määrä	Lämpötila C	Virtaus m/s	Märkäpaine	Tukiaineen Hj%	Vettä	Puskuria muodostuu
270mm	90	4	35	1	80	4,5	1330	32	904	7,75
337mm	90	5	40	1	80	4,5	1427,5	32	971	7
TEOLLISUUSKATALYSAATTORIT										
HALKASIJÄ	Korkeus	Pinnoitus aika min.	Kuivumisaika min.	Kuivattava kpl määrä	Lämpötila C	Virtaus m/s	Märkäpaine	Tukiaineen Hj%	Vettä	Puskuria muodostuu
607,6 mm	75	6	35	1	54	4	2744	34	1811	5
588,6mm	75	6	35	1	54	4	2924	34	1930	5
PIENKATALYSAATTORIT										
HALKASIJÄ	Korkeus	Pinnoitus aika min.	Kuivumisaika min.	Kuivattava kpl määrä	Lämpötila C	Virtaus m/s	Märkäpaine	Tukiaineen Hj%	Vettä	Puskuria muodostuu
150 mm	75	0,5	5	8	80	4	2721,8	39	1660	2
150 mm	75	0,5	5	8	80	4	2857,1	39	1743	2



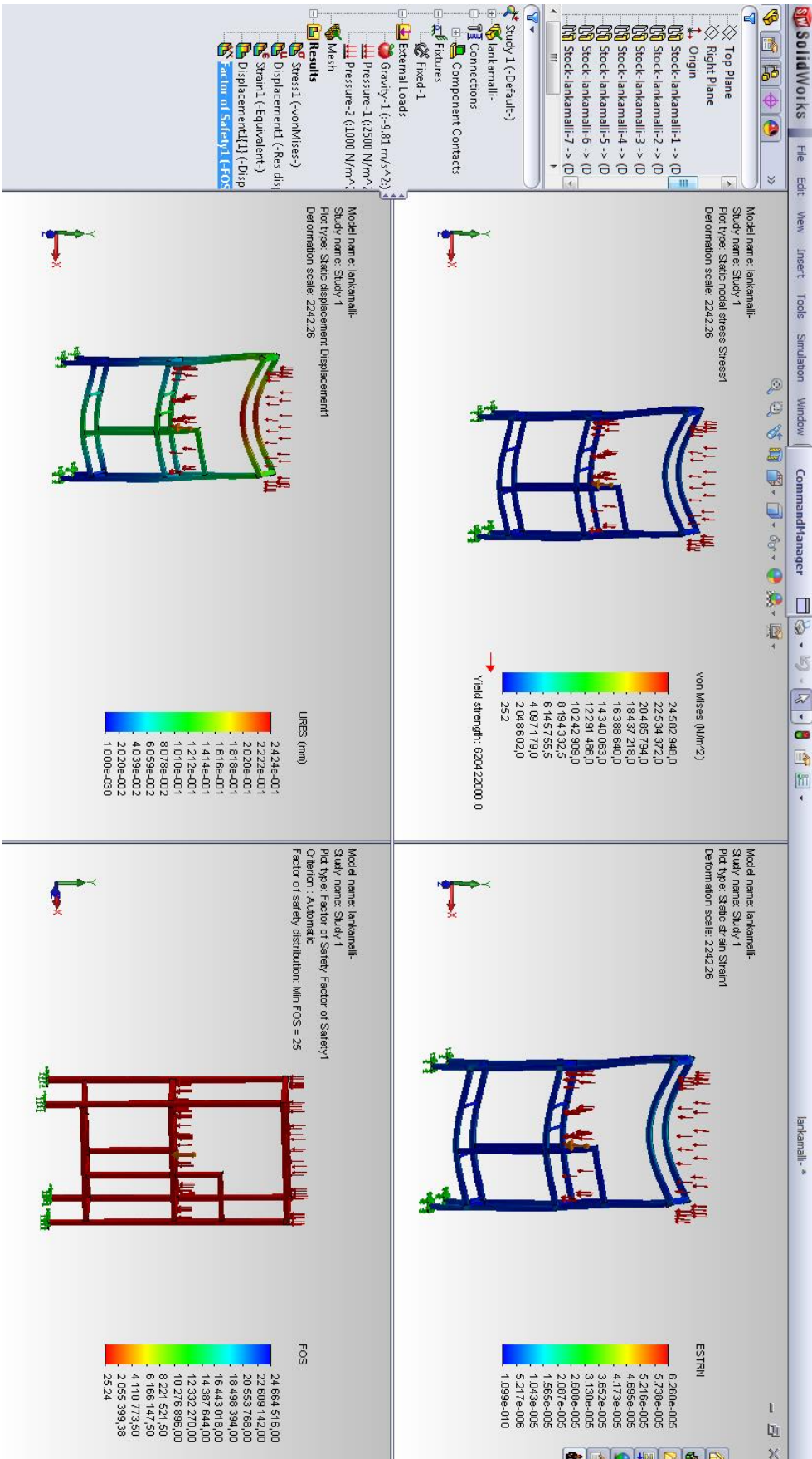
Liite 6. Kuivaimen strategiset mitat



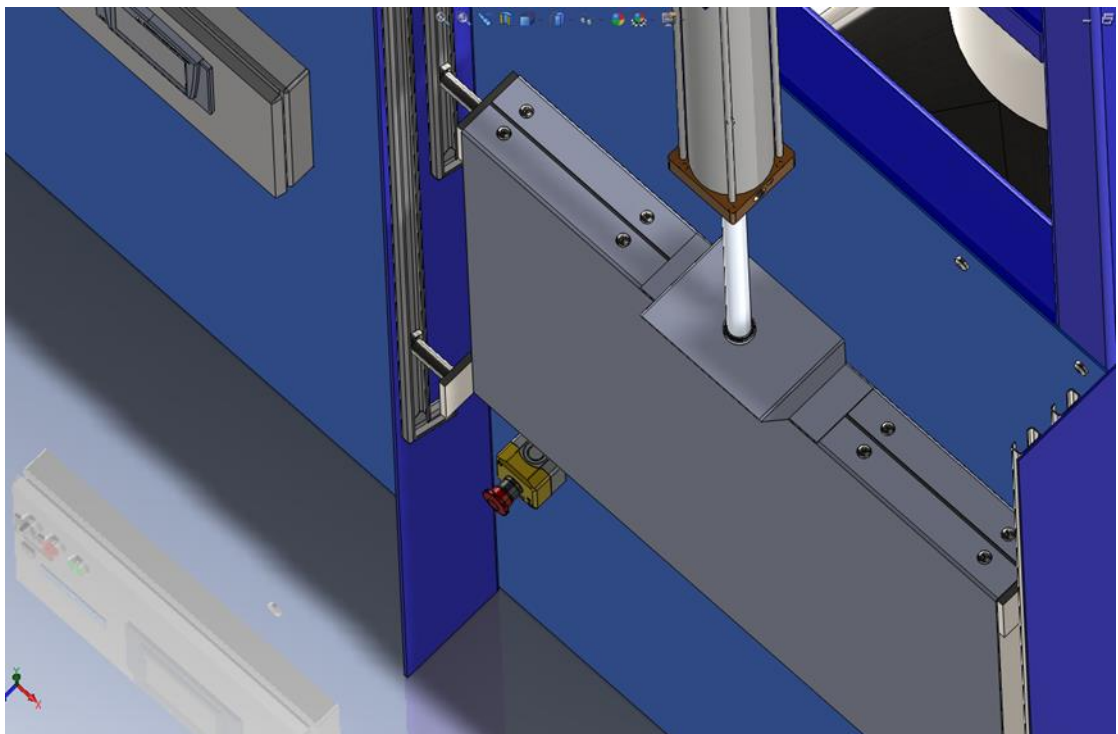
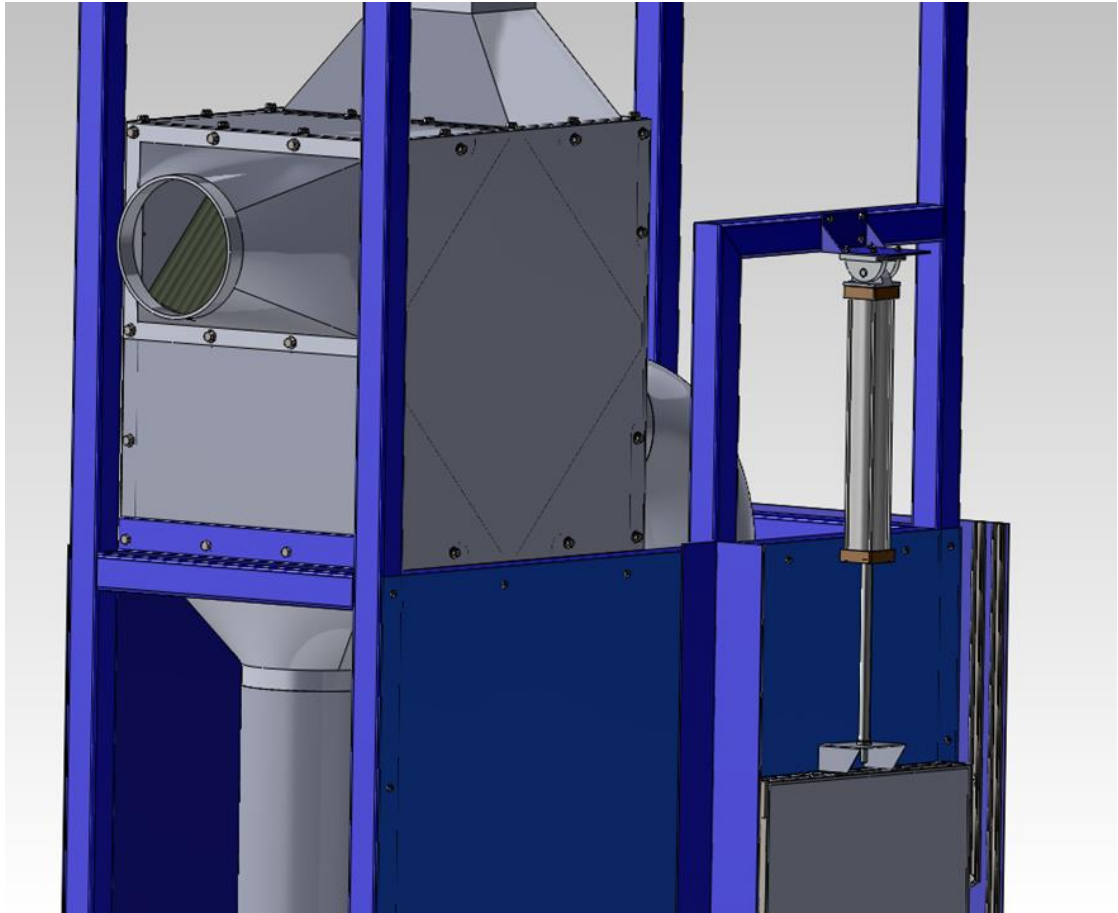




Liite 7. Rasiusten simulointi

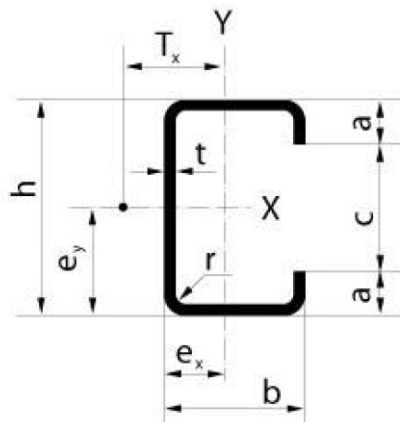


Liite 8. Luukun toiminnan esittely



(Rautaruukki 2014)

Mitat



Merkintäesimerkki

C 14/30/50/30/14 x 3 x 6000 - EN 10162 S235J2 - EN 10204-2.2

Profilin tunnus	
Ulkomitat	
Seinämän paksuus	
Pituus	
Mittastandardi	
Teräslaji	
Ainestodistus	

Teräslaji: S235J2 EN 10025-2:2004, myös ¹⁾DC01 AM EN 10130

h	b	a	c	t	r	A	A _u	M	X - X		Y - Y			
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x 10 ²	m ² / mm	kg/ m	I	W	i	I	W	i
									mm ⁴ x 10 ⁴	mm ³ x 10 ³	mm x 10	mm ⁴ x 10 ⁴	mm ³ x 10 ³	mm x 10
28 ¹⁾	15	8	12	2	2	1.22	0.13	0.95	1.25	0.89	1.01	0.34	0.39	0.53
30	30	10	10	2	2	1.94	0.2	1.52	2.7	1.8	1.18	2.28	1.39	1.08
34	19	8.5	17	2	2	1.52	0.16	1.19	2.48	1.46	1.28	7.13	0.63	0.69
50	30	14	22	3	3	3.55	0.24	2.78	2.51	5	1.88	4.24	2.42	1.09
50	40	10	30	3	3	3.91	0.27	3.07	15.48	6.19	1.99	7.59	3.13	1.39
100	50	15	70	3	3	6.31	0.43	4.95	97.73	19.55	3.94	20.52	6.25	1.80

A = Poikkileikkauspinta-ala

M = Paino

W = Taivutusvastus

A_u = Ulkopinta-ala

I = Jäyhyysmomentti

i = Jäyhyysäde

h	b	t	I _d	I _w	S _y	i _p	e ^x	e _y	T _x
mm	mm	mm	mm ⁴ x 10 ⁴	mm ⁶ x 10 ⁶	mm ³ x 10 ³	mm x 10	mm x 10	mm x 10	mm x 10
28	15	2	0.02	0.78	0.57	1.73	0.62	1.4	1.3
30	30	2	0.03	7.15	1.07	3.31	1.36	1.5	2.89
34	19	2	0.02	2.18	0.9	2.18	0.76	1.7	1.63
50	30	3	0.11	31.49	3.08	3.46	1.25	2.5	2.69
50	40	3	0.17	41.1	3.65	4.14	1.57	2.5	3.35
100	50	3	0.19	429.7	11.47	5.83	1.72	5	3.91

I_d = VääntöjäyhyysmomenttiS_y = Painopisteakselin toiselle puolelle jäävä poikkipinnan staattinen momentti y-suuntaanI_w = KäyritysmisjäyhyysT_x = Vääntökeskiön etäisyys painopisteestä (T_y = 0)i_p = Polaarinen jäyhyysädeTiheys = 7850 kg/m³

Yllä olevassa taulukossa näkyvät varastoprofiilit.

Liite 9. Kanaviston ja tilavuusvirran mitoittaminen

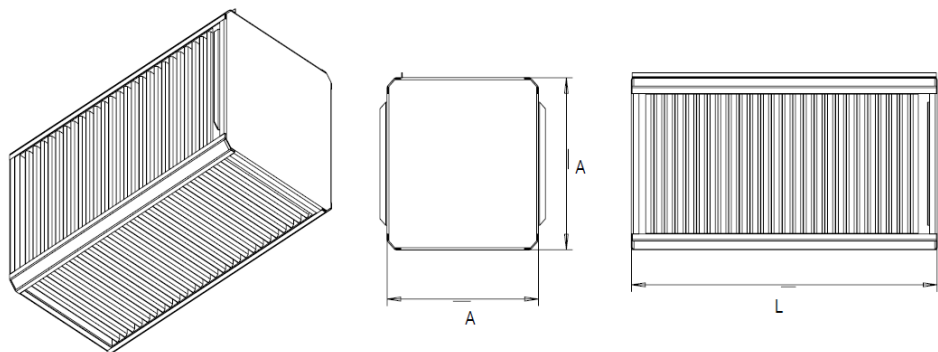
Kuivattavan tuotteen virtausnopeuden sekä tilavuusvirran laskeminen		
Kennon halkaisija (d):	337	mm
Kennon säde (r):	168,5	mm
	0,1685	m
Kennon pinta-ala (A):	0,0892	m ²
Kuivattava määrä:	4	kpl
Virtausnopeus kennoissa:	4,5	m/s
Kenno lävites kulkeva tilavuusvirta:	0,4012	m ³ /s
		Kaava 12
Kanavistoon tarvittava kokonaistilavuusvirta:	1,6047	m ³ /s
	5777	m ³ /h
Tilavuusvirran laskeminen kanavistossa		
Ilmastointiputken (d):	400	mm
	0,4	m
Ilmastointiputken (A):	0,1257	m ²
Virtausnopeus	13	m/s
	46800	m/h
Tilavuusvirta	1,6	m ³ /s
	5881	m ³ /h
		Kaava 12

Liite 10. LTO:n mittatiedot (Ekocoil Oy 2013)

Levylämmönvaihtimet

Mittatiedot LED

MALLI [LED-xx-L-levyväli mm]	A [mm]	L [mm]
LED-200-L-2.0	200	100 - 550
LED-200-L-2.4	200	100 - 550
LED-200-L-2.8	200	100 - 550
LED-300-L-2.4	300	100 - 550
LED-300-L-3.0	300	100 - 550
LED-300-L-3.8	300	100 - 550
LED-400-L-2.4	400	100 - 550
LED-400-L-3.0	400	100 - 550
LED-400-L-3.8	400	100 - 550
LED-660-L-4.0	660	100 - 1000
LED-660-L-5.0	660	100 - 1000
LED-870-L-4.0	870	100 - 1000
LED-870-L-5.2	870	100 - 1000



Liite 11. LTO:n tekniset tiedot (salattu)

Liite 12. Vastuksen mitoittaminen

Vastustehon mitoittaminen ominaisentalpian avulla:							
Tuloilma	15	°C		Ilmansuhteellinen kosteus	φ	70	%
Kuivausilma	90	°C		Vesihöyrörynosapaine tuloilman	p_{hs}	1683,78	Pa Kaava 5
Tilavuusvirta	q_v 6000	m ³ /h		Vesihöyrörynosapaine	p_h	1178,65	Pa Kaava 6
Ilmanpaine	p 101325	Pa		Kosteussuhde	x	0,00732	kg/kg Kaava 4
Ilman mooli	M 28,97	g/mol		Ilman ominaislämpökapasiteetti	C_{pi}	1,006	kJ/(kg*°C)
Moolin kaasuvakio	R 8,3143	J/(moi*K)		Veden höyrystymis lämpötila	I_{h0}	2501	kJ/kg
Tuloilma Kelvin	288	K		Vesihöyrön ominaislämpökapasiteetti	c_{ph}	1,85	kJ/kg
Ilmantiheys	ρ 1225,9	g/m ³	Kaava 2	Vesihöyrön entalpia	h_h	2639,75	kJ/kg Kaava 10
Ilmantiheys	ρ 1,2259	kg/m ³		Kuivailman entalpia	h_i	90,54	kJ/kg Kaava 9
Massavirta	2,0431	kg/s		Kostean ilman ominaisentalpia	h	33,60	kJ/kg Kaava 11
				Tuotu entalpia		56,94	kJ/kg
				Teho		116,332	kW Kaava 13
Vastustehon määrittäminen kuivan ilman lämpösisällön avulla:							
Teho (P):	154,15	kW					Kaava 12
Vastustehon määrittäminen LTO hyötysuhteen mukaan huomioiden ominaisentalpiassa:							
Tuloilma	63	°C		Ilmansuhteellinen kosteus	φ	3	%
Kuivausilma	90	°C		Vesihöyrörynosapaine tuloilman	p_{hs}	22632,7	Pa Kaava 5
Tilavuusvirta	q_v 6000	m ³ /h		Vesihöyrörynosapaine	p_h	678,981	Pa Kaava 6
Ilmanpaine	p 101325	Pa		Kosteussuhde	x	0,0042	kg/kg Kaava 4
Ilman mooli	M 28,97	g/mol		Ilman ominaislämpökapasiteetti	C_{pi}	1,006	kJ/(kg*°C)
Moolin kaasuvakio	R 8,3143	J/(moi*K)		Veden höyrystymis lämpötila	I_{h0}	2501	kJ/kg
Tuloilma Kelvin	336	K		Vesi höyrön ominaislämpökapasiteetti	c_{ph}	1,85	kJ/kg
Ilmantiheys	ρ 1050,8	g/m ³	Kaava 2	Vesihöyrön entalpia	h_h	2617,55	kJ/kg Kaava 10
Ilmantiheys	ρ 1,0508	kg/m ³		Kuivailman entalpia	h_i	90,54	kJ/kg Kaava 9
Massavirta	1,7513	kg/s		ominaisentalpia	h	74,3616	kJ/kg Kaava 11
				Tuotu entalpia		16,1784	kJ/kg
				Teho (P):		28,3324	kW Kaava 13
Vastustehon määrittäminen LTO mukaan huomioiden kuivan ilman lämpösisällön avulla:							
Teho (P):	47,568	kW					Kaava 12

Liite 13. Vastuksen geometriset mitat (salattu)

Liite 14. Kanaviston eristäminen

12.6.2013, Markus Haukka

PAROC Calculus

Teknisten eristeiden laskentaohjelma

Laskenta 1 : Suorakaidekanava

Kohde

Materiaali	Teräs
Paksuus	1 mm
Virtausnopeus	10 m/s
Pituus	0.729 m
Leveys	0.185 m
Korkeus	0.258 m

Eristys

1 - PAROC Pro Wired Mat 100	50 mm	26 °C
-----------------------------	-------	-------

Päällyste

Emissiivisyys	0.9
---------------	-----

Sisältö

Tyyppi	Ilma
Lämpötila	90 °C

Ympäristö

Ympäristön lämpötila	20 °C
Ympäristön ilman nopeus	0 m/s
Suhteellinen kosteus	50 %

Energia

Energialähde	Sähköenergia
Vuotuinen käyttöaika	4950 h
Energian hinta	8 Ct/kWh

Tulokset

Lämpöhäviö	69.7 W/m
Section total heatloss	50.8 W
Lämpöhäviö eristämättömänä	754 W/m
Pintalämpötila	25.8 °C
Kastepiste	9.3 °C
Sisällön lämpötilamuutos	-0.1 °C

Vuotuiset säästöt	198 €/vuosi
CO2 emission väheneminen verrattuna eristämättömään	1 kg/vuosi

12.6.2013, 19:33, Markus Haukka

PAROC Calculus

Teknisten eristeiden laskentaohjelma

Laskenta 2 : Pyöreä kanava

Kohde

Materiaali	Teräs
Paksuus	0.9 mm
Virtausnopeus	10 m/s
Pituus	2.156 m
Ulkohalkaisija	400 mm

Eristys

1 - PAROC Pro Wired Mat 130 AL1	50 mm	31 °C
---------------------------------	-------	-------

Päällyste

Emissiivisyys	0.15
---------------	------

Sisältö

Tyyppi	Ilma
Lämpötila	90 °C

Ympäristö

Ympäristön lämpötila	20 °C
Ympäristön ilman nopeus	0 m/s
Suhteellinen kosteus	50 %

Energia

Energialähde	Sähköenergia
Vuotuinen käyttöaika	4950 h
Energian hinta	8 Ct/kWh

Tulokset

Lämpöhäviö	68.6 W/m
Section total heatloss	148 W
Lämpöhäviö eristämättömänä	843 W/m
Pintalämpötila	31.5 °C
Kastepiste	9.3 °C
Sisällön lämpötilamuutos	-0.1 °C

Vuotuiset säästöt	662 €/vuosi
CO2 emission väheneminen verrattuna eristämättömään	3.3 kg/vuosi

Liite 15. Vastapaineiden excel-työkalu

Pyöreän kanavan aiheuttama painehäviö:			
Kitkakerroin (λ)	0,015071		Kaava 19
Kanavan pituus (l)	4	m	
Kanavan halkaisija (d)	0,4	m	
Ilman tiheys (ρ)	1,2	kg/m ³	
ilman nopeus (v)	10	m/s	
Reynoldsinluku (R)	250000		Kaava 14
ilman kinemaattinen viskositeetti	0,000016		
Painehäviö	9,04	Pa	Kaava 19
Suorakaide kanavan aiheuttama painehäviö:			
Kitkakerroin (λ)	0,016974		Kaava 19
Kanavan pituus (l)	0,729	m	
Kanavan hydraulinen halkaisija (d)	0,22	m	Kaava 23
Ilman tiheys (ρ)	1,2	kg/m ³	
ilman nopeus (v)	10	m/s	Kaava 14
Reynoldsinluku (R)	134678,3		
ilman kinemaattinen viskositeetti	0,000016	m	Kaava 23
kanatti (a)	0,19	m	
kanatti (b)	0,26	m	
Painehäviö	3,45	Pa	Kaava 19
90° Mutkan aiheuttama painehäviö:			
Kanavaosan vastuskerroin	0,3		
Mutkia yht.	3	KPL	
Ilman tiheys	1,2	kg/m ³	
Virtausnopeus	10	m/s	
Painehäviö	18,0	Pa	Kaava 15
Painehäviö mutkissa yht.	54,0	Pa	

Konfussorin aiheuttama painehäviö:			
Kanavaosan vastuskerroin	2		
Ilman tiheys	1,2	kg/m ³	
Virtausnopeus	10	m/s	
Painehäviö	120,0	Pa	Kaava 15
Painehäviö yht.	240,0	Pa	
90° Äkillinen mutka			
Kanavaosan vastuskerroin	1,5		
Mutkia yht.	1		
Ilman tiheys	1,2	kg/m ³	
Virtausnopeus	10	m/s	
Painehäviö	90	Pa	Kaava 15
Painehäviö mutkissa yht.	90	Pa	

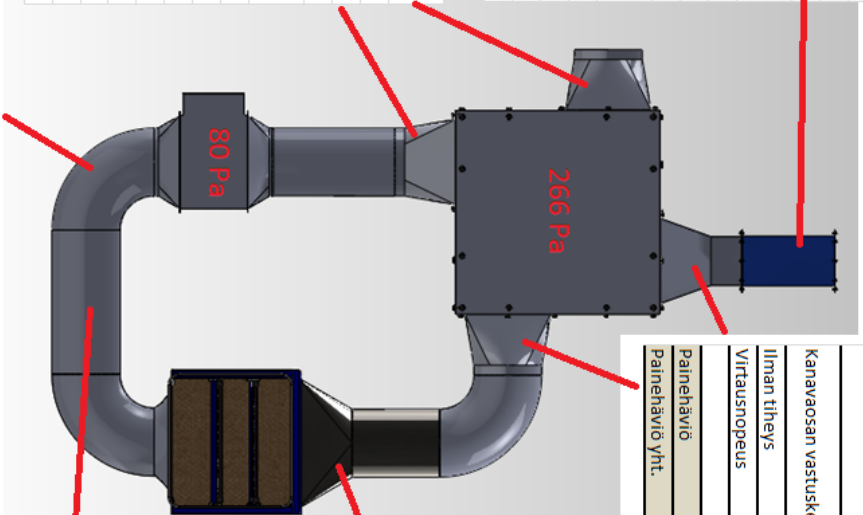
Äkillinen supistumisen aiheuttama painehäviö:			
Suorakaiteesta ympyrään			
Vastuskerroin	0,4096		Kaava 19
Pinta-ala:	0,349066	m	
Hydraulinen halkaisija	0,666667	m	Kaava 23
Pinta-ala:	0,125664	m	
Halkaisija	0,4		
Virtausnopeus	10	m/s	
Painehäviö	24,6	Pa	Kaava 15
Äkillinen laajentumisen aiheuttama painehäviö:			
Vastuskerroin	0,414186		Kaava 17
Kanavan halkaisija	0,4	m	
Kanavan hydraulinen halkaisija	0,67	m	Kaava 23
Ilman tiheys	1,2	kg/m ³	
Virtausnopeus	13	m/s	
Painehäviö	41,9985	Pa	Kaava 15
Diffusorin aiheuttama painehäviö:			
Riippuvuus kerroin	6,461607		Kaava 18
Vastuskerroin	0,014		
Kulma	10		
Ison kanavan hydraulinen halkaisija	0,70	m	Kaava 23
Katetti a	0,7	m	
Katetti b	0,7	m	
Pienen kanavan halkaisija	0,4	m	
Ilman tiheys	1,2	kg/m ³	
Virtausnopeus	10	m/s	
Painehäviö	5,4	Pa	Kaava 15

Diffusorin aiheuttama painehäviö:			
Riippuvuus kerroin	4,48894		Kaava 18
Vastuskerroin	0,014		
Kulma	20		
Ison kanavan hydraulinen halkaisija	0,86	m	Kaava 23
Katetti a	1	m	
Katetti b	0,75	m	
Pienen kanavan halkaisija	0,4	m	
Ilman tiheys	1,2	kg/m ³	
Virtausnopeus	10	m/s	
Painehäviö	3,8		

Liite 16. Kanaviston vastapaineiden määrittäminen

Suorakaide kanavan aiheuttama painehäviö:		
Kitkakerroin (λ)	0,016974	Kaava 19
Kanavan pituus (l)	0,729	
Kanavan hydraulinen halkaisija (d)	0,22	Kaava 23
Ilman tiheys (ρ)	1,2	
Ilman nopeus (v)	10	Kaava 14
Reynoldsinluku (R)	134678,3	
Ilman kinemaattinen viskositeetti	0,000016	Kaava 23
katetti (a)	0,19	
katetti (b)	0,26	
Painehäviö	3,45	Kaava 19

Diffusorin aiheuttama painehäviö:		
Riippuvuus kerroin	3,548984	Kaava 18
Vastuskerroin	0,014	
Kulma	10	
Ison kanavan hydraulinen halkaisija	0,62	Kaava 23
Katetti a	0,8	
Katetti b	0,5	
Pienen kanavan halkaisija	0,4	
Ilman tiheys	1,2	
Virtausnopeus	10	
Painehäviö	3,0	Kaava 15



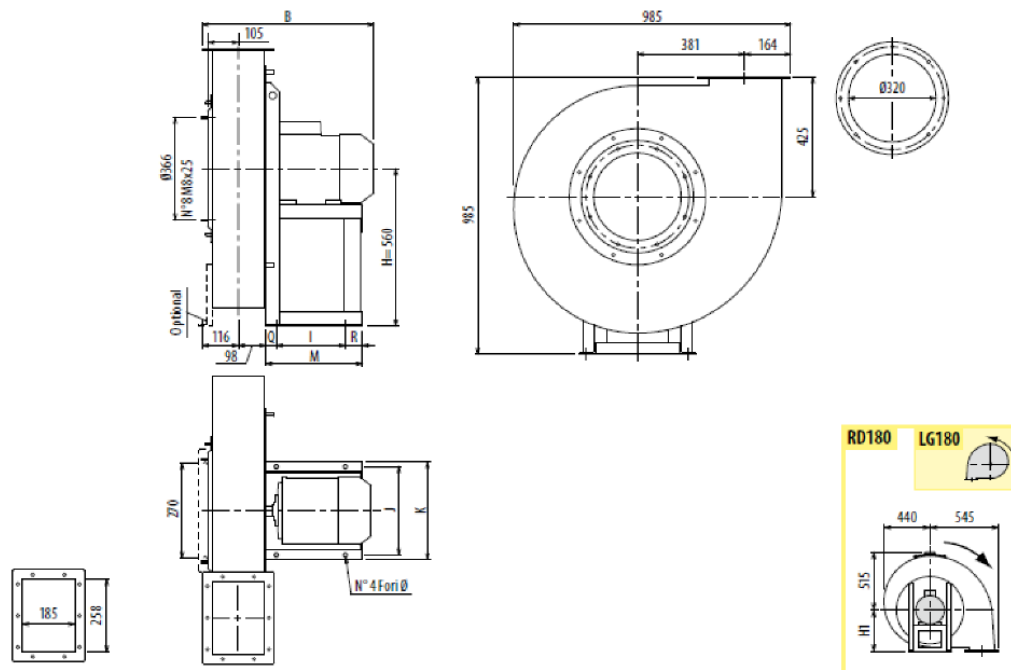
Konttuurin aiheuttama painehäviö:		
Kanavaosan vastuskerroin	2	
Ilman tiheys	1,2	
Virtausnopeus	10	
Painehäviö	120,0	Kaava 15
Painehäviö yht.	240,0	

Diffusorin aiheuttama painehäviö:		
Riippuvuus kerroin	4,48894	Kaava 18
Vastuskerroin	0,014	
Kulma	20	
Ison kanavan hydraulinen halkaisija	0,86	Kaava 23
Katetti a	1	
Katetti b	0,75	
Pienen kanavan halkaisija	0,4	
Ilman tiheys	1,2	
Virtausnopeus	10	
Painehäviö	3,8	Kaava 15

Pyöreän kanavan aiheuttama painehäviö:		
Kitkakerroin (λ)	0,015071	Kaava 19
Kanavan pituus (l)	2,162	
Kanavan halkaisija (d)	0,4	
Ilman tiheys (ρ)	1,2	
Ilman nopeus (v)	10	
Reynoldsinluku (R)	250000	Kaava 14
Ilman kinemaattinen viskositeetti	0,000016	
Painehäviö	4,89	Kaava 19

90° Mutkan aiheuttama painehäviö:		
Kanavaosan vastuskerroin	0,3	
Mutkia yht.	3	KPL
Ilman tiheys	1,2	
Virtausnopeus	10	
Painehäviö	18,0	
Painehäviö mutkissa yht.	54,0	

Liite 17. Puhaltimen mittatiedot (Mz aspiratori 2014, 13)



Pos.1

VM 630/N2 LG180

Puhallintyyppi
ATEX-luokitus
Materiaali
Pintakäsittely
Ilmamäärä
Paine
Moottori

HINTA: € /NETTO KPL

Suorakäyttöinen keskipakoispuhallin
Ei ole
Kaapu ja siipipyörä terästä
Qualicoat polyesterijauhemaalaus, sininen RAL 5010
6000m³/h
6000Pa
18,5kW, 2940rpm, 3~400/690V, 50Hz, IP55, IE2,
soveltuu 400V taajuusmuuttajakäyttöön

Tarjottuun puhaltimeen sisältyy huoltoluukku (punainen RAL 2002).

Liite 18. Logiikan tekniset tiedot (Industrial 2006)

CP1H CPU Unit Models

Model	X CPU Units		XA CPU Units		Y CPU Units
	CP1H-X40DR-A (relay outputs)	CP1H-X40DT-D (transistor outputs, sinking) CP1H-X40DT1-D (transistor outputs, sourcing)	CP1H-XA40DR-A (relay outputs)	CP1H-XA40DT-D (transistor outputs, sinking) CP1H-XA40DT1-D (transistor outputs, sourcing)	CP1H-Y20DT-D (transistor outputs, sinking) (to be released soon)
Power supply	100 to 240 VAC 50/60 Hz	24 VDC	100 to 240 VAC 50/60 Hz	24 VDC	24 VDC
Program capacity	20K steps				
Max. number of I/O points (See note.)	320				300
Normal I/O	I/O points	40			20
	Input points	24			12
	Input specifications	24 VDC			
	Interrupt or quick-response inputs	8 max.			6 max.
	Output points	16			8
High-speed counter inputs	High-speed counter inputs	4 axes, 100 kHz (single phase)/50 kHz (differential phases)			2 axes, 1 MHz (single phase)/50 kHz (differential phases)
	Dedicated high-speed counter input terminals	None			2 axes, 1 MHz (single phase)/500 kHz (differential phases)
Pulse outputs	Built-in I/O terminal allocation	Unit version 1.0 and earlier: 2 axes, 100 kHz, 2 axes, 30 kHz Unit version 1.1 and later: 4 axes, 100 kHz			2 axes, 100 kHz
	Dedicated pulse output terminals	None			2 axes, 1 MHz
Built-in analog I/O	None		Analog voltage/current inputs: 4 Analog voltage/current outputs: 2		None

I/O Specifications

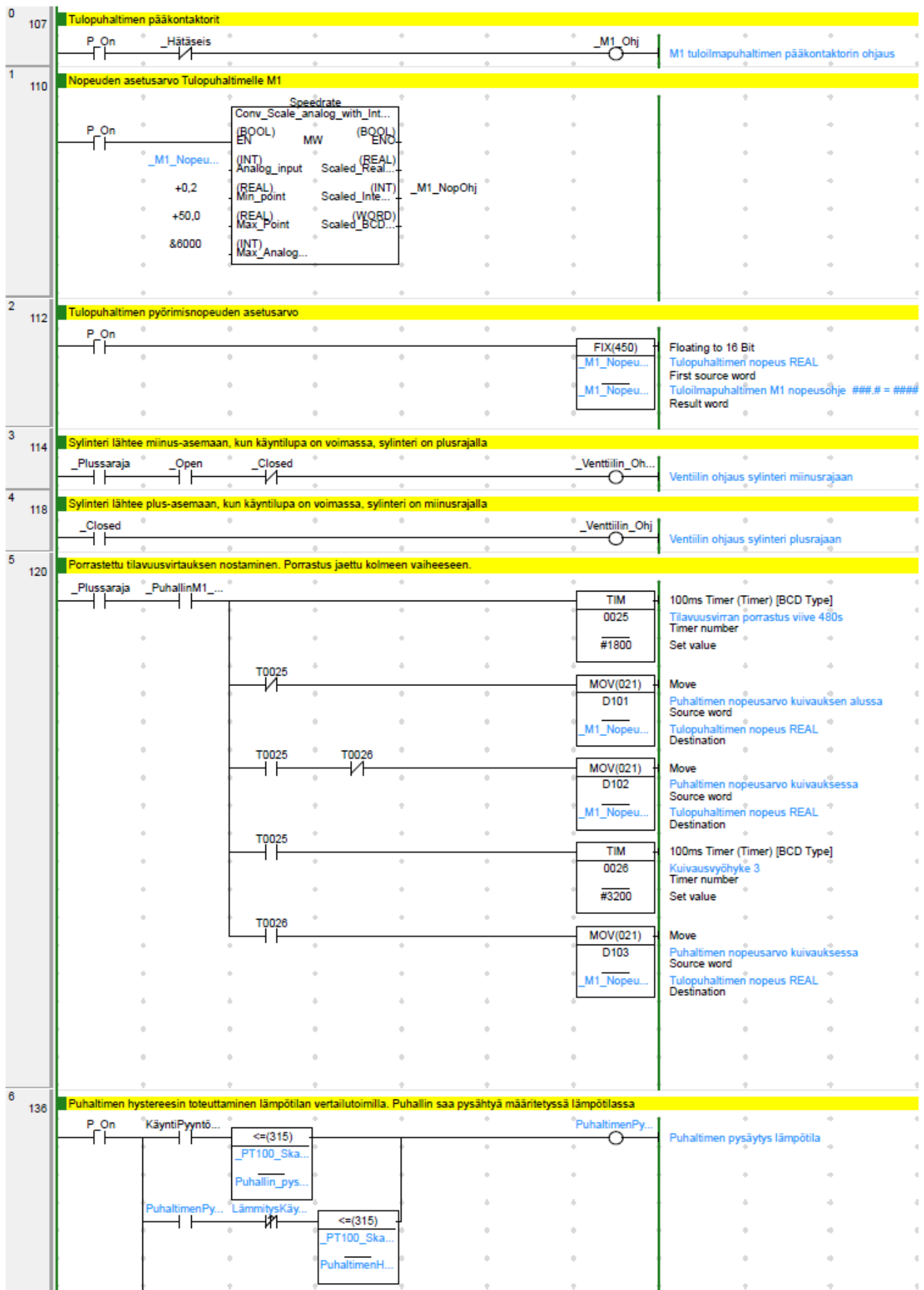
Analog Input Specifications

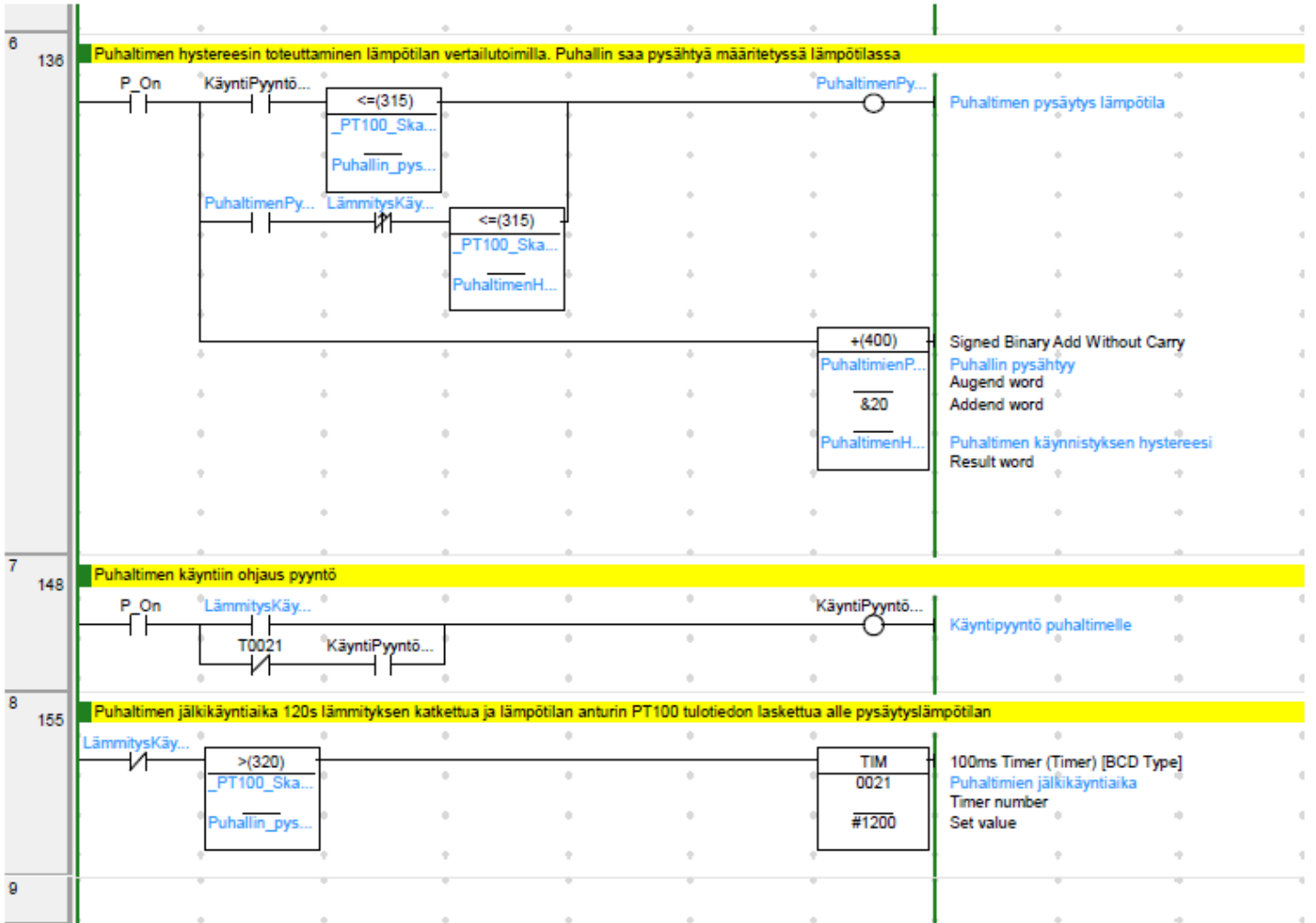
Item	Voltage input	Current input
Number of inputs	4 inputs (Allocated 4 words: CIO 200 to CIO 203.)	
Switchable voltage/current input	The 4 inputs can be set independently with the Analog Voltage/Current Input Switches.	
Input signal range	0 to 5 V, 1 to 5 V, 0 to 10 V, or -10 to 10 V (Set in PLC Setup.)	0 to 20 mA or 4 to 20 mA (Set in PLC Setup.)
Max. rated input	±15 V	±30 mA
External input impedance	1 MΩ min.	Approx. 250 Ω
Resolution	1/6000 or 1/12000 (Select in PLC Setup.)	
Overall accuracy	At 25°C	±0.3% full scale
	0 to 55°C	±0.6% full scale
A/D conversion data	-10 to 10 V	Resolution of 1/6000: F448 to 0BB8 hex FS Resolution of 1/12000: E890 to 1770 hex FS
	Other ranges	Resolution of 1/6000: 0000 to 1770 hex FS Resolution of 1/12000: 0000 to 2EE0 hex FS
Averaging function	Supported (Set for individual inputs in the PLC Setup.)	
Open-circuit detection function	Supported (Value when disconnected: 8000 hex)	

Analog Output Specifications

Item	Voltage output	Current output
Number of outputs	2 outputs (Allocated 2 words: CIO 210 to CIO 211.)	
Output signal range	0 to 5 V, 1 to 5 V, 0 to 10 V, or -10 to 10 V	0 to 20 mA or 4 to 20 mA
Max. rated input	±15 V	±30 mA
Allowable external output load resistance	1 kΩ min.	600 Ω max.
External input impedance	0.5 Ω max.	---

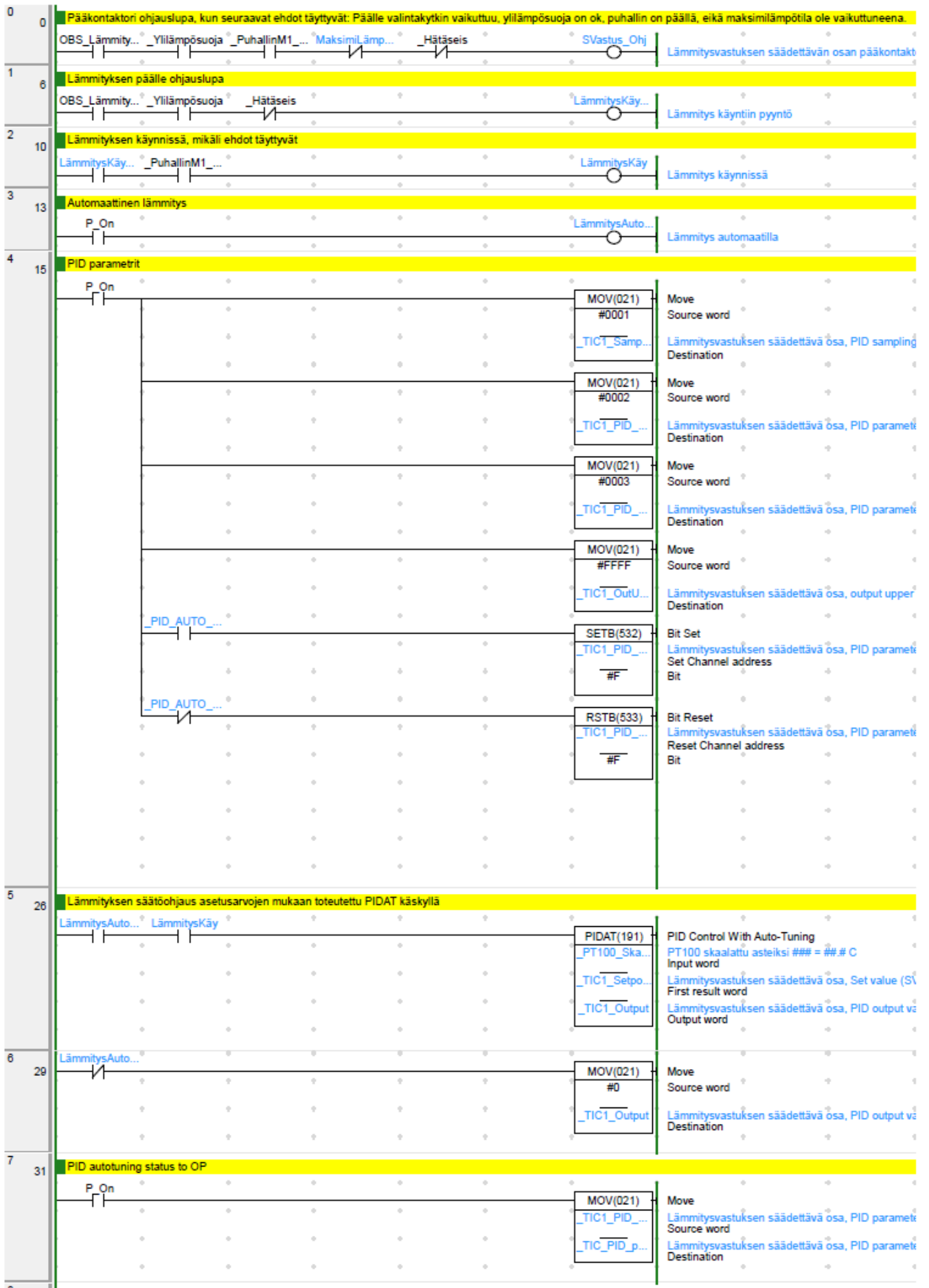
Liite 19. Kuivurin logiikan ohjelma





0	219	Kuivausilman lämpötilan mittaus jännitteen skaalaus. PT100	
1	221	Kuivausilman poiston lämpötilan mittaus jännitteen skaalaus. PT101	
2	223	LTO:n jälkeisen lähtevän ilman lämpötila mittaus jännitteen skaalaus. PT102 (LTO:n jälkeisen poistoilman mittaus)	
3	225	LTO:n jälkeisen tulevan ilman mitatun jännitteen skaalaus. PT103 (Mittaus ennen lämmityspatteria)	
4	227	Tuloilman lämpötila ennen puhallinta PT104	
5	229	Virtausmittausten skaalaus m/s	





0 238	LTO:n hyötysuhteen laskennan toteuttaminen: Poistoilman hyötysuhde		<p>-D(846) Double Floating Point Subtract PT101 skaalattu asteiksi ### = ##.# C First minuend word Lämpötila ero 3 First subtrahend word PT102 skaalattu asteiksi First result word</p> <p>-D(846) Double Floating Point Subtract PT101 skaalattu asteiksi ### = ##.# C First minuend word Lämpötila ero 4 First subtrahend word PT104 lämpötilan skaalaus First result word</p> <p>/D(846) Double Floating Point Divide Lämpötila ero 3 First dividend word Lämpötila ero 4 First divisor word Poistoilman hyötysuhde First result word</p>
1 242	Tuloilman hyötysuhde		<p>-D(846) Double Floating Point Subtract PT101 skaalattu asteiksi ### = ##.# C First minuend word Lämpötila ero 3 First subtrahend word PT102 skaalattu asteiksi First result word</p> <p>-D(846) Double Floating Point Subtract PT101 skaalattu asteiksi ### = ##.# C First minuend word Lämpötila ero 4 First subtrahend word PT104 lämpötilan skaalaus First result word</p> <p>/D(846) Double Floating Point Divide Lämpötila ero 3 First dividend word Lämpötila ero 4 First divisor word Poistoilman hyötysuhde First result word</p>
2			

Liite 20. Kuivurin antureiden tekniset tiedot (Vaisala 2014)

Tekniset tiedot

Suhteellisen kosteuden mittaus

Mittausalue	0–100 % RH
Tarkkuus lämpötilassa +20 °C	±1,0 % RH (0–90 % RH) ±1,7 % RH (90–100 % RH)
Anturi	Vaisala HUMICAP® 180 Vaisala HUMICAP® 180R

Lämpötilan mittaus

Mittausalue	
HMT331	–40–+60 °C
HMT333	–40–+80 °C tai –40–+120 °C
HMT334/335/337/338	–70–+180 °C
Tarkkuus lämpötilassa +20 °C	±0,2 °C
Anturi	Pt100 RTD 1/3 Luokka B IEC 751

Muita muuttujia saatavana (mallikohtaisesti)

Kastepiste, lämpötila, sekoitussuhde, absoluuttinen kosteus, märkälämpötila, entalpia, vesihöyryn paine.

Syöttö ja lähtö

Käyttöjännite	10–35 VDC, 24 VAC
virtalähdemoduuli saatavana lisävarusteena	100–240 VAC 50/60 Hz
Virrankulutus lämpötilassa 20 °C (U_{in} 24 VDC)	enintään 25 mA
RS-232	
$U_{out} 2 \times 0–1 \text{ V} / 0–5 \text{ V} /$ 0–10 V	enintään 25 mA
$I_{out} 2 \times 0–20 \text{ mA V}$	enintään 60 mA
Analogiset lähdöt	0–20 mA, 4–20 mA
virtalähtö	0–1 V, 0–5 V, 0–10 V
jännitelähtö	
Digitaaliset lähdöt	RS-232, RS-485 (valinnainen)



SCHMIDT-virtausanturit teollisuusprosesseihin



Tyyppi	SS 20.200/201	SS 20.260	SS 20.261	SS 20.500	SS 20.650	SS 20.60 / SS 25.60	SS 23.400
Mittapää	käsipainopää	mittakammionpää	mittakammionpää	käsipainopää	mittakammionpää	mittakammionpää	laminaarivirtauspää
Mittausalue	0.06 ... 20 m/s -20 ... +85 °C	0.2 ... 50 m/s -40 ... +85 / 120 °C	0.2 ... 90 m/s -40 ... +85 °C	0.06 ... 35 m/s -40 ... 85 °C	0.2 ... 60 m/s 0 ... +200 / 350 °C	0.2 ... 200 m/s 0 ... +85 / 120 °C	0.05 ... 20 m/s 0 ... 60 °C
Lämpötilamittaus	–	kyllä (optiona)	kyllä	kyllä	kyllä	–	–
Mitattava aine	puhdas tai ilkaainen kaasu	suhteellisen puhdas kaasu (ei aggressiivinen)	suhteellisen puhdas kaasu (ei aggressiivinen)	puhdas tai ilkaainen kaasu	suhteellisen puhdas kaasu (ei aggressiivinen)	suhteellisen puhdas kaasu (ei aggressiivinen)	puhdas kaasu (ei aggressiivinen)
Aggressiiviset hiukkaset ilmassa	SS 20.201 pinnotus	ei	ei	kyllä, optiolla pinnotus	ei	SS 25.60: puhdas happi	ei
ATEX-luokitettu	ei	ei	ei	Optiona (kategoria 3GD, alue 2)	ei	ei	kyllä (kategoria 3GD, alue 2)
Maks. paine	10 bar	ilmakehä	8 bar	10 bar	16 bar (optiona)	16 bar	ilmakehä
Ulostusolosignaali	kytkinlähde (virtausvienti, galvanisesti erotettu)	0 ... 10 V tai 0/4 ... 20 mA	4 ... 20 mA	Autom. -I/I (automaattinen kytkentä V++ I)	0 ... 10 V or 4 ... 20 mA, impulssilähde	0 ... 10 V or 4 ... 20 mA, impulssilähde	0 ... 10 V tai 4 ... 20 mA, 2 x kytkinlähde (OC)
Syöttöjännite	24 V DC ± 20 %	24 V DC ± 20 %	24 V DC ± 20 %	24 V AC/DC ± 20 %	24 V DC ± 20 %	24 V DC ± 20 %	7.5/12 ... 26.4 V DC

(Hantor 2011)