

Prosessilaboratorion esisuunnitelma

Mikko Lesonen
Juho Vuohelainen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2010

Paperikoneteknologia
Teknologia





Tekijä(t) LESONEN, Mikko VUOHELAINEN, Juho	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 10.05.2010
	Sivumäärä 127	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi PROSESSILABORATORION ESISUUNNITELMA		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologia		
Työn ohjaaja(t) FONSELIUS, Jaakko ISOMETSÄ, Juha		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu Kari Pekkola		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli esisuunnitella uusi prosessilaboratorio Jyväskylän ammattikorkeakoululle. Prosessilaboratorion tulisi ensisijaisesti palvella uuden energiatekniikan koulutusohjelman tarpeita, mutta soveltua myös muiden koulutusohjelmien käyttöön. Laboratorion pitäisi olla mahdollisimman monikäyttöinen, jotta sen käyttöä opiskelun tukena voisi hyödyntää perusteista viimeisen vuoden vaativiin ammattiaineisiin.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä prosessilaboratorion esisuunnitelma, josta selviäisivät koko laboratorion kustannukset ja sen vaatima tila sekä vesi- ja sähkötaseet. Ennen laitteistoon ja kustannuksiin pääsemistä oli suunniteltava laboratorion toiminta. Toiminnan suunnittelimme omien kokemusten ja Juha Isometsän antamien vaatimusten perusteella. Lisäksi teimme vierailun Spirax Sarconin höyrylaboratorioon ja Tampereen Teknillisen Korkeakoulun laboratoriotiloihin, joista saimme ideoita laboratorion toteutukseen.</p> <p>Ideoinnin ja toiminnan suunnittelun jälkeen mitoitettiin ja määriteltiin tarvittavat laitteet. Seuraavaksi suunnittelimme tilan layout ja määrittelimme kustannusarvion. Esisuunnitelman tarvittavien tietojen jälkeen teimme prosessi- ja automaatiokuvaukset sekä erilaiset vuokaaviot nesteen ja kaasun kierroista.</p> <p>Työn tulokset syntyivät vierailujen, kirjallisuudesta saatujen tietojen sekä käytännönkokemusten kautta. Suurimpina tuloksina voidaan mainita investointilaskelmille ja tukirahahakemuksille tehty karkea budjetti-arvio sekä dokumentit, joista käy ilmi prosessin teknilliset ratkaisut. Prosessilaboratorio toimii opiskelutilana sekä ensimmäisen että neljännen vuoden opiskelijoille koulutusohjelmasta riippumatta.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Virtaus- ja lämpötekniikka, mittausmenetelmät ja automaatio		
Muut tiedot		



Author(s) LESONEN, Mikko VUOHELAINEN, Juho	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 10.05.2010
	Pages 127	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title PROCESS LABOLATORY DESIGN		
Degree Programme Paper Machine Technology		
Tutor(s) FONSELIUS, Jaakko ISOMETSÄ, Juha		
Assigned by Jyväskylä University of Applied Sciences Kari Pekkola		
<p>The purpose of the Bachelor's Thesis was to plan a process laboratory for Jyväskylä University of Applied Sciences. In the first place, the process laboratory should serve the needs of the new training program of energy technology. The laboratory should also be suitable for other training programs. The laboratory should be as multipurpose as possible, so that it could be used as the support for studying from basics to more demanding professional subjects.</p> <p>The aim of the Bachelor's Thesis was to make a plan, which would cover the financing of the laboratory and how much place, water and electricity would be needed. Before acquiring the equipment and financing the function of the whole process had to be planned. The function was planned through previous experiences and based on requirements given by the advisor of the thesis, Juha Isometsä. To get more ideas for our project, we visited two different laboratories in Helsinki and Tampere.</p> <p>After planning the whole process, we were able to calculate and choose the equipment needed in the laboratory. The next thing was to plan the layout of the place and calculate the estimate of costs. Finally, the description of the process and the automation was produced and flow diagrams about the circulation of the liquid and the gas were made to give an idea how the process laboratory functions.</p> <p>The results of the Bachelor's Thesis consists of two different visits, study of the literature and the work experience. The financing of the laboratory offers an idea for application of the relief fund. The operational principle of the process consists of different kind of documentations which are able to tell what kind of solutions are open up a possibility in the laboratory space. The laboratory is suitable for training programs of the technology. The laboratory is as multipurpose as possible, so it can be used as the support for studying from basics to more demanding professional subjects.</p>		
Keywords Flow- and thermal engineering, measuring method and automation		
Miscellaneous		



Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty Jyväskylän ammattikorkeakoulun tulevaa energiatekniikan koulutusohjelmaa silmällä pitäen. Työn ohjaavina opettajina ovat toimineet Jyväskylän ammattikorkeakoulusta energiatekniikan lehtori Juha Isometsä ja automaation yliopettaja Jaakko Fonselius.

Haluamme kiittää opinnäytetyöohjaajia yritysvierailujen mahdollistamisesta sekä tiiviistä opinnäytetyön seuraamisesta palavereiden muodossa. Kiitoksen ansaitsevan myös omat perheenjäsenemme, jotka jaksoivat tukea ja innostaa vaikeissakin tilanteissa.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	13
1.1. Työn toimeksiantaja	13
1.1.1 Yksiköt	13
1.1.2 Paperikoneteknologian koulutusohjelma	14
1.2 Tehtävän määrittely ja tavoitteet.....	14
2 KOMPONENTIT.....	16
2.1 Pumput.....	16
2.1.1 Keskipakopumppu	16
2.1.2 Vesirengaspumppu.....	19
2.1.3 Pumpun valinta	20
2.1.4 Tuotannon säätömahdollisuudet	23
2.2 Oikosulkumoottori.....	26
2.3 Taajuusmuuttaja.....	30
2.4 Venttiilit	33
2.4.1 Venttiilin osat	33
2.4.2 Sulku- ja säätöventtiilit.....	34
2.4.3 Muut venttiilit	37
2.4.4 Venttiilien mitoitus ja valinta	38
2.5 Lämmönsiirrin.....	40
2.5.1 Levylämmönvaihdin	40
2.5.2 Lämmönvaihtimen mitoitus ja valinta	42
3 MITTAUSMENETELMÄT	44
3.1 Paine	44
3.2 Lämpötila	49

3.3 Virtaus.....	53
3.4 Asema	58
4 KYLMÄ- JA LÄMPÖPUMPPULAITOS.....	60
4.1 Kylmän teon komponentit	60
4.2 Kylmälaitoksen tilapiirros.....	62
4.3 Välillinen jäähdytys.....	64
5 PROSESSILABORATORION MAHDOLLISUUDET	66
6 TYÖN TOTEUTUS	72
6.1 Lähtökohdat projektille.....	72
6.2 Ideointi ja PI-kaavion suunnittelu.....	72
6.3 Layout suunnittelu	74
6.4 Päälaitteiden mitoitus ja valinta.....	75
6.5 Budjettiarvio.....	79
6.6 Prosessikuvaus	80
6.7 Automaatiokuvaukset.....	80
7 TYÖN TULOKSET	81
8 POHDINTA.....	83
LÄHTEET	86
LIITEET	90
Liite 1. Virtauskaavio 1	90
Liite 2. Virtauskaavio 2	91

Liite 3. PI-kaavio 1	92
Liite 4. PI-kaavio 2	93
Liite 5. Lay-out 1	94
Liite 6. Lay-out 2	95
Liite 7. Lay-out 3	96
Liite 8. Budjetti-arvio	97
Liite 9. Päälaitteiden mitoitus	98
Liite 10. Komponenttien määrät ja hinnat.....	99
Liite 11. Laiteluettelo	100
Liite 12. Instrumentointi	101
Liite 13. Prosessikuvaukset	102
Liite 14. Automaatiokuvaukset	103
Liite 15. Nestekiertojen vuokaavio	104
Liite 16. Höyrykierron vuokaavio	105
Liite 17. Jäähdytysvesikiertojen vuokaavio.....	106
Liite 18. Järjestelmäkaavio.....	107
Liite 19. Metso ACN-kaappi.....	107
Liite 19. Metso ACN-kaappi.....	108
Liite 20. Levylämmönvaihtimen (LS-3) mitoitus	109
Liite 21. Kolmeks AE-25/2	110
Liite 22. Kolmeks AT-1024/4	111
Liite 23. Kolmeks L-50A/4	112
Liite 24. Sulzer A23-40 LF	113

Liite 25. Vesi- ja sähkötaseet.....	114
--	------------

Liite 26. I/O-määrä	115
----------------------------------	------------

KUVIOT

KUVIO 1. Toimintaperiaate	17
KUVIO 2. Pumpun ominaiskäyrä	18
KUVIO 3. Vesirengaspumppu	20
KUVIO 4. Keskipakopumpun toimintapisteen muodostuminen.....	22
KUVIO 5. Kuristussäätö.....	24
KUVIO 6. Kierroslukusäätö	25
KUVIO 7. QH - käyrät ja toimintapistet kahden erilaisen pumpun rinnankytkennässä	25
KUVIO 8. Kaksi erilaista pumppua kytketty sarjaan	26
KUVIO 9. Pyörimisnopeudet napaluvusta riippuen	27
KUVIO 10. Oikosulkumoottorin halkaisukuva	28
KUVIO 11. Magneettikentän aiheuttama voima.....	28
KUVIO 12. Oikosulkumoottorin ominaiskäyrä	29
KUVIO 13. Oikosulkumoottorin ominaiskäyrä eri taajuuksilla.....	30
KUVIO 14. Taajuusmuuttajan lohkoakaavio.....	31
KUVIO 15. Taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajan yhden vaiheen rakenne.....	32
KUVIO 16 Taajuusmuuttajatyypit. a) Tasavirtapiiri, b) Ohjattu tasajännite, c) Tasajännitteen ohjaus katkolla, d) PWM - taajuusmuuttaja.....	33
KUVIO 17. Keraaminen palloventtiili.....	35
KUVIO 18. Läppäventtiili	35
KUVIO 19. Istukkaventtiili.....	36
KUVIO 20. Luistiventtiili.....	37
KUVIO 21. Varoventtiili	38

KUVIO 22. Säätoventtiilin ominaiskäyriä.....	39
KUVIO 23. Yksisuuntainen levylämmönvaihdin	40
KUVIO 24. Monisuuntainen lämmönvaihdin	41
KUVIO 25. Lämmönsiirtimen energiatasapaino	42
KUVIO 26. Biteräspoistin	43
KUVIO 27. Paineen mittaus	44
KUVIO 28. Sähkösignaalin muodostaminen venymäliuskojen siltakytkennällä	45
KUVIO 29. Paineanturin mittausperiaate.....	46
KUVIO 30. Paineekytin.....	47
KUVIO 31. Paineenlähettimen rakenne	48
KUVIO 32. Paineenvälitin	49
KUVIO 33. Termopari	50
KUVIO 34. Termistorin ominaiskäyriä	51
KUVIO 35. Pt 100- anturin rakenne.....	51
KUVIO 36. 3-johdinkytkentä.....	52
KUVIO 37. Teollisuudessa käytettyjä kuristuselimiä	53
KUVIO 38. Virtausmittaus paine-eron avulla	53
KUVIO 39. Induktiivinen mittaus	55
KUVIO 40. Pyörrevanamittaus.....	56
KUVIO 41. Coriolis-mittarin putkisto.....	57
KUVIO 42. Turbiinianturi	58
KUVIO 43. Kapasitiivinen pinnankorkeuden mittaus	59
KUVIO 44. Lauhdutin	62
KUVIO 45. Kylmän teon teoreettinen toimintaperiaate	63
KUVIO 46. Vapaajäähdytys.....	65

Symbolit:

A = vakio

B = vakio

c = aineen ominaislämpökapasiteetti [J/(K*kg)]

d_{pipe} = putken halkaisija [mm]

f = taajuus [Hz]

F_m, ṁ = massavirta [kg/s]

F_v = tilavuusvirta [m³/s]

g = putoamiskiihtyvyys [9,81m/s²]

H_{dyn} = Dynaaminen nostokorkeus [m]

H_{kok} = Kokonaisnostokorkeus [m]

H_{stat} = Staattinen nostokorkeus [m]

h_{1,2} = korkeus

K = Kelvin [K]

L = putken pituus [mm]

p = napaparien lukumäärä

p_a = ilman paine [bar], [Pa]

P_a = pumpun akseliteho [kW]

p_v = höyryn paine [bar], [Pa]

P_v = pumpun vesiteho [kW]

$p_{1,2}$ = paine [Pa]

Δp_f = virtaushäviöt [Pa]

Q = tilavuusvirta [m^3/s]

Q_0 = lämpöenergia [J]

r = höyrystymislämpö [J/kg]

$R(0)$ = resistanssi lämpötilassa $0^\circ C$ [Ω]

s = jättämä

W = työ [J]

ρ = tiheys [kg/m^3]

ζ = paikallishäviö

$^\circ C$ = Celsius

η = kokonaishyötysuhde

η_h = hydraulinen hyötysuhde

η_m = mekaaninen hyötysuhde

η_v = tuottosuhte

Termit:

Diodisilta = Diodi on elektroniikan laite, joka päästää sähkövirran kulkemaan vain yhteen suuntaan.

Fluidi = Yleisnimitys väliaineelle. Fluideja voi olla nesteet, kaasut ja plasmat.

Kavitaatio = Ilmiö, jossa neste alkaa kiehua paineen laskun johdosta.

Pumpun toimintapiste = Paras piste ajaa pumppua.

Tyristori = Tyristori on puolijohde, joka muistuttaa diodia. Tyristori alkaa johtaa vasta, kun sen hilalle tulee riittävän suuri virtapulssi katodiin nähden.

Lyhenteet:

AC = Alternating Current = Vaihtovirta

rpm = kierrosta minuutissa

NPSH= Net Positive Suction Head = kertoo pumpun imupuolella tarvittavan minimi paineen kavitaatioilmiön välttämiseksi.

1 JOHDANTO

1.1. Työn toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Jyväskylän ammattikorkeakoulun teknologian yksikkö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu on kansainvälinen korkeakoulu, jossa opiskelijoita on 8000. (Tutustu Jamkiin 2010.)

Jyväskylän ammattikorkeakoulun omistaa Jyväskylän Ammattikorkeakoulu Oy, jonka toimintaa ohjaa ammattikorkeakoululain ohella sen omat hallinto- ja johtosäännöt. Jyväskylän ammattikorkeakoulu on monialainen korkeakoulu, jossa on 4 koulutusta tarjoavaa yksikköä sekä hallintoyksiköt. (Jyväskylän ammattikorkeakoulun hallintoorganisaatio 2010.)

1.1.1 Yksiköt

Ammatillinen opettajakorkeakoulu kouluttaa jo pitkälle koulutettuja ja vahvan työkokemuksen omaavia ammattilaisia, jotka haluavat laajentaa osaamistaan opetuksen parissa. Vuosittain ammatillisen opettajakoulutuksen aloittaa 310 opiskelijaa. (Ammatillinen opettajakorkeakoulu 2009.)

Hyvinvointiyksikkö on monipuolinen terveys- ja hyvinvointialan kouluttaja sekä alan yritysten ja yhteisöjen kehityskumppani. Yksikössä on mahdollista opiskella nuorten tutkintoon johtavassa koulutusohjelmassa kahdeksalla eri nimikkeellä. Nuorten koulutuksen ohella yksikkö tarjoaa AMK- ja ylempään AMK- tutkintoon johtavaa aikuis-koulutusta. (Hyvinvointiyksikkö 2009.)

Liiketoiminta ja palvelut-yksikkö on liiketoiminta-, palvelu- ja kansanvälisyysosaamisen asiantuntijayhteisö ja yritysten sekä yhteisöjen kehityskumppani. Yksikkö koulut-

taa tradenomeja, restonomeja, vestonomeja ja medianomeja sekä suomeksi että ja englanniksi. (Liiketoiminta ja palvelut -yksikkö 2009.)

Teknologiayksikkö on ryhmittänyt toimintansa työelämän rajapintojen ja osaamistarpeiden mukaisesti asiantuntijatiimeiksi viiteen tulosalueeseen: ICT, Konetekniikka, Logistiikka ja Luonnonvarat sekä Rakentaminen. (Teknologiayksikkö 2010.)

1.1.2 Paperikoneteknologian koulutusohjelma

Konetekniikan tulosalueeseen kuuluva paperikoneteknologian koulutusohjelma on ainoa Suomessa. Koulutusohjelma tarjoaa monipuoliset valmiudet työskentelyyn huipputeknologian parissa. Opiskelija voi valmistumisensa jälkeen suunnitella paperikoneita maailman markkinoille tai toimia kunnossapidon asiantuntijana. (Insinööriksi paperikoneteknologian koulutusohjelmaan 2010.)

Opintojen sisältö koostuu konetekniikan perusopinnoista, joita opiskellaan ensimmäisen kahden vuoden ajan muiden konetekniikan opiskelijoiden kanssa. Kolmas vuosi tuo tullessaan harjoitteluajanjakson, joka suoritetaan teollisuuden yrityksissä. Kolmannen vuoden keväällä suuntaudutaan ja neljäntenä vuonna keskitytään suuntautumisopintoihin sekä tehdään lopputyö eli insinöörityö. (Insinööriksi paperikoneteknologian koulutusohjelmaan 2010.)

1.2 Tehtävän määrittely ja tavoitteet

Opinnäytetyön alussa kerrotaan työhön liittyvää teoriaa, joka tukee lukijan tietoutta keskipakopumpuista, niiden ohjaustavoista sekä ohjaustapojen laitteistosta, erilaisista mittausmenetelmistä sekä kylmän teosta. Teoriaosuuden jälkeen selvitetään prosessilaboratorion teknillisistä mahdollisuuksista, jotka syntyvät teorian tietouden ja käytännönkokemusten pohjalta. Mahdollisuuksien jälkeen selvennetään työn etenemisvaiheita, kuinka niihin on päästy ja päädytty. Ennen viimeistä vaihetta eli poh-

dintaa perehdytään työn aikaansaannoksiin. Työn viimeisenä isona kokonaisuutena on pohdintaosa, jossa tuodaan esille, mitkä koulun opintojaksot ovat tukeneet työn tulosten saavuttamista ja miten paljon käytännön työelämästä on ollut hyötyä prosessilaboratoriota suunnitellessa.

Insinööriyön tavoitteena on tehdä esisuunnitelma prosessilaboratoriolle. Se koostuu erilaisista dokumenteista, jotka voidaan jakaa kahteen suurempaan kokonaisuuteen. Ensimmäinen osa yrittää vastata tila ja rahoitus kysymyksiin ja toisen osan perustana on teknillisten ratkaisujen esittäminen lukijalle.

Esisuunnitelmaa varten luodaan PI-kaavion, jonka avulla on tarkoitus antaa käsitys tekniikan ammattilaiselle prosessin teknisistä ratkaisuista, luoda lähtökohdat layout piirustuksille, antaa tiedot materiaaliluettelon sekä kustannusarvion laatimiseen.

PI-kaaviota apuna käyttäen suunnitellaan alustava layout-piirustus. Tämän jälkeen suoritetaan päälaitteiden mitoitukset ja valinnat, materiaaliluettelon sekä kustannusarvion teko.

Prosessi- ja automaatiokuvauksen tarkoitus on antaa tarkempi käsitys ideoista ja kuinka laboratorio voi toimia. Automaatiokuvauksissa pyritään miettimään prosessin lukituksia ihmisten ja laitteiden hyvinvoinnin kannalta ja näin säästymään vakavilta tapaturmilta.

2 KOMPONENTIT

2.1 Pumput

Nestettä paikasta toiseen siirtävää laitetta kutsutaan pumpuksi. Monissa tapauksissa neste samalla nostetaan alemmalta tasolta ylemmälle. Toimintatapansa myötä pumppu on joko jatkuva- tai tykyttävätoiminen. Jatkuvatoiminen pumppu syöttää veden paineputkeen tasaisena virtana, kun taas tykyttäen toimiva pumppu syöttää vettä paineputkeen sysäyksin, jolloin veden virtaus on epätasaista. (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 1.)

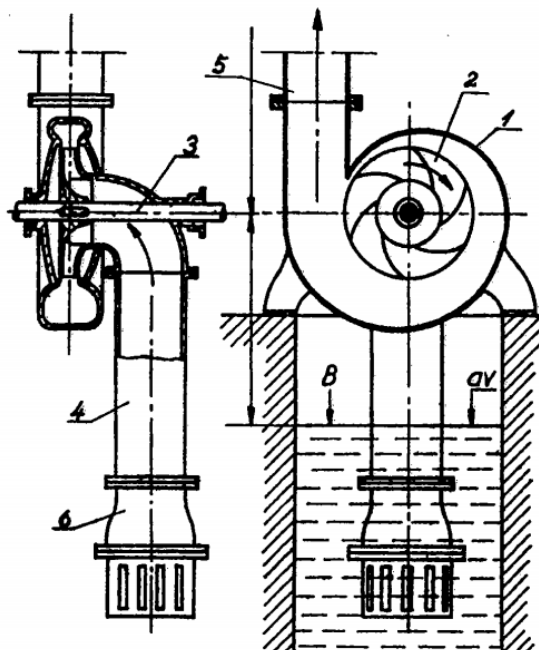
Toimintaperiaatteensa mukaan pumput voidaan jakaa hydrodynaamisiin ja hydrostaattisiin pumppuihin. Hydrodynaamisiksi pumpuiksi kutsutaan pumppuja, joissa imu- ja painepuoli ovat yhteydessä toisiinsa. Tällöin niitä ei ole erotettu toisistaan tiivistävillä osilla. Niiden aikaansaama tilavuusvirtaus on riippuvainen paineen vaihtelusta. (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 1.)

Hydrostaattisten pumppujen imu- ja painepuoli ovat erotettu toisistaan tiivistävillä osilla, kuten venttiileillä, siivillä tai hampailla. Tästä syystä nämä pumput ovat "positiivisia" pumppuja. Pumppujen tuottama tilavuusvirta on suurilta osin riippumaton paineen vaihteluista. (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 1.)

2.1.1 Keskipakopumppu

Keskipakopumppu on laajalti käytetty pumpputyyppejä teollisuudessa ja kattaa n. 80 % prosessiteollisuuden pumppaustarpeesta. Sen yleinen käyttö prosessiteollisuudessa perustuu pumpun laajaan soveltuvuuteen pumpata erilaisia nesteitä, jotka yleensä omaavat alhaisen viskositeetin. (Luukkanen 2001, 11.)

Keskipakopumppu koostuu erinäisistä komponenteista kuvion 1 mukaisesti, pumpun pesästä (1) ja sen sisällä olevasta pyörivästä juoksupyörästä (2). Juoksupyörä on kiinnitetty akseliin (3), jota sähkömoottori pyörittää käynnin aikana. Juoksupyörässä on taaksepäin kaartuvia siipiä joiden välit ovat siipisolia. Pumpun käydessä ovat siipisolat, pumpun pesä sekä imu- (4) ja paineputki (5) täynnä vettä. (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot. 2006, 2.)



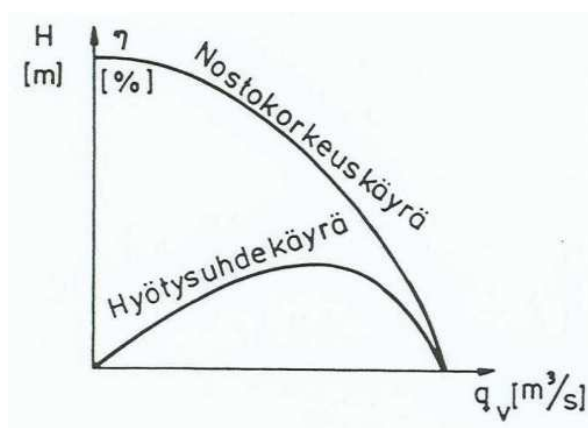
KUVIO 1. Toimintaperiaate

Keskipakopumpussa nestettä syötetään pumpun imuaukkoon, joka on keskellä juoksupyörää. Juoksupyörän pyöriessä syntyvä keskipakovoima puskee juoksupyörässä olevan nesteen siipisolien kautta pumpun pesään, josta neste siirtyy paineputkeen. Nesteen siirtyessä juoksupyörän siipisolista ulkokehälle päin, pyrkii imuaukko muodostamaan alipaineen. Alipaine ei kuitenkaan säily jatkuvasti, koska ilmanpaine (B) vaikuttaa veden pintaan (av), jolloin neste siirtyy imuputkea pitkin juoksupyörään.

Pumpun korkeasta pyörimisnopeudesta johtuen neste saavuttaa suuren liike-energian ja näin paine-ero pumpun painepuolien välillä kasvaa, sillä osa nesteen kiineettisestä energiasta muuttuu paine-energiaksi. Tämän ilmiön takia keskipakopumpussa syntyy jatkuva virtaus. (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 2-3.)

Ominaiskäyrä

Ominaiskäyrän kuvaajalla valmistaja pyrkii ilmoittamaan asiakkailleen pumpun tärkeimmät ominaisuudet. Ominaiskäyrästä ilmenee kuvion 2 mukaisesti pumpun nostokorkeus sekä hyötysuhde tilavuusvirran funktiona, mitkä ovat voimassa tietyille pyörimisnopeudelle ja juoksupyörän halkaisijalle. Pumpun nostokorkeuskäyrä pitää sisällään imu- ja painepuolen tarvitsemat nostokorkeudet ja muutamia pumpusta johtuvia nopeudenmuutostekijöitä. (Luukkanen 2001, 22.)



KUVIO 2. Pumpun ominaiskäyrä

Pumpun teho ja hyötysuhde

Keskipakopumpun aikaansaama tilavuusvirta ja nostokorkeus määräävät pumpun tehokkuuden (P_v), josta käytetään nimeä pumpun vesiteho. Pumpussa syntyy häviöitä, joten sen käyttömoottorin tehon täytyy olla suurempi kuin itse pumpun vesite-

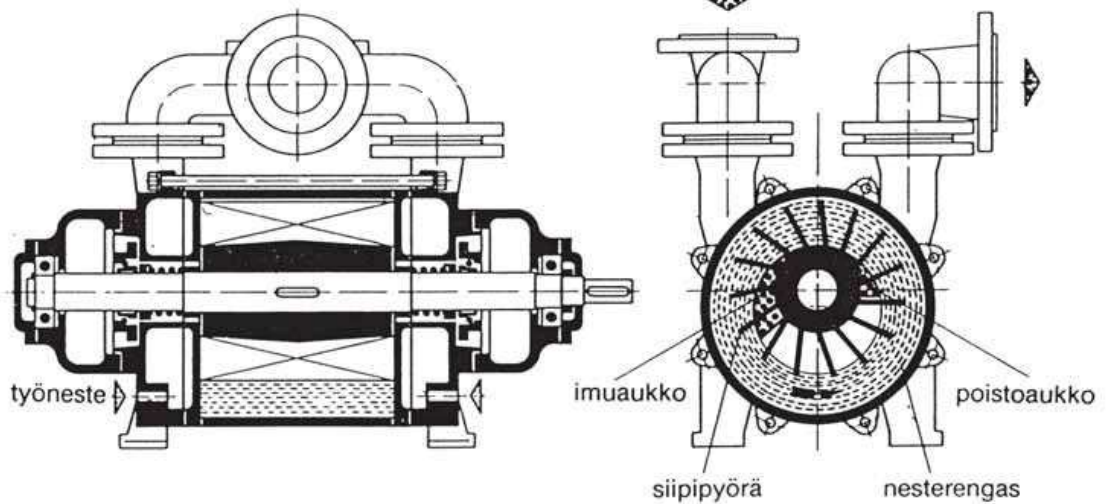
hon. Pumpun tarvittava käyttö- eli akseliteho saadaan kaavan $P_a = \frac{P_v}{\eta}$ (1) mukaan.
(Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 33.)

Pumpussa syntyy erilaisia häviöitä. Nestekitkahäviöt syntyvät veden kosketuksesta juoksupyörän siipiin ja pesään. Sysäyshäviöitä kertyy siipien etureunoille, kun tuotto poikkeaa parhaasta hyötysuhteen pisteestä arvosta. Kolmantena häviönä voidaan pitää vuotohäviöitä, jotka syntyvät veden palautuessa painepuolelta takaisin imupuolelle. Viimeiseksi häviöksi luetaan kitkan aiheuttamat mekaaniset häviöt tiivisteissä, holkeissa sekä laakereissa. (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 34.)

Pumpun hyötysuhde (η) sisältää kolme erilaista hyötysuhdetta. Hydraulinen hyötysuhde pitää sisällään sysäyshäviöt ja nestekitkan. Hyötysuhde pyörii 0,8 - 0,9 välillä. Toisena on mekaaninen hyötysuhde, joka määräytyy kitkan aiheuttamista mekaanisista häviöistä. Viimeinen osahyötysuhde koostuu vuotohäviöistä ja siitä käytetään nimeä tuottosuhte. Kolmen osahyötysuhteen avulla saadaan muodostettua pumpun kokonaishyötysuhteen kaava ($\eta = \eta_h \times \eta_m \times \eta_v$). (2) (Energiatekniikka 2, Pumput ja putkistot 2006, 34.)

2.1.2 Vesirengaspumppu

Nesterengaspumpun toiminta perustuu siipipyörän pyörimiseen epäkeskisesti pumpun pesässä. Siipipyörän pyöriessä muodostuu nesterengas pumpun ulkokehälle. Nesterengas tiivistää pumpun siipipyörän pumpun kehään, jolloin siipipyörän pyöriessä tilavuus siipipyörän siipien välissä muuttuu. Imupuolella tilavuus kasvaa, jolloin paine pienenee ja imupuolelta korkeammassa paineessa oleva ilma virtaa pumpuun. Painepuolella tilavuus vastaavasti pienenee, jolloin korkeammassa paineessa oleva ilma virtaa pumpusta ulos. Pumppu on itseimevä, joka mahdollistaa alipaineen teon. (Häkkinen n. d.)



KUVIO 3. Vesirengaspumppu

2.1.3 Pumpun valinta

Pienikin pumppu saattaa pysäyttää suuren laitoksen, jos sen toiminta on epäluotettavaa. Pumppauksen häiriötön toiminta varmistetaan tarkoilla prosessikohtaisilla pumppuvalinnoilla. Prosessissa käytettävä neste voi olla korroosiota aiheuttava tai myrkyllinen. Pumpun rakenteita valittaessa on tärkeitä ottaa huomioon nesteen ominaisuuksien tuomat vaatimukset. (Luukkanen 2001, 22.)

Nesteen vaikutus pumpun toimintaa:

- Nesteen tiheys tai ominaistiheys saattaa laskea/nostaa pumpun ottaman tehon määrään.
- Nesteen viskositeetti määrittää osittain pumpputyypin ja vaikuttaa sen toimintaan. Korkean viskoosin omaavia nesteitä kaikki pumput eivät pysty käsittelemään.

- Nesteen höyrynpaine vaikuttaa pumpun imupuolen käyttäytymiseen ja näin imukorkeuteen. Valinnan epäonnistumisella seuraus voi olla mahdollinen kavitatio.
- Ominaislämpö sekä lämmönjohtavuus vaikuttavat pumppauksen aikana muodostuvaan lämpömäärään.
- Nestetyyppi voi olla homogeeninen-, heterogeeninen- tai kemiallisesti aktiivinen neste. Nestetyypillä on vaikutus pumpputyypiin. (Luukkanen 2001, 23.)

Systeemin hydraulisten ominaisuuksien määrittäminen on tärkeää, koska väärin määritetyt hydrauliset ominaisuudet voivat johtaa väärän pumpun valintaan, mikä johtaa ongelmiin prosessissa tai pumpuissa. Suurelta osin systeemin ominaisuudet eivät ole riippuvaisia käytettävästä pumpputyypistä. Poikkeuksen tekee kuitenkin NPSH, missä virran sykkivyydellä ja vaihtelulla on suuri vaikutus. (Luukkanen 2001, 23.)

Toimintapiste

Pumpun parasta ajopistettä kutsutaan pumpun toimintapisteeksi, joka on putkiston vastuskäyrän ja pumpun ominaiskäyrän leikkauspiste. Putkiston vastuskäyrä koostuu tuotosta riippumattomasta staattisesta osasta ja tuotosta riippuvaisesta dynaamisesta osasta kuvion 4 mukaisesti. (Luukkanen 2001, 23.)

Pumppaussysteemin nostokorkeudelle voidaan näin ollen kirjoittaa

$$H_{kok} = H_{stat} + H_{dyn} \quad (3)$$

Bernoullin yhtälö on perustana pumppusysteemin toimintapisteen laskemiselle. Nestepintojen välinen korkeusero ja säiliössä vallitseva paine muodostaa staattisen nostokorkeuden.

$$H_{stat} = h_2 - h_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g}, \text{ jos } p_2 - p_1 = 0 \rightarrow H_{stat} = h_2 - h_1 \quad (4)$$

Dynaaminen nostokorkeus on seuraavan yhtälön mukainen

$$H_{dyn} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{\Delta p_f}{\rho g} \quad (5)$$

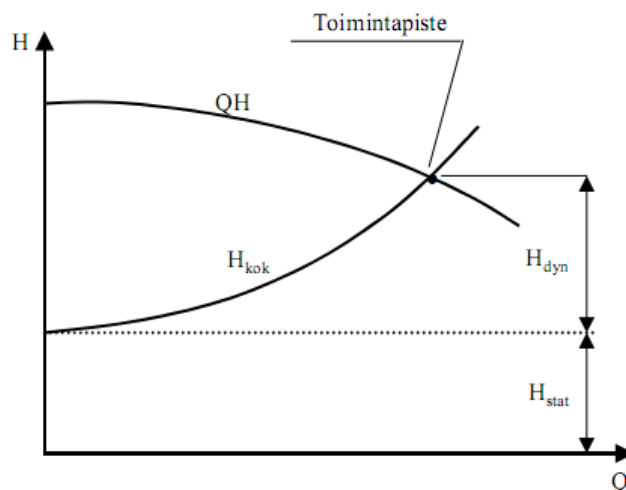
Edellisen yhtälön virtaushäviö Δp_f koostuu kitkahäviöistä ja paikallishäviöistä, joita ovat putkiston mutkat ja venttiilit.

Virtaushäviöt

$$\Delta p_f = \left(\zeta + \frac{L}{d_{pipe}} \xi \right) \rho \quad (6)$$

Nesteitä pumpattaessa tehdään yleensä oletus $v_2^2 - v_1^2 \sim 0$. Nyt painehäviö kuvaaja on mahdollista kirjoittaa muotoon

$$H_{kok} = H_{stat} + H_{dyn} = H_{stat} + kQ^2 = H_{stat} + \frac{8\rho}{\pi d^4} \left(\zeta + \frac{L}{d_{pipe}} \xi \right) Q^2 \quad (7)$$



KUVIO 4. Keskikapopumpun toimintapisteen muodostuminen

Net Positive Suction Head

NPSH-arvo kertoo tietyllä tilavuusvirralla sen absoluuttisen minipaineen. Tätä tarvitaan nesteen höyrystymispaineen lisäksi pumpun imukanavassa, jotta pumppu toimisi mahdollisimman hyvin eli ilman häiriöitä (ilman kavitaatiota tai imun katkeamista). (Fonselius 2006, 41–43.)

Imupuolen paineen täytyy olla suurempi kuin pumpun vaatima imupaine

$$NPSH_A \geq NPSH_R$$

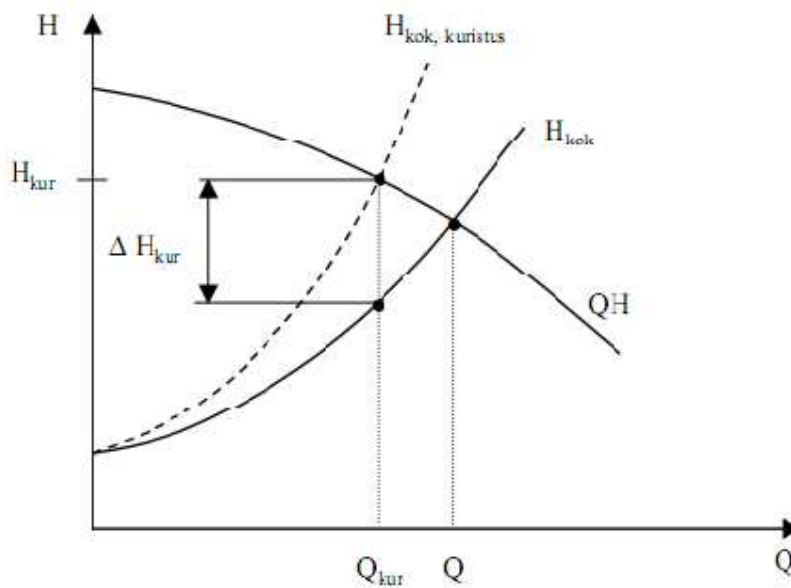
Käytettävissä oleva imukorkeus saadaan yhtälöstä

$$NPSH_A = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g} \quad (8)$$

2.1.4 Tuotannon säätömahdollisuudet

Pumppauksen säädöllä saadaan pumpun toimintapistettä muutettua, mikä voidaan tehdä muuntamalla putkiston vastuskäyrää tai pumpun ominaiskäyrää. Putkiston vastuskäyrää on mahdollista muuttaa kuristamalla säätöventtiiliä tai tekemällä takaisinkierrätys. Pumpun ominaiskäyrän muuntaminen hoituu pumpun kierroslukusäädöllä tai siipiä kääntämällä. (Luukkanen 2001, 54.)

Kuristussäätö on perinteinen keskipakopumpun säätötapa. Se saadaan onnistumaan säätöventtiiliä kuristamalla, jolloin putkiston painehäviökuvaaja eli putkiston vastuskäyrä muuttuu jyrkemmäksi ja tilavuusvirta pienenee kuvion 5 näyttämällä tavalla. Tällöin energiahäviöt kasvavat. (Luukkanen 2001, 54; Varttinen 2004, 12.)



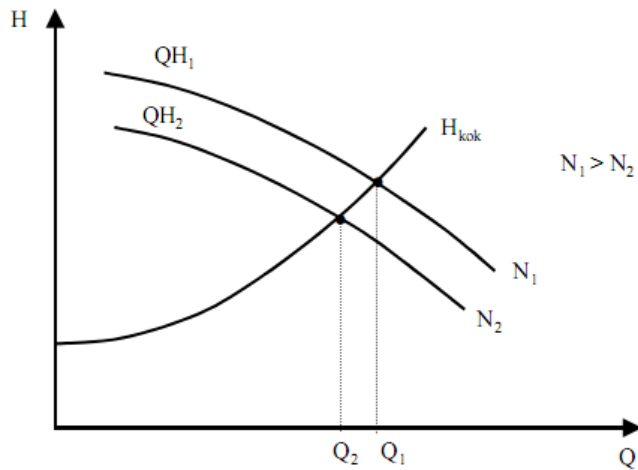
KUVIO 5. Kuristussäätö

Takaisinkierätys- eli ohitussäädössä johdetaan osa pumpun tilavuusvirrasta paine- puolelta takaisin imupuolelle. Nesteen kuumentumiselta vältetään suurien tilavuus- virtojen tapauksessa kierrättämällä neste imupuolen säiliöön imuputken sijasta.

(Luukkanen 2001, 54.)

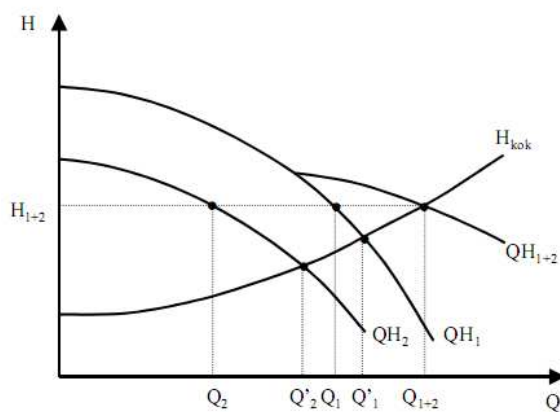
Kierroslukusäädöllä muutetaan pumpun nostokorkeuskäyrää. Tilavuusvirta ja nosto- korkeus muuttuvat affiniteettilakien mukaan. Säätö on häviöltään pieni verrattuna muihin virtausmäärän muuttamistapoihin. Kierroslukusäädön mahdollistaminen edellyttää taajuusmuuttajaa, joka muuttaa pumppua pyörittävän sähkömoottorin pyörimisnopeutta muuttamalla verkkovirran taajuutta tai amplitudia. Pyörimisno- peuden muutoksen takia pumpun hyötysuhde laskee. Sähkömoottorin ja taajuus- muuttajan häviöt heikentävät tämän säätötavan hyötyä. (Varttinen 2004, 14.) Affini-

teettisäännöille pätee seuraavan mukaiset kaavat $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$ (9)



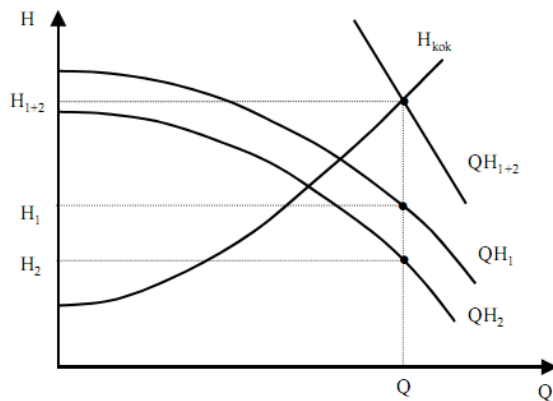
KUVIO 6. Kierroslukusäätö

Pumppujen tilavuusvirtoja vertaillessa kuvion 7 avulla on havaittavissa, että yksittäiskäytössä pumppujen tilavuusvirran arvot ovat suuremmat kuin rinnankytkennässä. Käytännössä pumpun rinnankytkennästä on sitä vähemmän hyötyä mitä laakeammat ovat pumpun ominaiskäyrät ja mitä jyrkempi on systeemin vastuskäyrä. (Luukkanen 2001, 42.)



KUVIO 7. QH - käyrät ja toimintapisteet kahden erilaisen pumpun rinnankytkennässä

Sarjaan asennettujen keskipakopumppujen yhteinen ominaiskäyrä saadaan laskemalla pumppujen nostokorkeudet yhteen kuvion 8 mukaisesti. Laskentaa suorittaessa on tärkeää huomioida, että pumput ovat samassa putkistossa ja tilavuusvirran arvo on pumpuilla yhtä suuri. Yleensä pumppu valitaan edullisimman NPSH-arvon perusteella. (Luukkanen 2001, 43.)



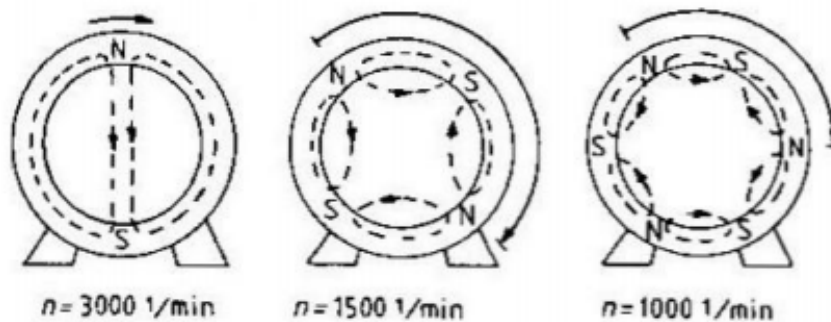
KUVIO 8. Kaksi erilaista pumppua kytketty sarjaan

2.2 Oikosulkumoottori

Lukumäärältään suurimman sähkömoottoriryhmän muodostavat oikosulkumoottorit, toiselta nimeltään induktiomoottorit, joiden käyttöjännite on AC. Oikosulkumoottorit on hyvin standardoitu ja niiden valmistajia maailmassa on kymmenittäin. Sen rakenne on hyvin yksinkertainen, luja ja äärimmäisen kestävä. Kuluvia osia oikosulkumoottorissa ovat ainoastaan laakerit. (Honkanen n. d. 1.)

Moottoreita valmistetaan kolmi- ja yksivaiheisina, joiden nopeus määräytyy verkkoikäytössä sen napalukujen perusteella. Ne toimivat parhaiten napaluvuilla 2, 4 ja 6. Napoja voi tosin olla enemmänkin, mutta oikosulkumoottorin ominaisuudet heikenevät napaluvun kasvaessa kuutta suuremmaksi. Kaksinapainen moottori pyörii 50 Hz:n verkossa 3000 rpm, nelinapainen 1500 rpm ja kuusinapainen 1000 rpm teorissa,

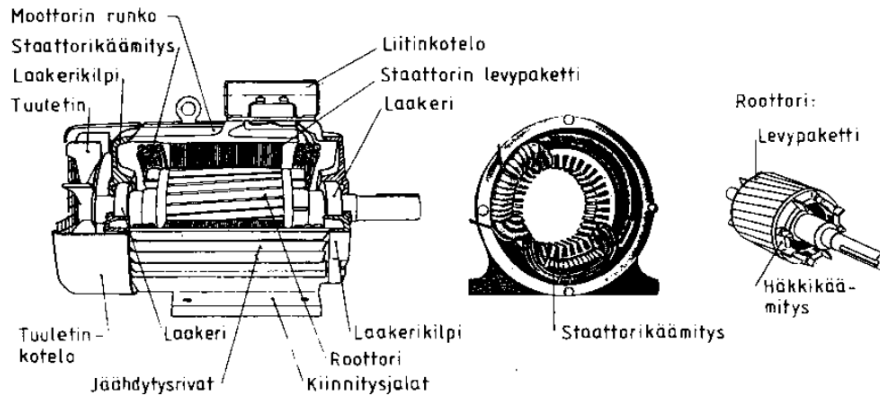
mutta todellinen pyörimisnopeus on pienempi, riippuen kuormituksesta. Kuormittaessa moottoria sen mekaaninen vääntömomentti kasvaa, josta seuraa roottorin pyörimisnopeuden pienentyminen. Roottorinpyörimisnopeuden laskun seurauksena nopeusero roottorin ja staattorin välillä suurenee, jolloin roottorin ottama virran arvo suurenee. Nykyteknologia on mahdollistanut pyörimisnopeuden säädön taajuusmuuttajan avulla, kun ennen vanhaan täytyi aina vaihtaa erilainen tasavirtakone. (Sähkömoottori n. d.)



KUVIO 9. Pyörimisnopeudet napaluvusta riippuen

Oikosulkumoottorin rakenne

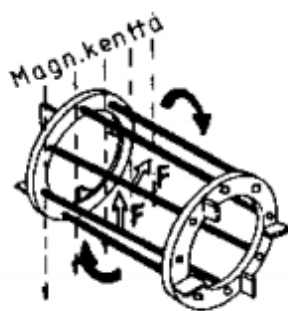
Oikosulkumoottorin tärkeimmät rakenneosat ja periaatteessa ainoat ovat roottori ja paikallaan pysyvä staattori. Roottori on aina pyöreä ja se koostuu massiivisista metallisauvoista valmistetuista oikosulkukäämityksistä, jotka ovat päistään yhdistetty oikosulkurenkailla. (Ks. kuvio 10.) (Sähkömoottori n. d.)



KUVIO 10. Oikosulkumoottorin halkaisukuva

Toimintaperiaate

Oikosulkumoottorin staattorikämeissä liikkuva sähkövirta tuottaa sinimuotoisen magnetomotorisen voiman. Käytännössä staattorille muodostuu pyörivä sähkömagneettikenttä kolmivaiheisen vaihtosähkön vaikutuksesta. Pyörivän staattorikentän vuoviivat leikkaavat kuvion 11 mukaisesti oikosulkumoottorissa olevan roottorin sauvoja, jonka seurauksena roottorin oikosuljettuihin käämeihin indusoituu induktiovirta. Magneettikenttä aiheuttaa voiman (F) virrallisiin käämeihin, joka pyrkii liikuttamaan staattori- ja roottorikämejä toisiinsa nähden. Staattorin ollessa kiinnitettynä alustaan, tuloksena on roottorin pyöriminen. (Niiranen 1999, 18–19.)

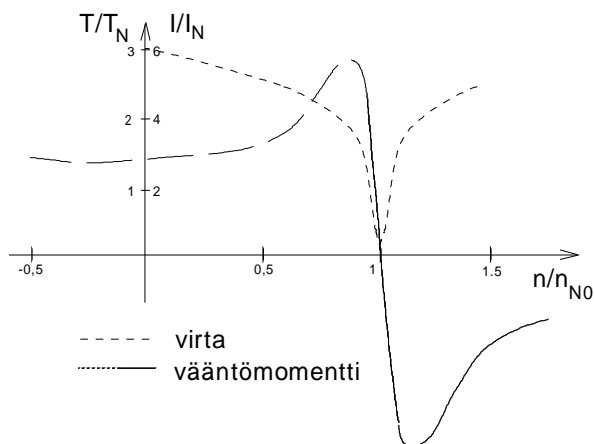


KUVIO 11. Magneettikentän aiheuttama voima

Induktiomoottorin roottoriin indusoituu virtaa ainoastaan silloin, kun staattorin magneettikenttä pyörii nopeammin kuin roottorin magneettikenttä. Tästä seuraa, että roottorin pyörimisnopeus on aina staattorin pyörimisnopeutta pienempi. Jos roottorin pyörimisnopeus saavuttaisi staattorikentän pyörimisnopeuden, ei roottoriin syntyisi sähköistä vääntömomenttia, koska vuoleikkausta ei tapahtuisi. (Honkanen n. d, 7.)

Oikosulkumoottorin ominaiskäyrä

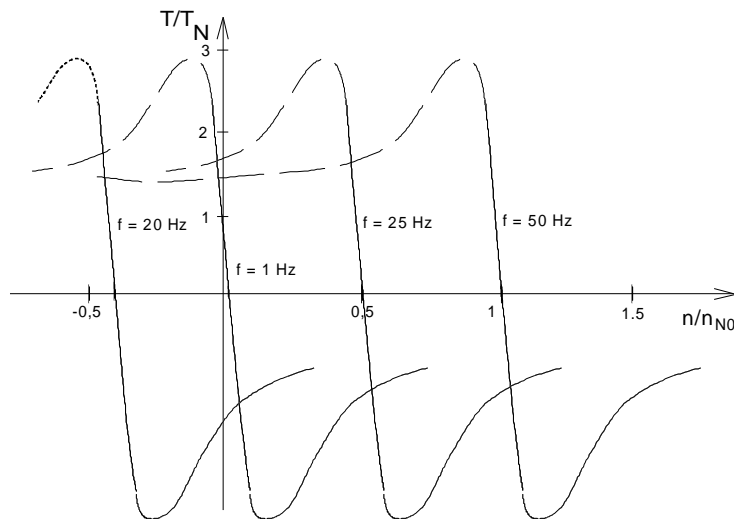
Oikosulkumoottorin ominaisuuksia voidaan käsitellä muutamalla eri tavalla. Ensimmäisessä tapauksessa moottoria syötetään vakiojännitteellä ja -taajuudella. Kuvio 12 esittää oikosulkumoottorin käyrää, jonka kuvaava moottorin antaman vääntömomentin pyörimisnopeuden funktiona. Vääntömomentin kuvaajan muotoon vaikuttaa roottorin rakenne ja tarkemmin roottoripiirin resistanssi. Jättämä ja käynnistysmomentti kasvaa resistanssin kasvaessa. (ABB TTT-käsikirja 2000, 16.)



KUVIO 12. Oikosulkumoottorin ominaiskäyrä

Yllä olevassa kuvassa näkyy myös moottorin ottaman virran käyttäytyminen. Kun oikosulkumoottori käynnistetään se ottaa 5 ... 7 kertaa nimellisvirran ja käynnistysmomentti on yleensä 1,5 ... 2,5 kertaa nimellismomentti ja maksimimomentti taas

2 ... 3 kertaa nimellismomentti. Oikosulkumoottorin toimiessa niin sanotulla vakio-
 vuoalueella sen jännitettä ja taajuutta pyritään ohjaamaan tavalla, joka pitää mag-
 neettivuon nimellistaajuutta pienemmillä taajuuksilla vakiona ja tavanomaisesti ni-
 mellisarvossaan. Kun oikosulkumoottoria syötetään eri taajuuksilla, saadaan kuvion
 13 mukaisia käyriä. (ABB TTT-käsikirja 2000, 17.)



KUVIO 13. Oikosulkumoottorin ominaiskäyrä eri taajuuksilla

Taajuusmuuttajan avulla toteutettu pyörimisnopeuden muutos toimii kaikissa tapa-
 uksissa momenttikäyrän pystysuoralla alueella, jolloin moottorin pyörimisnopeudelle
 voidaan kirjoittaa yhtälö $n = \frac{f}{p} \times (1 - s)$ (10) (ABB TTT-käsikirja 2000, 17.)

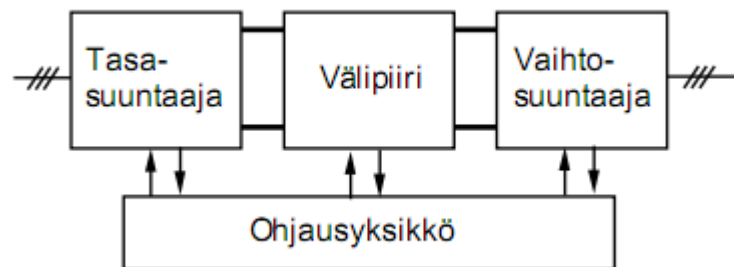
2.3 Taajuusmuuttaja

Sähkön taajuuden ja jännitteen muuttamiseen on keksitty tehoelektroniikkalaite,
 joka tunnetaan paremmin nimellä taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajatyypinä tunne-
 tuin on kolmivaiheinen taajuusmuuttaja, joka muuttaa sähköverkon kolmivaiheisen
 vaihtojännitteen sykkiväksi tasavirraksi ja edelleen halutunlaiseksi vaihtojännitteeksi.
 Moottorin kierroslukua ja siitä saatavaa vääntömomenttia on mahdollista muuttaa

taajuusmuuttajan avulla taajuutta tai amplitudia vaihtamalla. Tasavirtakoneen kierroslukusäädössä muutetaan vain jännitettä, kun taas oikosulkumoottorissa muutetaan sekä jännitettä että taajuutta. (Halonen 2008, 4.)

Taajuusmuuttajan rakenne ja toiminta

Kun oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden säädöstä on kyse, tapahtuu se yleensä taajuusohjatusti, käyttämällä välipiirillä varustettua taajuusmuuttajaa. Tällainen taajuusmuuttaja koostuu neljästä pääosasta (kuvio 14): tasasuuntaajasta, välipiiristä, vaihtosuuntaajasta sekä ohjausyksiköstä. (ABB TTT-käsikirja 2000, 17.)



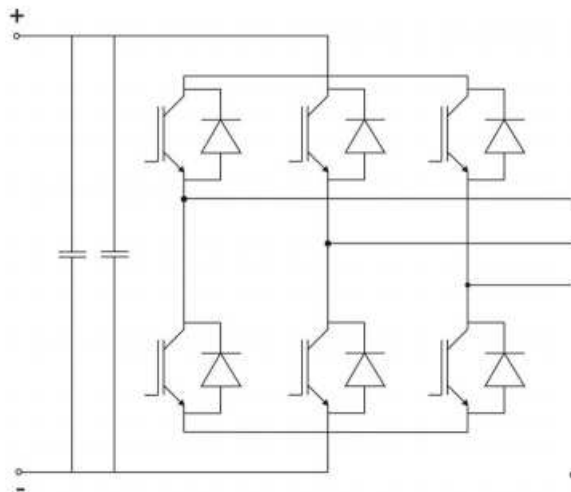
KUVIO 14. Taajuusmuuttajan lohkoakaavio

Tasasuuntaaja on joko diodi- tai ohjattusuuntaaja. Diodisilta luovuttaa vaihtojännitettä tasavirtakatkojalle tai tasajännitevirtapiirille. Tasavirtakatoja säättää välipiirin tasajännitteen arvoa. Ohjatussa suuntaajassa tyristorit säättävät välipiirin jännitteen arvoa. Jos moottorista saatava jarrutusteho halutaan syöttää sähköverkkoon takaisin, tulee käyttää toista ohjattua suuntaajaa rinnankytkettynä. Suuntaaja pitää olla kytketty vastakkaiseen suuntaan sähkön talteenottamiseksi. (Varttinen 2004, 21.)

Tasajännitevälipiirin mukaan luokitellaan taajuusmuuttaja virta- tai jänniteohjattuihin taajuusmuuttajiin. Jännitelevypiiri toimii tietynlaisena virtalähteenä moottorille, jonka ohjaus tapahtuu käyttäen virtaohjattua taajuusmuuttajaa. Piirin tehtävänä on syöttää moottorille virtaa, jotta sen navoille saadaan oikeanlainen jännite. Yleisem-

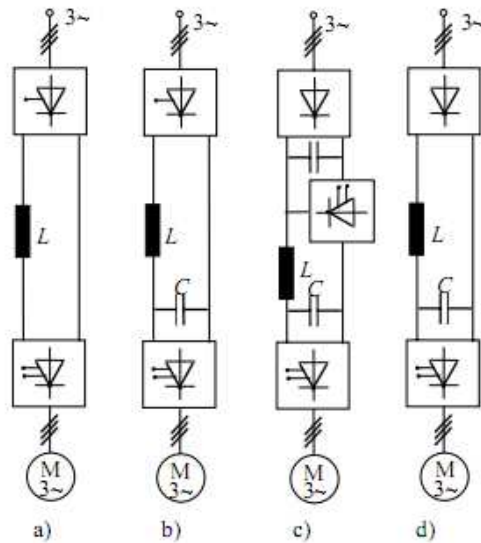
min käytetty taajuusmuuttajatyyppe on jänniteohjattu taajuusmuuttaja, jonka välipiiri koostuu kondensaattoriparistosta ja LC-suotimista. (ABB TTT-käsikirja 2000, 17.)

Vaihtosuuntaaja kääntää välipiirin lähettämän tasajännitteen takaisin kolmivaiheiseksi vaihtojännitteeksi. Taajuusmuuttajan suurimmat häviöt muodostuvat vaihtosuuntaajassa. (Varttinen 2004, 23.)



KUVIO 15. Taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajan yhden vaiheen rakenne

Ohjausyksikkö nimensä mukaisesti ohjaa taajuusmuuttajaa. Jos sähkömoottorin käyttäjä haluaa muuttaa moottorin pyörimisnopeutta, lähettää ohjausyksikkö viestejä tasasuuntaajaan, välipiiriin tai vaihtosuuntaajaan riippuen taajuusmuuttajan rakenteesta. (ABB TTT-käsikirja 2000, 18)



KUVIO 16 Taajuusmuuttajatyypit. a) Tasavirtapiiri, b) Ohjattu tasajännite, c) Tasajännitteen ohjaus katkolla, d) PWM - taajuusmuuttaja

2.4 Venttiilit

Laite, jonka tehtävänä on sallia, estää ja säätää fluidien virtausta kutsutaan venttiiliksi. Venttiili koostuu viidestä päärakenneosasta. (Venttiili n. d.)

2.4.1 Venttiilin osat

Venttiilin ulointa kuorta kutsutaan rungoksi, jonka tarkoituksena on muodostaa suojakotelo venttiilin muille osille. Venttiilit liitetään putkistoon yhteiden eli liitospintojen kautta. Laippayhteessä putken- ja venttiilin laipat liitetään yhteen puristamalla tiiviste laippojen väliin ruuveja käyttämällä. Hitsausta käytetään myös liitettäessä venttiileitä putkilinjoihin. On olemassa muitakin liitosmenetelmiä, kuten esimerkiksi kierrelitokset ja pikaliittimet. Liitokset ovat standardoituja ja mitoitus on tapahtunut putkikoon avulla. (Venttiili n. d.)

Fluidin virtaukseen on mahdollista vaikuttaa venttiilin rungon sisällä olevalla osalla. Se voi olla niin sanottu lautanen, jota käännetään virtauksessa (läppäventtiili), liikuteaan virtauksen suunnassa (lautasventtiili) tai siirretään poikittaissuunnassa (luisti-venttiili) virtaukseen nähden. Palloventtiilistä puhuttaessa palloon on porattu reikä ja palloa kääntämällä virtausta saadaan säädettyä. Venttiilin rungon pintaa nimitetään istukaksi, jota vasten lautanen tiivistyy. (Venttiili n. d.)

Karaksi kutsutaan tankoa, jolla toimilaitteelta tai kääntökahvasta siirtynyt liikevoima kohdistetaan lautaseen tai palloon. Kara pystyy kääntymään, kuten läppä- ja palloventtiili tai se pystyy liikkumaan lineaarisesti, kuten luisti- ja lautasventtiileissä. (Venttiili n. d.)

Venttiilien valinnalla ja sijoituksella voidaan vaikuttaa huomattavasti laitoksen käyttömukavuuteen ja -talouteen, huollon ja muutostöiden helppouteen sekä turvallisuuteen. Laitteet, jotka ovat kytketty putkiverkoston pitää pystyä irrottamaan ilman suurempia linjaston tyhjennyksiä. Virtaamat linjaston eri kohdissa tulee olla mitattavissa ja säädettävissä. (Välilliset kylmlaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 40.)

2.4.2 Sulku- ja säätöventtiilit

Palloventtiilejä käytetään sulkuventtiileinä hyvin useasti niiden pienen painehäviön, edullisen hinnan ja hyvän tiiviyden vuoksi. Palloventtiilit ovat huomattu hyvin luotettaviksi käytössä, koska esimerkiksi epäpuhtaudet eivät vaikuta niiden käyttöön. (Välilliset kylmlaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 41.)

Säätöpallolla varustettuja venttiileitä voidaan käyttää sekä sulku- että säätökäytössä. Suuren vääntömomentin tarvetta voidaan pitää palloventtiilin heikkoutena moottorikäyttöä ajatellen. Kun taas kahvallisena palloventtiili on nopeasti ja vaihteellisena

hitaasti sulkeutuva. Palloventtiili on ns. neljänneskierto venttiili eli käytännössä vääntökulma on 90°. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 41.)



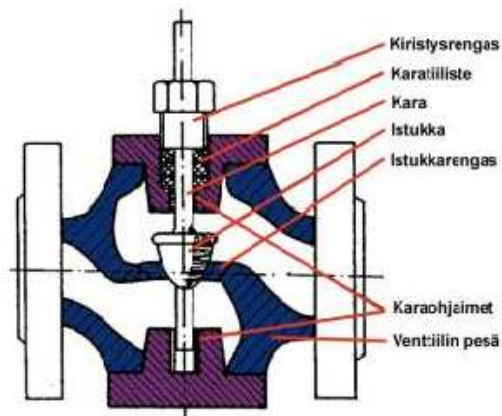
KUVIO 17. Keraaminen palloventtiili

Suuren kokoluokan putkissa käytetään läppäventtiiliä, koska palloventtiilin käyttö tulee rakenteensa vuoksi painavaksi ja kalliimmaksi. Läppäventtiilin etuina voidaan pitää sen pientä tilantarvetta putkiston suunnassa sekä sille ominaista pientä vääntömomentin tarvetta. Säättöön läppäventtiili soveltuu huonosti sen ominaiskäyrän takia, mutta sulkuventtiilinä se on hyvin toimiva. Venttiili on myös ns. neljänneskierto venttiili eli 90°. (Kianta 2005, 65.)



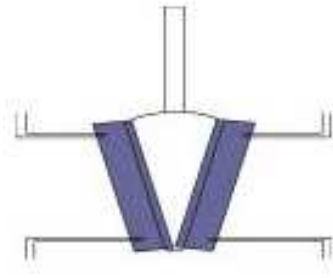
KUVIO 18. Läppäventtiili

Istukkaventtiiliä käytetään säätöventtiilinä ja moottorikäytössä. Sulkuventtiiliksi se soveltuu myös erinomaisen tiiviytensä ansiosta. mutta sitä voidaan käyttää myös sulkuventtiilinä. Istukkaventtiilin tiivistuspinta on nestevirtauksessa, jolloin epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa ongelmia tiiviiden suhteen. Istukkaventtiili on hitaasti sulkeutuva ja se voidaan liittää kiertein tai laipoin. (Asmala 2009.)



KUVIO 19. Istukkaventtiili

Luistiventtiili soveltuu pääasiassa sulkuventtiiliksi, mutta joissakin tapauksissa sitä voidaan käyttää myös säätöventtiilinä. Hyvää tiiviyttä, laajaa lämpötila- ja painealuetta sekä tukevaa rakennetta voidaan pitää luistiventtiilin etuina. Kuten palloventtiili, myös luistiventtiili tarvitsee suuren vääntömomentin, jota pidetään yhtenä sen haittapuolena venttiilin kiinni jumittumisen lisäksi. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, 231–232.)



KUVIO 20. Luistiventtiili

2.4.3 Muut venttiilit

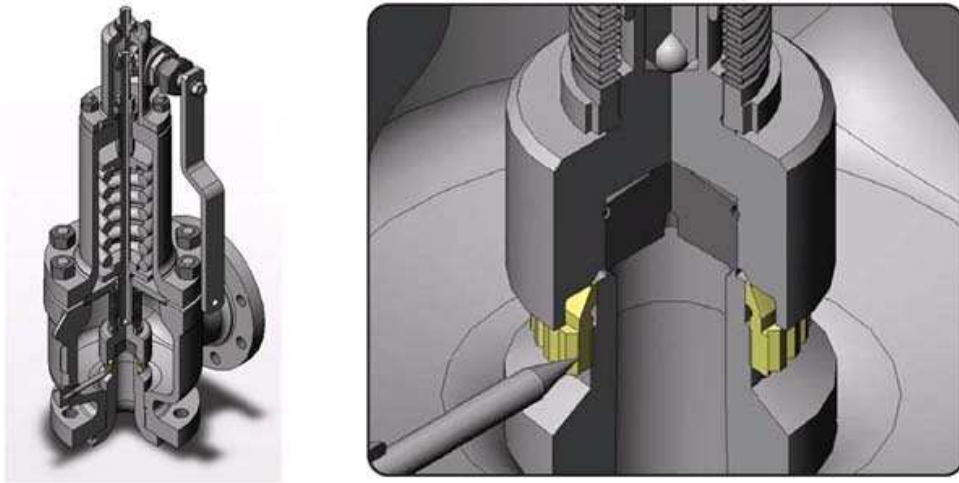
Takaisku- eli yksisuuntaisventtiilillä estetään väliaineen takaisinvirtaus. Sen käyttömateriaalit ovat samoja kuin sulku- ja säätöventtiileillä sekä liitostavat lähinnä kierrein, laipoin tai laippojen väliin. Takaiskuventtiili on useimmiten rakenteeltaan sellainen, että siinä on jousikuormitteinen tai heilurityyppinen läppä, joka aukeaa paineen vaikutuksesta vain toiseen suuntaan. (Huhtinen ym. 2004, 232.)

Kaikista yksinkertaisimmillaan säätöventtiili voi toimia kiinni/auki- periaatteella. Näin toimivaa venttiiliä kutsutaan magneettiventtiiliksi. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001,43)

3 -tieventtiilissä on kolme yhdettä. Teollisuudessa käytetään 3- tieventtiileitä, joissa on yksi sisään tulevan virtauksen yhde ja kaksi poistuvan virtauksen yhdettä. Näistä poistuvan virtauksen yhteistä on käytössä yksi kerrallaan. Palloventtiiliä käytetään usein 3 -tieventtiilinä. (Products n. d.)

Varoventtiiliä käytetään järjestelmän paineenrajoitukseen, jotta häiriötilanteen sattuessa paine ei nousisi vaarallisen korkeaksi. Varoventtiilien käyttö soveltuu nesteiden ja kaasujen paineenrajoitukseen. Varoventtiili avautuu määrättyssä paineessa, jolloin paine purkautuu varoventtiilin kautta. Paineen laskiessa alle varoventtiilin avautumispaineen varoventtiili sulkeutuu. (Huhtinen ym. 2004, 236.)

Varoventtiilin toiminta perustuu jousivoiman avulla suljettuun venttiiliin, joka avautuu paineen aiheuttamasta voimasta venttiilin pinta-alaa kohden. Avautuneen venttiilin kautta paine purkautuu järjestelmästä. Varoventtiilin mitoitus täytyy olla riittävä, jotta koko varoventtiilin rajoittaman prosessin virtaamaan mahtuu virtaamaan venttiilin läpi. Jos näin ei olisi, paine jatkaisi nousuaan. Mitoituksessa on huomioitava myös päinvastainen tilanne eli liian suuri varoventtiili, joka voi aiheuttaa järjestelmään liian suuren paineen pudotuksen. (Huhtinen ym. 2004, 237.)



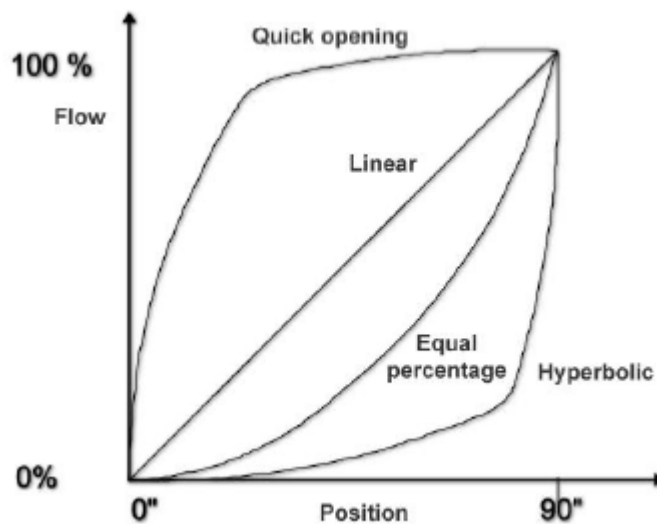
KUVIO 21. Varoventtiili

2.4.4 Venttiilien mitoitus ja valinta

Sulkuventtiilit valitaan tavallisesti käytettävän putkikoon mukaan. Useita sulkuventtiileitä käytetään myös säätöventtiileinä. Niiden säätöominaisuudet vaativat riittävät painehäviöt, jos painehäviöt ovat liian pienet niin venttiili on ylimitoitettu. Käytännössä ylimitoitettun venttiilin istukka toimii lähes kiinni asennossa ja ajan myötä se kuluu ja alkaa vuotaa.

Säätöventtiiliä valittaessa on tärkeää tietää paine ennen ja jälkeen venttiilin, fluidin massa- tai tilavuusvirta sekä väliaineen tiheys. Näitä tietoja hyväksikäyttäen voidaan venttiilille laskea k_v - arvo kaavasta $k_v = Q \times \sqrt{\frac{\rho}{4p}}$ (11)

Säätöventtiileiden ominaisuuksia kuvataan k_v - arvolla, jonka laitevalmistaja ilmoittaa venttiilin arvokilvessä. Itse laskettua k_v - arvoa voidaan verrata laitevalmistajien ilmoittamaan arvoon ja valita tapaukseen soveltuvin venttiili. Käytännössä venttiilin säätämisessä käytetään k_v -arvoa, joka kuvaa venttiilin läpäisykykyä. (Huhtinen ym. 2004, 232–233.)



KUVIO 22. Säätöventtiilin ominaiskäyriä

Kuviossa 22 on venttiilin ominaiskäyriä, joista säätökäytössä käytetään yleensä lineaarista tai tasaprosenttista (Equal percentage) ominaiskäyrää. Kun halutaan venttiilin asennon muutoksen vaikuttavan virtauksen muutokseen saman suuruisella prosenttisuudella käytetään tasaprosenttista ominaiskäyrää. Lineaarisen ominaiskäyrän omaavan venttiilin sulkuelimen asento saa aikaan virtauksen lineaarisen muutoksen. (Huhtinen ym. 2004, 234.)

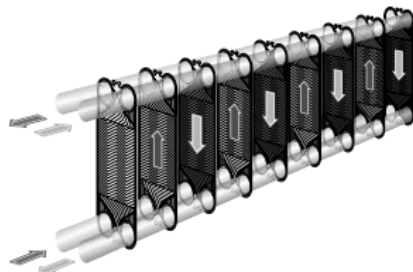
On olemassa säätöventtiileitä, jotka toimivat omavoimaisesti tai apuenergian avulla. Ensimmäinen edellä mainituista toimii jousi- tai painokuormaa apuna käyttäen. Apuvoimaiset säätöventtiilit saavat lisäenergiansa hydrauliiikan, pneumatiikan tai sähkövirran toimesta. Vaativissa prosessiolosuhteissa käytetään yleensä apuvoimaisia venttiileitä niiden hyvän säätötarkkuuden ansiosta. (Huhtinen ym. 2004, 234.)

2.5 Lämmönsiirrin

Nimitys lämmönvaihdin eli lämmönsiirrin tulee siitä, kun käytetään laitetta, jossa kaksi toisistaan seinämällä erotettua virtaavaa ainetta luovuttaa keskenään lämpöenergiaa. Lämmönvaihtimia on useita eri tyyppisiä. Seuraavassa käydään tarkemmin läpi levylämmönvaihdintyyppiä. (Heat exchangers n. d.)

2.5.1 Levylämmönvaihdin

Levylämmönvaihdin on valmistettu lämmönvaihtolevyistä, jotka muodostavat virtausurapaketin. Levyjen materiaalivalinta tehdään tapauskohtaisesti ja se riippuu paineesta, lämpötilasta, aineesta ja käyttötavasta. Lämmönvaihdossa osallisina olevat kylmä- ja lämminaine virtaavat vuorosuuntaisesti virtausurien läpi. Teollisuudessa käytetään yleisesti yksisuuntaisia lämmönvaihtolevyjä, joissa kaikki sisään ja ulos johdettavat putkistot ovat liitetty kiinteän levyn yhdelle puolelle. (Heat exchangers n. d.)



KUVIO 23. Yksisuuntainen levylämmönvaihdin

Kylmäaineen ja lämpimän aineen tiukat lämpötilaerot voivat tehdä monisuuntaisten lämmönvaihtolevyjen käytön tarpeelliseksi. Monisuuntaisissa levylämmönvaihtimissa liitäntäputkistot sijaitsevat kiinteässä ja irtonaisessa levyssä. (Levylämmönsiirtimet n. d.)



KUVIO 24. Monisuuntainen lämmönvaihdin

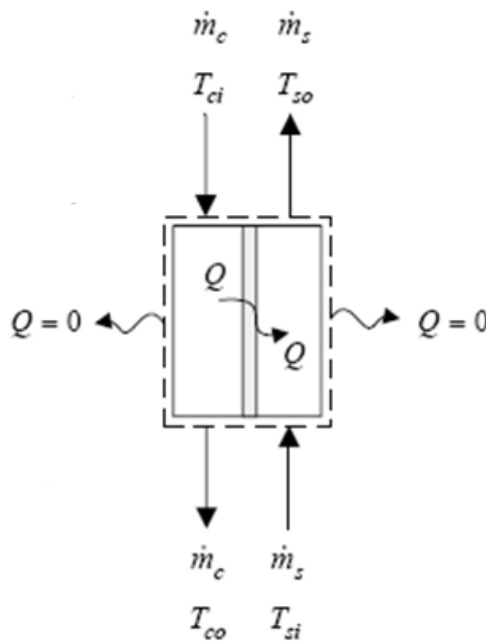
Levylämmönvaihtimet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään niiden rakenteellisten ominaisuuksien perusteella. Tiivisteelliset levylämmönvaihtimet, jotka voidaan avata puhdistusta ja tarkastusta varten sekä niihin voidaan tarvittaessa lisätä lämmönsiirtopintaa esimerkiksi tehtävän muuttuessa. Tiivisteellinen vaihdin ei rikkoudu jäätymistä takia elastisten tiivisteiden ansiosta. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 108.)

Juotetut levylämmönsiirtimet eivät eroa toimintaperiaatteeltaan tiivisteellisistä levylämmönvaihtimista. Ainoana erona voidaan pitää sitä, että juotetut vaihtimet eivät omista tiivisteitä tai painetta kantavia runko-osia. Juotosten avulla saadaan tarvittava tiivistys ja rakennepaine. Juotettua levylämmönvaihdinta ei voida avata eikä korjata ja ne ovat herkkiä jäätymiselle sekä paineiskuille. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 109.)

Hitsatuissa levylämmönvaihtimissa tiivistys tapahtuu hitsisauman avulla. Laserhitsiä käyttäen lämmönsiirtolevyt on hitsattu yhteen tiivisteiden kohdalta. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 110.)

Lämmönvaihtimen teho saadaan laskettua seuraavasti

$$\dot{Q} = (\dot{m} \times c_p)_s (T_{so} - T_{si}) = (\dot{m} \times c_p)_c (T_{ci} - T_{co}) \quad (12)$$



KUVIO 25. Lämmönsiirtimen energiatasapaino

2.5.2 Lämmönvaihtimen mitoitus ja valinta

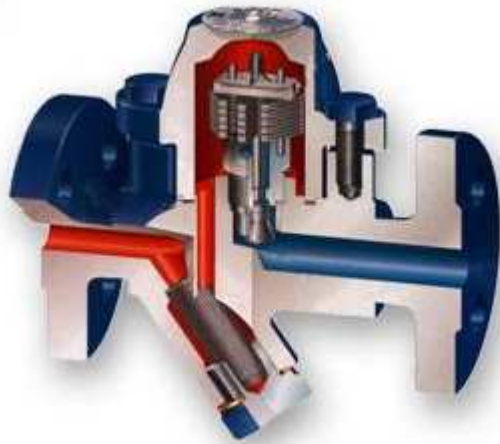
Levylämmönvaihtimen mitoitus tapahtuu valmistajien valinta- ja mitoitusohjelmalla. Ohjelmiin tarvitsee syöttää teho [kW], kyseessä oleva neste tai liuos sekä mitoituslämpötila. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 112.)

Likaantumiskerroin ja ylimääräinen lämpöpinta-ala ovat yleensä ohjelmaan esisyötettyinä. Syötettäessä liuoksen tai nesteen meno- ja paluulämpötilat sekä tehon, laskee

ohjelma virtauksen. Ohjelmien on tarkoitus toimia niin, että yksi suure jätetään ohjelman laskettavaksi, koska ne huomioivat lämmönsiirtonesteiden tiheyden ja ominaislämmön muutoksen lämpötilan funktiona. Jos mitoitus tehdään ohjelmalle, eikä se tunne liuosta, täytyy tiheys $[\frac{kg}{m^3}]$, ominaislämpö $[\frac{kJ}{kgK}]$, viskositeetti [cP] ja lämmönjohtavuus $[\frac{W}{mK}]$ selvittää erikseen. (Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen 2001, 112.)

Lauhteenerottimet

Lauhteenerottimia käytetään nimensä mukaisesti erottamaan lauhdetta höyryjärjestelmästä. Lauhteenerottimet voidaan jakaa mekaanisiin ja termisiin toimintaperiaatteensa mukaan. Mekaaniset lauhteenpoistimet perustuvat ominaispaino eroihin. Lauhteenerottimeen kerääntyvä lauhde nostaa uimuria, joka avaa venttiilin ja lauhde virtaa lauhteenpoistimesta ulos. Termiset lauhteenpoistimet perustuvat höyryn ja lauhteen lämpötilaeroon. (Huhtinen ym. 2004, 238–239.)



KUVIO 26. Biteräspoistin

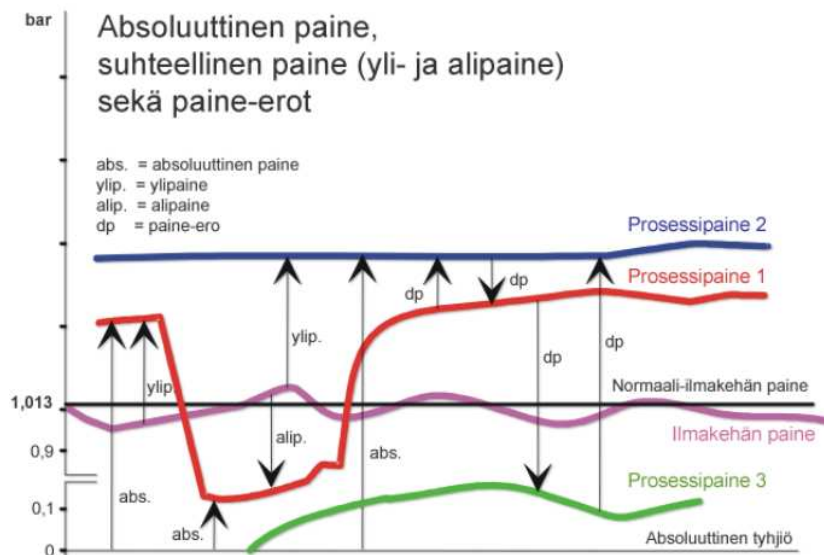
3 MITTAUSMENETELMÄT

3.1 Paine

Paineen mittaus on lämpötilan jälkeen käytetyin mittaus prosessiteollisuudessa. Sitä voidaan tarkkailla, säätää ja sen avulla voidaan epäsuorasti mitata pinnan korkeutta, virtausta, tiheyttä jne. Paine on pintaan kohdistuva kohtisuora voima pinta-

alayksikköä kohden $P = \frac{F}{A} = \frac{[N]}{[m^2]} = [Pa]$ (13). (Asmala 2009a.)

Useimmiten painetta mitataan ns. suhteellisena mittauksena eli tarkasteltavan tilan paineen mittaamista suhteessa ilmanpaineeseen. Painetta voidaan mitata myös absoluuttisesti, jolloin vertailussa on tyhjiö. Paine voidaan mitata myös kolmannella tavalla, jolloin painetta verrataan johonkin toiseen paineeseen, joka poikkeaa tyhjiöstä tai ilmanpaineesta. Tällöin puhutaan paine-eron mittaamisesta. Käytännössä paineanturi tuottaa siirtymän, joka on eri tavoin muutettavissa sähköiseksi signaaliksi. Voimien mittaukset palautuvat usein painemittauksiin. (Hautanen 2010, 4.)

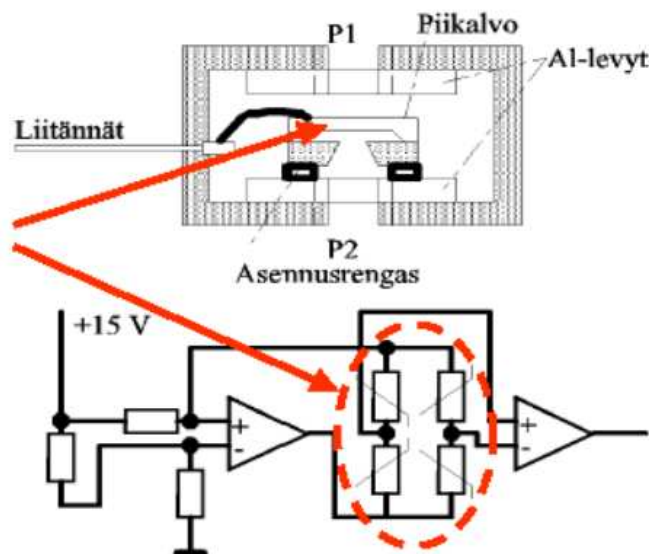


KUVIO 27. Paineen mittaus

Paineanturi

Painetta mitataan monesti paikallisesti eikä tietoa tarvitse viedä kauemmaksi. Tällöin mittalaitteena voidaan käyttää painekaarta tai pienemmillä paineilla U-putkimanometria. Jos painetieto halutaan viedä kauemmaksi, paine pitää muuttaa tuntoelintä käyttäen sähköiseen tai pneumaattiseen standardiviestimuotoon. Yleensä tuntoelimenä käytetään kalvoa, johon paine aiheuttaa elastisen muodonmuutoksen, mekaanisen siirtymän tai jännitystilän. (Asmala 2009a.)

Kalvon mekaaninen muutos pystytään havaitsemaan esimerkiksi induktiivisella sekä kapasitiivisella periaatteella tai venymäliuska-anturilla. Myös pietsoresistiivisiä- ja pietsosähköisiä periaatteita voidaan käyttää. Pietsosähköisellä anturilla dynaamisen paineenmittaus on mahdollista. (Asmala 2009a.)

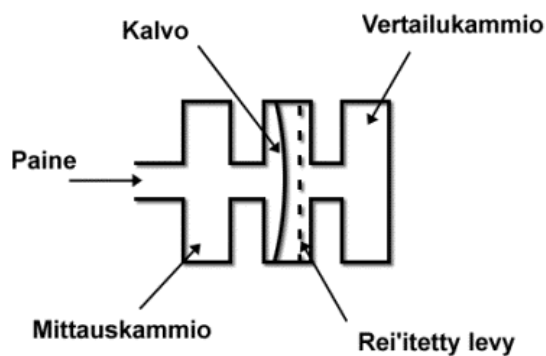


KUVIO 28. Sähkösignaalin muodostaminen venymäliuskojen siltakytkennällä

Kapasitiivinen paineanturi tunnetaan myös nimellä sähköstaattinen anturi, koska mitattava suure muuttaa anturin kapasitanssia. Kapasitanssin muutos saadaan aikaan

joko muuttamalla kondensaattorilevyjen välistä etäisyyttä tai muuttamalla levyjen välissä olevaa ainetta. Kondensaattorilevyjen etäisyyden vaihtumiseen perustuva anturi mittaa mittauskammion ja vertailukammion välistä paine-eroa. (Hautanen 2010, 15.)

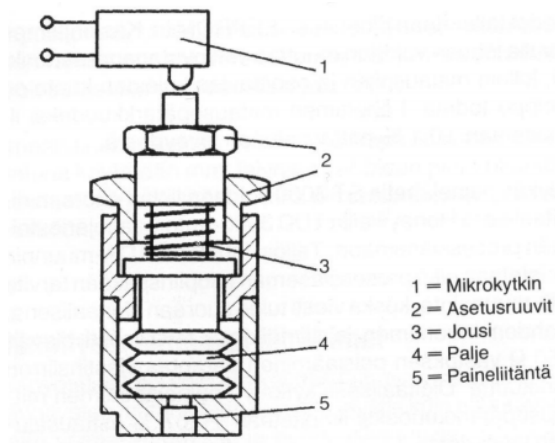
Induktiivisen paineanturin toiminta on hyvin samantapainen kuin kapasitiivisen anturin. Siinä kondensaattorilevyjen liikuttelun sijasta kalvot liikuttavat differentiaali-muuntajan keloja. (Hautanen 2010, 15.)



KUVIO 29. Paineanturin mittausperiaate

Painekytkin

Painerajojen ilmaisussa käytetään painekytкимиä, joka koostuvat paljeesta ja kosketimesta. Painekytkin on mahdollista virittää joko nousevalle tai laskevalle paineelle. Vaihtokosketin on tilanteen mukaan avautuva tai sulkeutuva. (Asmala 2009a.)

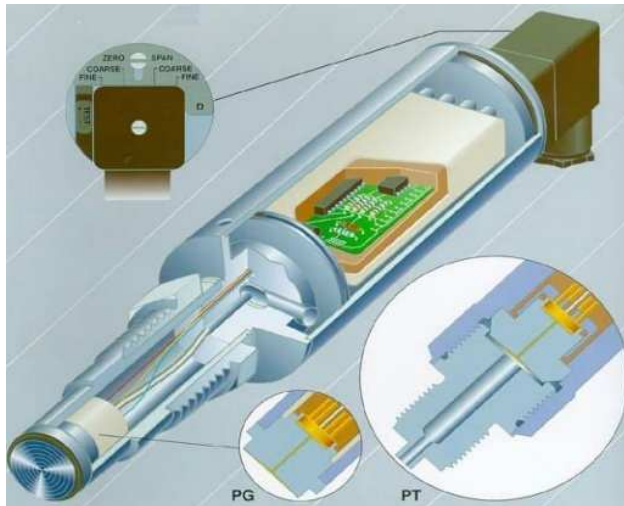


KUVIO 30. Painekytin

Painelähetin

Teollisuudessa paineen mittauksella on tiettyjä vaatimuksia kuten jatkuvatoimisuus, tarkkuus, toistettavuus, nopea dynamiikka ja saatavan informaation käytettävyys. Nykyisin käytetyillä paineen mittaussignaalilla vaatimukset saavutetaan hyvin. Tästä johtuakin, että nykyisin käytettävät paineen mittarit tunnetaan nimellä paineenlähettimet, koska mittaustapahtumaan liittyy muutakin kuin itse mittaus. (Hautanen 2010, 26.)

Painelähetin koostuu mittaussignaalista ja mittaussignaalin muuntimesta. Anturi on yhteydessä mitattavaan paineeseen. Mittaussignaalin muuntimella paine muutetaan virtaviestiksi. On olemassa myös älykkäitä paineenlähettäviä, joiden avulla on mahdollista mittaussignaalin käsittelyn lisäksi kaksisuuntainen kommunikointi. (Hautanen 2010, 26.)



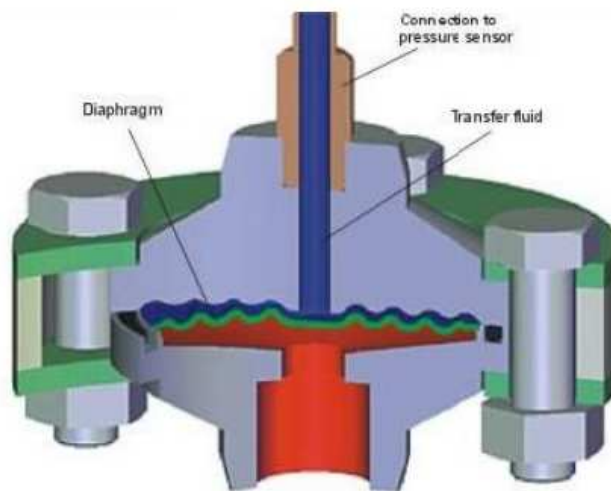
KUVIO 31. Paineenlähettimen rakenne

Painelähettimen anturin kalvoon vaikuttaa paine. Kalvo sulkee kammion, josta on välitinyhteys mittausanturiin. Pietsokide- tai kapasitiivista mittausosaa käytetään mittausanturina yleisesti teollisuudessa. Silikoniöljy, jota yleensä käytetään välines- teenä vaikuttaa anturiin, joka aiheuttaa syötettävän virran muuttumisen. Virran muutos on verrannollinen paineeseen. (Hautanen 2010, 19-20.)

Painelähettimen mittausmuunnin sisältää vahvistimen ja mikroprosessorin, joka suorittaa painelähettimen operaatiot ja signaalimuutokset. Mittausmuunnin muuntaa anturiosalta tulevan signaalin standardiviestialueelle (useimmiten 4-20mA). Yleensä käsitelty signaali pitää vahvistaa kenttäväylän tai toimilaitteen ohjaussignaalille sopi- vaksi. (Asmala 2009a.)

Painevälitin

Painevälitin on apukeino, jota käytetään prosessiaineen ollessa liian syövyttävää, kuumaa tai jäykkää siirrettäväksi impulssiputkea pitkin lähettimelle, eikä lähetintä ole mahdollista asentaa suoraan kiinni prosessiin. (Ks. kuvio 32.)(Hautanen 2010, 25.)



KUVIO 32. Paineenvälitin

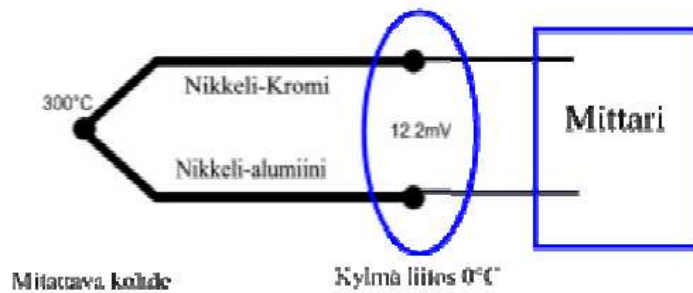
3.2 Lämpötila

Monien materiaalien olomuoto riippuu lämpötilasta, joka on fysikaalinen suure. Lämpötilan SI-yksikkö on kelvin, jonka lämpötilaero on samansuuruinen kuin yhden celsiusasteen ($0^{\circ}C = 273,15 K$). Lämpötilaa voidaan mitata monella erilaisella lämpötila-anturilla, mutta itse mittausperiaatteita on vain lämpölaajenemisilmiöön, lämpösäteilyyn ja sähköisiin tuntomerkkeihin perustuvat periaatteet. (Hautanen, J 2009, 4)

Termopari

Termopari on eniten käytetty lämpötilanmittausmenetelmä sen hinnan laajan lämpötila-alueen ja pitkän standardisoinnin vuoksi. Termoelementin eli termoparin toiminta perustuu Seebeckin eli termosähköiseen ilmiöön. Seebeckin ilmiössä metallilankaan synnytetään sähkömotorinen voima lämpötilagradientin dT/dl vaikutuksen avulla. Erilaisten metallien muodostaman kytkennän avulla saadaan synnytettyä lankojen välille potentiaaliero. Tämä potentiaaliero on verrannollinen lämpötilaeroon eli niin

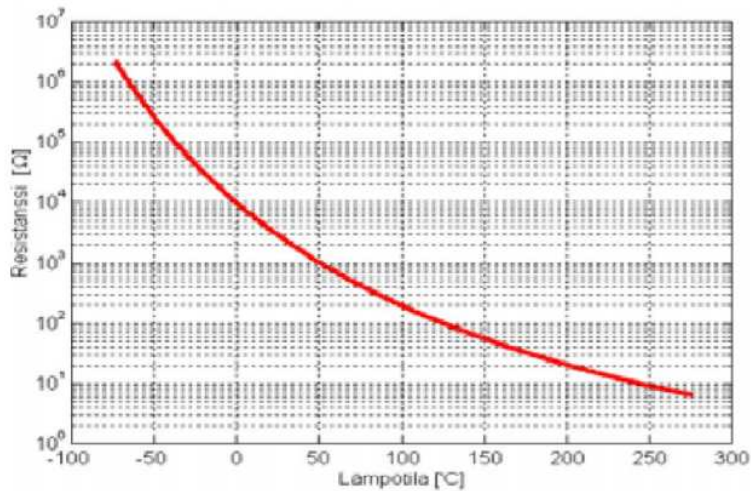
sanotun "kuuman liitoksen" lämpötilan T_1 ja vertailupisteen lämpötilan T_2 välillä. Ilmiö pätee suurelle osalle metalleista, mutta vain muutamia standardeja käytetään, sillä standardimetallien jännitteet ovat stabiileita ja ne antavat suuria jännitteitä lämpötilan funktiona. (Termopari lämpötila-anturina n. d. 1)



KUVIO 33. Termopari

Termistori

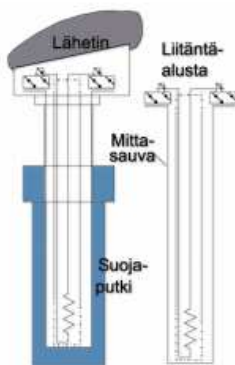
Puolijohdetyypistä vastusanturia kutsutaan termistoriksi, jonka mittausalue on n. $-60 \dots +300^\circ\text{C}$. Puolijohteita valmistetaan kahdesta tai useammasta metalliosasta. Termistori on joko PTC-tyyppiä, jonka lämpötilakerroin on positiivinen tai NTC-tyyppiä, jonka lämpötilakerroin on negatiivinen. Termistorin etuna voidaan pitää sen herkkyyttä ja pientä kokoa. Huonoiksi puoliksi luetaan termistorin lämpötilariippuvuuden epälineaarisuus. (Kärhä 2008, 6-7.)



KUVIO 34. Termistorin ominaiskäyrä

Vastusanturi, PT - 100

Vastusanturit ovat metalleista valmistettuja antureita, joiden tuntoelimenä toimii ohut metallilanka tai kalvo. Antureiden resistanssin lämpötilariippuvuuden avulla pystytään mittamaan lämpötila. Platina, nikkeli ja kupari ovat tavallisemmin käytetyt metallit vastusanturin valmistuksessa. Anturin tuntoelinmetalli pyritään valitsemaan resistanssin riippuvuuden ja lämpötila-alueen lineaarisuuden mukaan. (Aumala 1999, 90.)



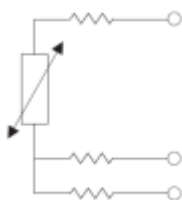
KUVIO 35. Pt 100- anturin rakenne

Teollisuudessa kaikista tunnetuin vastusanturi on Pt-100 anturi, joka on saanut nimensä platina-alkuaineen lyhenteestä ja sen resistanssin arvosta (100 Ω 0 °C lämpötilassa). Anturin mitta-alue on -250 °C ... +850 °C, erikoisrakenteisena aina 1000 °C asti. Suuret lämpötilan mittaukset ovat mahdollistettu parannettujen vaippamateriaalien ansiosta. Platina-anturin käyttöä korkeissa lämpötiloissa rajoittaa sen suojavaipan lämpöliikkeen vaikutus platinalankaan, jonka resistanssiin voi syntyä pysyviä muutoksia. (Aumala 1999, 91.)

Pt-100 anturin ollessa epälineaarinen se pitää linearisoida käyttäen apuna mittalähetintä. Lämpötilan vaikutus resistanssiin on mahdollista approksimoida yhtälön $R(t) = R(0)[1 + At + Bt^2]$ (14) mukaan. DIN-standardin mukainen Pt 100-anturin herkkyys 0 °C lämpötilassa on $0,358 \frac{\Omega}{K}$. (Aumala 1999, 91.)

Anturista itsestään aiheutuu pieni mittauserätarkkuus, joka on n. 0,3 °C ... 5 °C. Mittausvirta on pidettävä maksimissaan 10mA:ssa, koska se lämmittää anturia ja aiheuttaa näin mittauserhettä. (Aumala 1999, 91.)

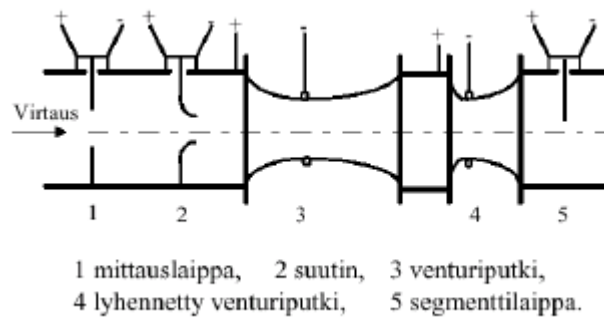
Resistanssinarvo saadaan muutettua siltakytkennällä mittaussignaalksi lähetinyksikössä. Normaalisissa kaksijohdinsillassa mittaajojohdinten resistanssit summautuvat ja aiheuttavat näin mittauserhettä. Tätä ongelmaa on pyritty kompensoimaan kuvion 36 mukaisella kolmijohdinjärjestelmällä, joissa vierekkäisissä haaroissa olevat johdinresistanssit kumoavat toisensa ja tällöin tutkittava resistanssin arvo vastaa mittaustulosta. (Aumala 1999, 91.)



KUVIO 36. 3-johdinkytkentä

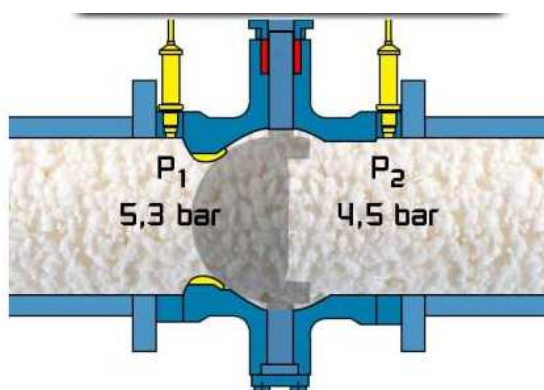
3.3 Virtaus

Fluidien virtausmittauksella pystytään mittamaan sen tilavuus- ja massavirtaa sekä ainemäärää. Aineiden ja olosuhteiden muutoksista johtuen virtausmittausmenetelmiä on monia. Kuristukseen perustuvia tuntoelimiä käytetään teollisuudessa hyvin paljon. (Huhtinen ym. 2004, 279.)



KUVIO 37. Teollisuudessa käytettyjä kuristuselimiä

Kuristuselinten toiminnan lähtökohtana on Bernoullin yhtälö. Kahden pisteen välille luodaan paine-ero kuristamalla virtausta. Tällöin paine-erolle pystytään muodostamaan yhtälö $p_1 + p_2 = \frac{\rho(v_2^2 + v_1^2)}{2} = k\rho F_v^2 = k \frac{F_m^2}{\rho}$ (15). Mittaussignaali saadaan paine-erolähtetimen avulla. (Aumala 1999, 95)



KUVIO 38. Virtausmittaus paine-eron avulla

Kuristuslaitteen valinta

Mittauslaippa on hyvin yleinen valinta virtausanturiksi sen halpuuden ja mittaustarkkuuden vuoksi. Se synnyttää pysyvän paine-eron virtaukseen ja näin ollen kuluttaa paljon energiaa. Energian kulutusta voidaan pienentää ainoastaan vaihtamalla mittausanturityyppejä. (Aumala1999, 95.)

Venturiputkessa painehäviöt ovat pienemmät ja tämän seurauksena mittaustarkkuus huonontuu. Mittaussuutin luo pienemmän painehäviön kuin mittauslaippa, mutta suuremman kuin venturiputki. Näin ollen mittaussuutin on tarkkuudeltaan mittauslaipan ja venturiputken välissä. Neljäs vaihtoehto kuristuslaitteen valinnaksi on segmenttilaippa, jota käytetään kuristuslaitteena ainoastaan roskaisessa tai kaasukuplia omaavassa nesteessä. (Aumala1999, 95.)

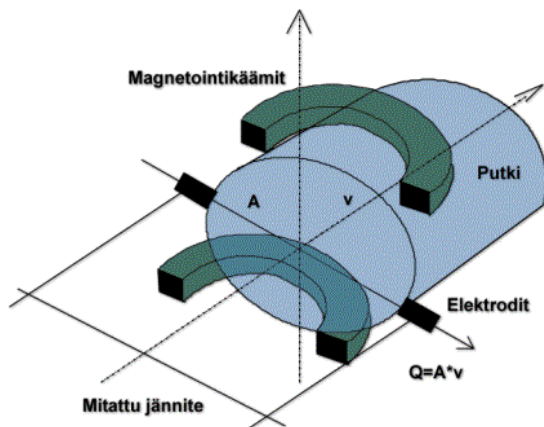
Pitot-putki

Pitot-putken mittausperiaate perustuu putkistossa vallitsevan staattisen paineen ja virtausnopeuden aiheuttaman dynaamisen paineen eroon. Käytännössä staattisen paineen mittauksesta vastaava putki asennetaan niin, että sillä on mahdollista mitata putkessa vallitseva staattinen paine. Toinen putki asennetaan kohtisuorasti virtausta vastaan, jolloin on mahdollista mitata sekä dynaaminen että staattinen paine. (Asmala 2009b.)

Induktiivinen mittaus

Induktiivisesta määrän mittauksesta käytetään myös nimeä magneettisen määrän mittaus. Sähkömagneettiseen induktioon perustuvan mittausperiaatteen mittausanturi koostuu eristeestä tehdystä putkesta ja putken ulkopuolella sijaitsevasta magnetointikämmistä. Anturissa käämit aikaansaavat magneettikentän mittausputkeen, minkä seurauksena fluidiin indusoituu jännite. Mittausjännite siirretään fluidista mittausjohtimiin käyttäen fluidin kanssa kosketuksissa olevia elektrodeja. Elektrodien

välille syntyvä jännite on suoraan verrannollinen virtaukseen Faradayn lain mukaisesti. (Aumala 1999, 96.)



KUVIO 39. Induktiivinen mittaus

Induktiivista mittausta voidaan käyttää sähköjohtavien nesteiden mittauksessa, jolloin nesteen täytyy virrata magneettiputkessa vähimmäisnopeudella $0,5 \frac{m}{s}$. Anturi on yksinkertainen rakenteeltaan eikä sisällä liikkuvia osia. Induktiivinen mittaus aiheuttaa merkityksettömän painehäviön. (Aumala 1999, 97.)

Ultraäänivirtausmittaus

Ultraääneen perustuva virtausmittaussovellus perustuu Doppler-ilmiöön. Mittariin on asennettu kaksi anturia, joista toinen lähettää ultraääntä vakiotajuudella nesteeseen. Toisen anturin tehtävänä on vastaanottaa takaisin heijastuvaa signaalia. Heijastuneella signaalilla on pienempi tai suurempi taajuus riippuen virtaavan fluidin nopeudesta ja lähetetyn signaalin kulmasta liikkuvaan partikkeliin nähden. Virtausnopeus on verrannollinen Doppler-ilmiön taajuussiirtymään. (Asmala 2009b.)

Doppler-mittareita ei ole mahdollista käyttää puhtaiden nesteiden virtausmittauksessa, koska silloin ei synny heijastuksia. Käytännössä ultraäänimittaus Doppler-

ilmiötä käyttäen vaatii virtaavan aineen sisältämiä kiintopartikkeleita tai ilmakuplia, joista lähetetty ääniaalto heijastuu. Menetelmä ei sovi kovin tarkkoihin mittauksiin, koska ääni ei voi heijastua maksimi- tai miniminopeudesta, keskeltä putkea tai putken reunalta. (Asmala 2009b.)

Pyörrevanamittaus

Pyörrevanamittaus eli Vortex-mittaus perustuu Karmanin ilmiöön. Putkistoon on asennettu estekappale, jonka muoto poikkeaa virtauslinjan muodosta ja saa aikaan pyörteitä, joilla on määrätty taajuus. Estekappaleen molemmin puolin on asennettu termistorit, joiden avulla mitataan pyörteilyn taajuus. Tiedetyt taajuudet ovat suoraan verrannollisia tilavuusvirtaan. (Huhtinen ym. 2004, 282.)

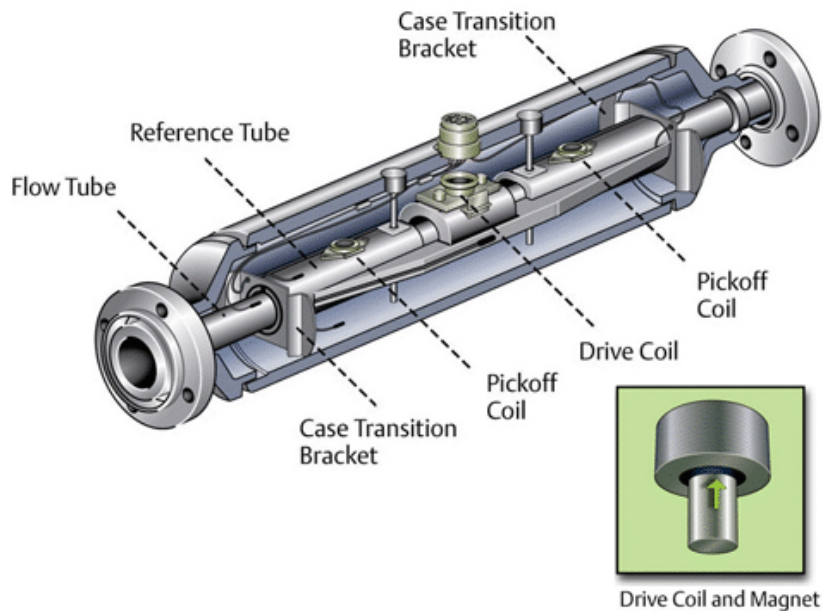


KUVIO 40. Pyörrevanamittaus

Coriolis-mittaus

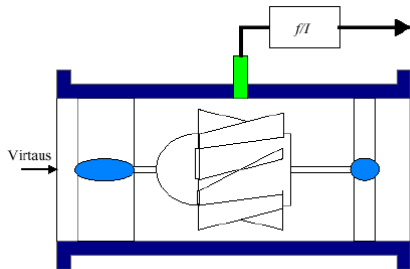
Massamittauksessa käytetään hyvin useasti hyväksi Coriolis-voimaan perustuvaa mittaria. Coriolis-voima syntyy fluidin virratessa taipuvan virtausputken läpi. Voiman seurauksena putki taipuu ja mekaaninen rakenne siirtää taipumisen vertailuputkeen. Putkeen saapuva neste synnyttävä Coriolis-voima pyrkii vääntämään putkea jompaankumpaan suuntaan ja putkesta poistuvan nesteen Coriolis-voima taas pyrkii vääntämään putkea vastakkaiseen suuntaan. Tämän väännön seurauksesta tunnistuskelojen välille syntyy värähtelyä, joka mitataan käyttämällä induktiivista tai optista menetelmää. (Asmala 2009b.)

Induktiivisessa menetelmässä virtausputken keloihin indusoituu jännite, joka muodostaa siniaallon vertailuputken magneetin kanssa. Tulo- ja lähtöpuolen tunnistuskelojen havaitsemat siniaallot eivät ole samassa vaiheessa ja tämä vaihe-ero on suoraan verrannollinen massavirtauksen määrään. (Virtaus – Delta-T n. d.)



KUVIO 41. Coriolis-mittarin putkisto

Turbiinianturi on yleinen joka kodin tilavuusvirran mittausanturi. Sitä käytetään laskutusmittauksissa. Anturin mittaussignaali saadaan roottorin pyörimisliikkeen muodostamista pulseista, jotka muutetaan signaaliksi. Turbiinianturin epätarkkuus on n. 0,3 ... 1% ja mittausalue hyvin laaja 25 ... 1000 mm putkille. (Aumala 1999, 96.)



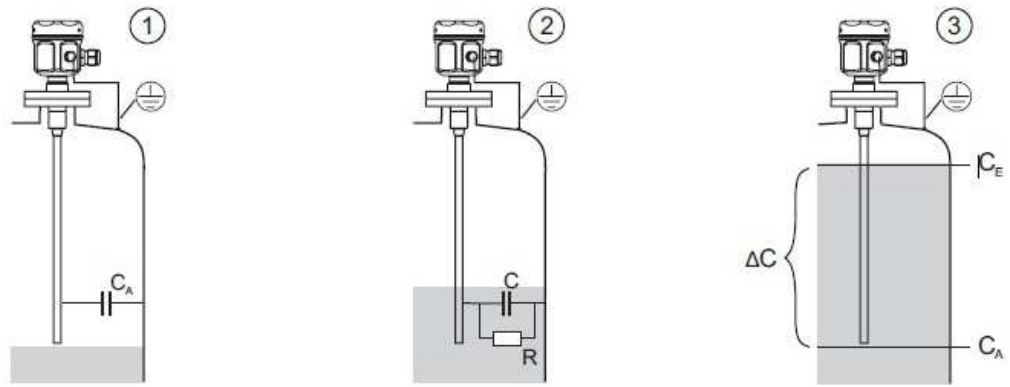
KUVIO 42. Turbiinianturi

3.4 Asema

Asemanmittaus on hieman erilainen konepajateollisuudessa kuin prosessiteollisuudessa. Konepajateollisuudessa automaation perustana on suurelta osin esineen paikan havaitseminen. Kun taas prosessiteollisuudessa asemanmittausta käytetään suurilta osin säiliöiden pinnankorkeuksien mittaamiseen. (Aumala 1999, 97.)

Säiliön pinnankorkeuden mittauksessa asemaa voidaan mitata epäsuorasti toisella mittaustavalla. Tällöin asemasignaali muunnetaan hydrostaattiseksi paineeksi, jota mitataan paineanturilla. Mittaus voidaan myös tehdä suorasti, jolloin käytetään tunnusolevia anturityyppejä. (Aumala 1999, 99.)

Kapasitiivinen anturi on pinnan korkeuden mittauksissa yleisimmin käytetty tunnusoleva anturityyppi. Siinä säiliö ja anturi muodostavat kondensaattorin kaksi elektrodia. Pinnankorkeuden muuttuessa se aiheuttaa kapasitanssin muutoksen, joka muutetaan elektroniikassa edelleen pinnankorkeustiedoksi. (Ks. kuvio 43.) (Kapasitiivinen pinnanmittaus 2005.)



KUVIO 43. Kapasitiivinen pinnankorkeuden mittaus

Ultraääni on toinen tapa mitata pinnankorkeutta tunnustelemalla. Ultraääni anturi lähettää ultraääni-impulsseja tietyllä taajuudella nesteen pintaan, josta aalto heijastuu takaisin anturille. Aallon kulkema matka mitataan, kun tiedetään sen nopeus (äänin nopeus) ja matka voidaan laskea säiliön pinnankorkeuden arvolla. (Ultraäänipin-
tamittaus 2005.)

4 KYLMÄ- JA LÄMPÖPUMPPULAITOS

Kaikki kylmälaitokset ovat lämpöpumppuja. Laitos on rakennettu ottamaan lämpöenergiaa matalilla lämpötiloilla, nostamaan sen korkeampaan lämpötilaan ja luovuttamaan sen. Käyttötarkoituksesta riippuu, käytetäänkö nimitystä kylmä- vai lämpöpumppulaitos. Kylmälaitoksesta puhutaan, kun laitoksen tehtävänä on laskea väliaineen lämpötilaa ja lämpöpumpusta silloin, kun laitos on rakennettu hyödyntämään lauhtumislämpöä. (Muuronen 1994, 187.)

4.1 Kylmän teon komponentit

Kompressori

Kylmäaineen höyrystymiseen tarvitaan lämpöenergiaa ja riittävän matala paine, jotta neste kiehuisi halutussa lämpötilassa. Höyrystymistä ei siis voida pitää käynnissä, ellei samanaikaisesti imetä höyrystynyttä kylmäainetta pois. Tähän tehtävään tarvitaan kompressori, joka puristaa höyrystimessä muodostuneen kylmäainehöyryn ja nostaa sen lämpötilan niin korkeaan kyllästymislämpötilaan, että se luovuttaa lämpöenergiaa ja lauhtuu. (Muuronen 1994, 150.)

Lämpötila ja näin myös paine, jota kompressorin on nostettava, on riippuvainen lauhtuttimen jäähdytysaineen lämpötilasta. Lauhtumislämpötilan täytyy olla niin korkea, että se voi luovuttaa lämpöä jäähdytysaineeseen, kuten ilmaan tai veteen. Puristuksen jälkeen kylmäaineen paine seuraa lauhtumislämpötilan muutoksia ja on näin ollen muuttuva suure. Lämpötilaero on siis lauhtumis- ja höyrystymislämpötilojen erotus. Puristussuhde on kompressorin jälkeisen ja tulevan kaasun osamäärä. (Muuronen 1994, 151.)

Kompressorit jaetaan kahteen ryhmään toimintansa mukaan. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat mäntä-, ruuvi-, ja lamellikompressorit. Näillä kompressoreilla puris-

tus tapahtuu mekaanisella kaasun puristuksella. Toisen ryhmän kompressorit ovat dynaamisia toiminnoiltaan kuten esimerkiksi turbokompressorit. Paineen nosto dynaamisilla kompressoreilla tapahtuu diffuusioreiden avulla. (Muuronen 1994, 151.)

Mäntäkompressori on yleisin kompressorityyppi kaiken kokoisissa kylmälaitossoveluksissa. Siinä kaasu imetään kampikammion kautta imuventtiileille ja edelleen sylinteriin. Kompressori voi olla tasavirtauskompressori, jossa kaasu virtaa läpi kompressorin suuntaa vaihtamatta tai vaihtovirtauskompressori, jossa kaasu virtaa sisään tai ulos männän päältä suuntaa vaihtaen. (Hakala & Kaappola 2005, 146-147.)

Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili on pieni, mutta tarpeellinen komponentti kylmälaitoksen toimivuuden kannalta. Paisuntaventtiilillä on kaksi tehtävää. Ensimmäiseksi sen täytyy säätää kylmäaineensyöttö höyrystimen kuormitusta vastaavaksi. Toinen paisuntaventtiilin tehtävä on paine-eron ylläpitäminen kylmälaitoksen matala - ja korkeapuolen välillä. Venttiili voi olla mekaaninen tai elektroninen toimivuudeltaan. Elektronista paisuntaventtiiliä käytetään ainoastaan silloin, kun mekaaninen paisuntaventtiili ei toimi tarvittavan tarkasti. (Muuronen 1994, 107,115.)

Höyrystin

Höyrystin on kylmälaitoksen osa, joka ottaa lämpöenergiaa vastaan. Kylmäaine ohittaa nesteen muodossa paisuntaventtiilin ja virtaa höyrystimeen. Paisuntaventtiilissä täytyy paineenpudotuksen olla sen verran suuri, että neste alkaa kiehua, sillä kylmäaineen täytyy höyrystyä matalammassa lämpötilassa kuin aine jota jäähdytetään. Tämä johtuu lämpöopin pääsäännöistä, jolloin lämpö siirtyy lämpimämmästä aineesta kylmempään aineeseen. (Muuronen 1994, 61.)

Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävänä on siirtää pois lämpöenergiaa, joka on siirtynyt kylmäaineeseen höyrystimessä. Lämpöenergia siirretään lauhduttimesta pääsääntöisesti ilmaan tai veteen kuvion 44 mukaisesti. (Muuronen 1994, 60.)

Lauhtumisteho kuvaa, kuinka suuri on lämpövirta, joka luovutetaan kylmäaineeseen, kun se on jäähdytetty kuumakaasun lämpötilasta ja nesteytynyt. Nesteytyminen on olomuodon muutos, joka tapahtuu vakio lämpötilassa ja -paineessa. Lauhdutin on mitoitettava sen mukaan, mikä on laitoksen teho jäähdytyksen aikana, lisättynä lämpöenergialla, joka tulee puristuksessa. Tavallisesti mitoitustapana on ottaa höyrystin-teho lisättynä puristustyöllä, jota vastaa kompressorimoottorin teho. (Hakala & Kaappola 2005, 67–68.)



KUVIO 44. Lauhdutin

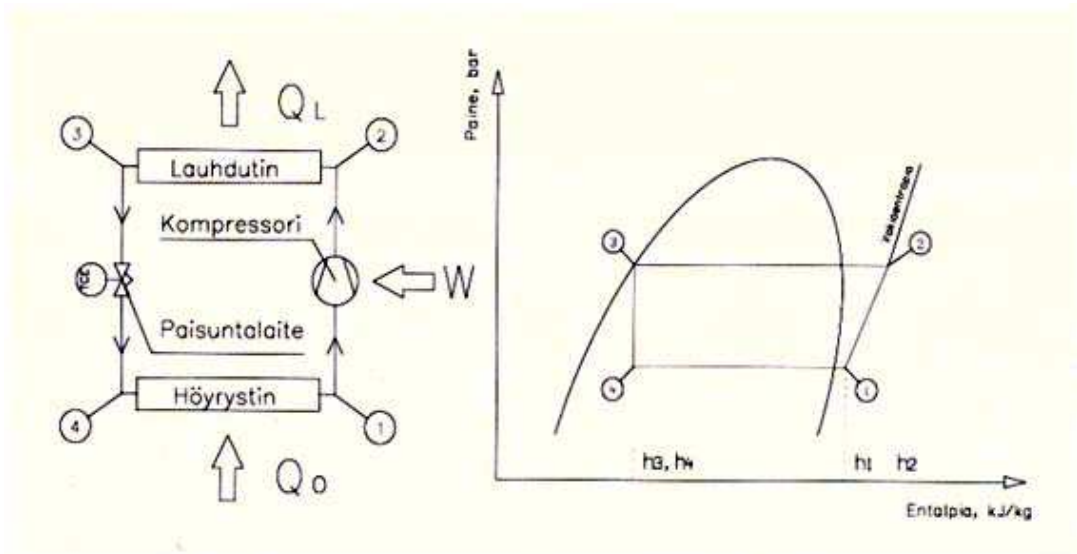
4.2 Kylmälaitoksen tilapiirros

Kylmäprosessi teoriassa on yksinkertaistettu log p,h - tilapiirroksen avulla. Kuvion 45 mukaisesti kylmäaine höyrystyy ja tulistuu höyrystimessä (4-1). Kompressorin imee

höyryn, joka on tulistunut ja puristaa höyryn korkeampaan paineeseen. Tällöin höyry tulistuu vielä hieman lisää (1-2). Oletetaan puristus häviöttömäksi, jolloin siinä ei tapahdu lämmönsiirtoa eli se on isentrooppinen ja kulkee vakioentropiakäyrää pitkin. (Hakala & Kaappola 2005, 12.)

Lauhduttimeen saavuttua kylmäaineesta poistuu ensimmäiseksi tulistus, höyry lauhduttuu ja lopulta se muuttuu nesteeksi, joka alijäähtyy vakio paineessa (2-3). Neste siirtyy lauhduttimesta paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen paine laskee ja neste muuttuu neste - höyryseokseksi (3-4). Tällöin myös neste-höyryseoksen lämpötila laskee. (Hakala & Kaappola 2005, 13.)

Höyryttimeen sitoma lämpö Q_0 pystytään näkemään entalpia-asteikolta, joka on suuruudeltaan tilan 4 -1 erotus. Kompressorin tekemä työ (W) on (1-2) ja osuus (2-3) on lauhduttimen luovuttama lämpö. (Hakala & Kaappola 2005, 13.)



KUVIO 45. Kylmän teon teoreettinen toimintaperiaate

4.3 Välillinen jäähdytys

Vedenjäähdytin

Nykypäivänä on integroituja yksikköjä, joissa kompressori(t), lauhdutin ja nesteenjäähdytin (höyrystin) on rakennettu samaan koneistoon. Nestejäähdyttimessä jäähdytys tapahtuu suljetussa kiertopiirissä. Nykyaikaisten vedenjäähdyttimien yhteyteen on rakennettu valmiiksi johdotettuina kompressorien käynnistimet sulakkeineen, ohjauskytkimet, aikareleet, varolaitteet ja tehonsäädön automatiikka yms. (Perunka 2005, 16.)

Vedenjäähdyttimessä kylmäliuos, yleensä glykoli-vesiseos, jolla on matala jäätymispiste, jäähdytetään ja pumpataan suljettuun putkijärjestelmään. Glykoli - vesiseos virtaa jäähdyttimen läpi ja ottaa lämpöenergiaa, joka siirretään nestejäähdyttimen höyrystinosan kautta kylmäaineeseen ja sieltä lauhduttimen kautta pois järjestelmästä. (Perunka 2005, 17.)

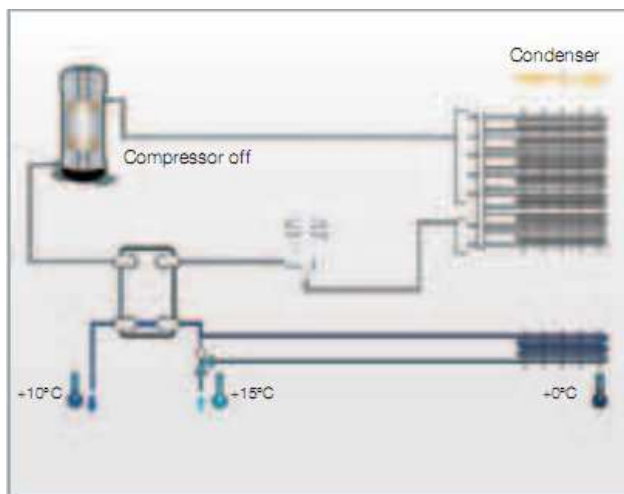
Vedenjäähdytinkoneistojen kompressoreina on käytetty mäntä- ja turbokompressoreita sekä scroll- ja ruuvikompressoreita, jotka ovat jo käytännössä syrjäyttäneet mäntä- ja turbokompressorit. Scroll - kompressorit ovat syrjäyttäneet hermeettiset ja puolihhermeettiset kompressorit tehoalueella alle 300kW. Scroll-kompressorin etuina voidaan pitää yksinkertaisempaa rakennetta. Ruuvikompressorit ovat syrjäyttäneet mäntäkompressorit tehoalueella 250kW ... 1200kW. (Perunka 2005, 20–21.)

Vedenjäähdyttimien erilaiset lauhdutustavat

Raakavedelle lauhduttamista käytetään yleisesti, kun kyseessä on suuret jäähdytystehot. Tapa on yleinen teollisuudessa, jossa raakavettä on rajattomasti saatavilla, esimerkiksi läheisestä joesta tai järvestä. Tämän kaltaisen jäähdyttämistavan ongelmana voidaan pitää lauhduttimessa syntyvää korroosiota. (Kianta 2005, 28.)

Toinen tapa lauhduttaa vedenjäähdytintä voidaan toteuttaa liuoksen avulla. Siinä jäähdyttimen tehoa säädetään ohjaamalla liuosjäähdyttimen puhaltimien toimintaa lähtevän liuoksen lämpötilan mukaan. Jos koneisto on käytössä myös talvella, tulee paluulinjaan asentaa 3-tie moottoriventtiili, jolla estetään koneistolle palaavan liuoksen liian alhainen lämpötila. (Perunka 2005, 28.)

Kolmas tapa on hyödyntää ilmastovyöhykettämme, jolloin käytetään hyväksi ulkoilman matalaa lämpötilaa. Suurimmat vapaajäähdytyksen edut löytyvät järjestelmistä, jossa on suuret ympärivuotiset jäähdytyskuormat kuten esimerkiksi ATK - salit, laboratoriot ja teollisuusprosessit. (Ks. kuvio 46.) (Perunka 2005, 28.)



KUVIO 46. Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksen tavoitteena on käyttää ulkoilman kylmyyttä, jotta:

- Säästetään kompressorien sähkönkulutusta.
- Säästetään kompressorien käyttötunteja eli pidennetään vuosissa laskettavaa käyttöikä.
- Helpotetaan kompressorihuollon ajoittamista (koko talvikausi on käytettävissä).
- Kylmänä kautena on kaksi jäähdytystapaa, mikä lisää käyttövarmuutta. (Perunka 2005, 32.)

5 PROSESSILABORATORION MAHDOLLISUUDET

Prosessilaboratorion esisuunnitteluvaiheessa pyrimme löytämään mahdollisimman kompaktin ratkaisun, joka palvelee Jyväskylän ammattikorkeakoulun erilaisia koulutusohjelmia mahdollisimman tarpeenmukaisesti. Prosessilaboratorio suunniteltiin pääosin energiatekniikan koulutusohjelman tarpeisiin, mutta se tehtiin ottaen huomioon automaatio- ja sähkötekniikkakoulutusohjelmat sekä kunnossapidon opiskelijat.

Prosessilaboratoriossa työskentelyn aloittaminen mahdollistettiin jo ensimmäisenä opiskeluvuotena. Opintojen edetessä teoreettinen tieto laajenee ja siirtyminen haastavampien fysikaalisten ilmiöiden pariin on helpompaa ja näin koko prosessin hallitseminen on neljäntenä opiskeluvuotena mahdollista. Prosessin mahdollisuuksista kertoessa käytämme samoja lyhenteitä kuin PI-kaavioissa. Laboratorion mahdollisuuksia lukies- sa kannattaa perehtyä myös prosessi- ja automaatiokuvaukseen sekä eri kiertojen vuokaavioihin. (Ks. liitteet 3-4, 13-17.)

Pumppaus

Yhdeksi osaprosessiksi suunnittelimme pumppausjärjestelmäharjoituksen. Sen tarkoituksena on luoda hyvä pohja tulevaisuuden työtilanteisiin pumppujen parissa. Pyrimme tuomaan erilaisten pumppujen toimintaperiaatteet (keskipako- ja alipainepumppu), mitoitus ja tuotannon säätömahdollisuudet esille.

Pumpun erilaisia säätömahdollisuuksia pystyimme toteuttamaan monipuolisesti. Kuristusmenetelmää voidaan havainnollistaa jokaisen keskipakopumpun virtauksen säädössä ja alipainepumpun alipainetason säädössä. Pumppujen kierroslukusäätö suoritetaan taajuusmuuttajalla ja sen yhteydessä Affiniteetilakien todistaminen on mahdollista. Pumput (P-1 ja P-2) suunniteltiin ajettavaksi rinnan- tai sarjaan kytkettyinä, millä annamme idean pumpun tilavuusvirran ja nostokorkeuden muutoksista.

Pumppauksen yhteydessä kavitaatioilmiö aikaan saadaan kuristamalla pumpun P-1 tai P-2 imupuolen sulkuventtiiliä (HV-01). Kavitaatio mahdollistettiin myös pumpun P-3 yhteydessä, kun pumpataan kuumaa vettä pienellä virtauksella.

Häviöt

Erilaiset häviöt ovat epäsuotuisia prosessille ja sen energian kulutukselle. Häviöihin kuluva energia muuttuu lämmöksi ja voi aiheuttaa uusia ongelmia. Häviöiden suuruus on suhteessa prosessin kokoon, mitä suurempi prosessi sitä suuremmat häviöt. Häviöihin pystytään vaikuttamaan suunnitteluvaiheessa valittaessa ja mitoittaessa laitteita ja putkistoa. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää, että häviöihin liittyviä ilmiöitä pystyttiin havainnollistamaan, etenkin suunnitteluun suuntautuville opiskelijoille.

Yhtenä suurena häviönä pidetään kitka- ja kertahäviöistä muodostuvaa häviötä. Häviöitä pystytään prosessissa laskemaan virtaus- ja painemittauspisteiden avulla. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää sulkuventtiilin (HV-01) jälkeisen painemittauksen ja ennen syöttövesisäiliötä (S-2) oleva painemittauksen muutosta, kun virtausnopeutta vähennetään tai nostetaan pumpun (P-1 tai P-2) avulla. Näin pystyimme havainnollistamaan painehäviöiden kasvun virtausnopeuden noston vaikutuksesta. Putkessa syntyvät kitkahäviöt olisi ollut tärkeää demonstroida, mutta se ei ollut mahdollista liian lyhyiden putkimatkojen ja putkipintojen likaantumisen vuoksi. Pieniä höyryvuotoja suunniteltiin demonstroitavan prosessissa. Niiden tarkoituksena on antaa käsitys, kuinka pienikin höyryvuoto voi olla tehtaille kallista.

Lämmitys-höyrytyssäiliön (S-3) ja höyrytukin eristyksellä voidaan opettaa lämmön erilaisia siirtymistapoja sekä todeta niiden laskentakaavojen perusteella lämpöenergian ei-toivotun siirtymisen kalleus. Toinen tärkeä huomio eristeen käytössä on vedenjäähdyttimen kompressorin energiakulutuksen nousu. Ilmiötä ei ollut järkevää demonstroida, koska imuputkeen kondensoituisi vettä ja se ei ole hyväksi kylmänteolle.

Alipainepumpun toimintaa ja alipaineen vaikutusta demonstroimme kiehumispisteen muutoksella. Veden kiehuttamista alipaineessa käytetään hyväksi esimerkiksi paperikoneen ilmanpoistosäiliössä. Alemmassa lämpötilassa kiehuva vesi säästää energiaa, mutta toisaalta alipaineen kehittäminen vie energiaa. Tämän ilmiön mahdollistimme laboratoriota suunnitellessa. Ilmiön opetuksen yhteydessä on mahdollista hakea optimilämpötilaa/alipainetta kyseiselle tapahtumalle.

Lämmönsiirtomenetelmät

Lämpömäärän siirron prosessista ulos toteutimme lämmönvaihtimien ja veden jäähdytin-nestelauhdutinyksikön avulla. Suunnittelimme lämpömäärän siirtoa erilaisilla lämmönvaihtimilla, mutta emme valinneet putkilämmönvaihdinta prosessiimme. Ainoana havaintona olisi toiminut silmämääräinen todistus putki- ja levylämmönvaihtimen kokoerosta. Lämmönsiirtotavoista demonstroimme kaikkia kolmea menetelmää konventiota, johtumista sekä säteilyä. Lämmönsiirtimien yhteydessä oppilaille voi havainnollistaa veden ja höyryn erilaiset lämmönsiirtokyvyt.

Nykypäivänä kylmälaitoksen toiminta on näkyvillä niin kotitalouksissa kuin teollisuudessaakin erilaisissa mittakaavoissa. Näin jokaisen insinöörin on tärkeää tietää kylmänänteon periaate ja sen sovellutuksia. Valitsimme laboratorioon vedenjäähdytin-nestelauhdutinyksikön, jota voidaan käyttää vertailukohteena raakavesilevylämmönvaihtimeen. Käytännössä voidaan verrata raakavedelle toteutetun jäähdytyksen kustannuksia vedenjäähdyttimellä toteutettuun. Talvisin on hyvä muistaa, että vedenjäähdyttimellä jäähdytys voidaan toteuttaa ilman kompressoreiden käyntiä.

Laitteiston vertailua

Insinöörin on tärkeää tietää erilaisten mittausmenetelmien käyttömahdollisuudet sekä syyt niiden käytölle tai käyttämättömyydelle. Prosessilaboratoriossa pyrimme tuomaan esiin erilaisia paineen-, lämpötilan-, virtauksen- ja pinnankorkeuden mittausperiaatteita. Mittausten yhteydessä on hyvä pohtia niiden hyviä ja huonoja puolia,

kuten verrata ultraäänimittauksen tarkkuutta muihin virtausmittausmenetelmiin ja syytä siihen.

Virtausmittauksiin valitsimme eniten eri mittausmenetelmiä kuristusmenetelmästä Corilis-voimamenetelmään. Tämän seurauksena painehäviöt eri mittausmenetelmissä ovat erilaisia. Varsinkin säätöventtiileiden yhteydessä esiintyy painehäviöitä. Halusimme tuoda opiskelijoiden tietouteen painehäviöiden tärkeyden erilaisissa mittaus- ja säätömenetelmissä. Erilaisten venttiilien ja mittausmenetelmien valinta totuttaa opiskelijat ymmärtämään erilaisia toteutustapoja, niiden etuja sekä haittoja prosesseissa.

Edellä mainitut seikat ovat mielestämme tärkeimpiä asioita, joita kannattaa energiatekniikan koulutusohjelman opiskelijoille opettaa prosessimme avulla. Toivomme heille muotoutuvan käsitys siitä, minne kaikkialle energiaa voi hävitä.

Automaatio

Automaatiotekniikan opiskelijoille suosittelemme samojen tietojen opettamista kuin energiatekniikan opiskelijoille. Automaatiota opiskeleville oppilaille haluamme antaa mahdollisuuden Metso DNA - järjestelmän laajaan hyödyntämiseen prosessissa. He voivat laatia ohjelman Fb-Cadia käyttäen, tutustua datan keruuseen, trendien näyttöön ja diagnostiikkaan.

Prosessista on mahdollista tehdä lämpötilan suhdesäätöjä, kuten esimerkiksi ajaa kiertovesisäiliön (S-1) ja syöttövesisäiliön (S-2) lämpötilojen suhteella haluttu lämpötila lämmityssäiliöön (S-3).

Säätöpiirien tekoa voidaan suorittaa mallintamalla yksittäisiä osaprosessin laitteita, osaprosessia itseään tai mahdollisesti jopa koko prosessia. Kenttäväylän analysointia pystytään tekemään Profitrace 2 ohjelman avulla. Näin huomataan kenttäväylän signaalien erot sen ollessa ohje-etäisyyden päässä pääsähkökaapelista tai kaapelin vie-

ressä. Päätevastuksien oikeaoppinen asennus ja toteaminen onnistuvat Profitrace 2 ohjelmalla.

Sähkötekniikan koulutusohjelman opiskelijoille on tulossa oma laboratorio. Suurempia sähkövirtoja ja taajuusmuuttaja- sekä sähkömoottorikäyttöjä on mahdollista tarkastella prosessi laboratoriossa. Prosessi laboratoriossa tarvittavien sähkökaappien avulla opiskelijat voivat tutustua sähkövirtojen ohjaukseen ja toteutukseen.

Kunnossapito

Kunnossapito-opiskelijat koostuvat paperikoneteknologian sekä kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoista. Heille suosittelemme samojen asioiden huomioimista energiatekniikan puolelta kuin automaatiota opiskelevillekin.

Ennakoivaa kunnossapitoa silmällä pitäen suunnittelimme lämpökameran käyttöä. Kameralla voi tutkia venttiileiden, pumppujen ja sähkökomponenttien kuntoa. Kunnan insinöörimäistä työskentelyä voi kokeilla sekoittamalla automaatio- ja kunnossapito-opiskelijat yhteisiin ryhmiin. Automaatiota opiskelevat voivat kertoa DNA-järjestelmän tiedon keruusta ja sen diagnostiikkapalveluista. Kunnossapitoa opiskelevat voivat selventää automaation opiskelijoille trendikäyrien merkitystä kunnossapidon näkökulmasta. Mahdollinen kriittisyysanalyysin teko harjoitustyönä kunnossapidon opiskelijoille kokemuksen ja datahistorian avulla on todella hyvää harjoitusta.

Prosessilaboratorion laitteiden kunnossapidosta voi huolehtia SAP-tietojärjestelmän avulla, komponenttien huollot sekä rikkoutumiset hoidetaan kunnossapito opiskelijoiden ja lehtoreiden kesken. He tekevät työtilaukset ja vikaselvitykset aivan kuten työelämässäkin tehdään. Kriittisyysanalyysiharjoituksen perusteella opiskelijat voivat tehdä prosessin komponenteille huolto- ja korjaussuunnitelman.

Kenttäväylän analysointia on hyvä käydä läpi myös kunnossapito-opiskelijoiden kanssa, keskittymällä häiriön aiheuttajiin ja niiden ennaltaehkäisemiseen. Kiihtyvyyssantu-

rit valitsimme pumppujen laakereiden kunnonvalvontaan, mikä mahdollistaa Sencodex 6-ohjelman opetuksen prosessilaboratoriossa.

Kunnossapidon opiskelijat voivat huolehtia mahdollisista prosessin täytöistä ja tyhjennyksistä sekä putkiston puhtaanapidosta. Näin he saavat käsityksen prosessin siisteyden tärkeydestä sen toimivuuden kannalta ja mahdollisesti osaavat soveltaa tietoa työelämässään.

6 TYÖN TOTEUTUS

6.1 Lähtökohdat projektille

Opinnäytetyön aloituspalaveri pidettiin 19.1.2010, missä olivat mukana opinnäytetyöntekijät: Mikko Lesonen ja Juho Vuohelainen sekä opinnäytetyönohjaajat Juha Isometsä ja Jaakko Fonselius. Palaverissa Juha Isometsä kertoi oman näkemyksensä siitä, mitä energiatehokkuuteen liittyviä ilmiöitä laboratoriossa pitää pystyä demonstroimaan. Näitä asioita oli mm. pumppaus, virtauksen säätö, lämmönsiirto, lämmön talteenotto ja lämpöpumppu.

Palaverissa sovimme, että tulevat laitteet ovat kenttäväyläliitännäisiä ja kenttäväylänä prosessissa toimii profibus-kenttäväylä. Budjetille annettiin alustava arvio, jonka suuruus saa olla noin 250 000€ ja prosessilaboratorion tulee mahtua 100m² tilaan. Opinnäytetyönohjaaja Jaakko Fonselius listasi dokumentteja, joita hän katsoi kuuluvan esisuunnitelman tekemiseen. Näitä olivat mm: PI-kaavio, anturivalinnat, laitevalinnat, automaation toimintakuvaukset, ohjausjärjestelmän toteutus ja järjestelmäkaavio.

Työn ideointi ja laboratorion esisuunnitelman teko tuli olemaan meidän työmme. Ideointia harrastimme vierailujen kautta käymällä Spirax Sarconin höyrylaboratoriossa ja Tampereen teknillisessä yliopistossa. Höyrylaboratoriosta saimme hyviä vinkkejä ja ajatuksia laboratorion esisuunnitelman tekoa varten. Työn sovimme olevan valmis toukokuuhun mennessä.

6.2 Ideointi ja PI-kaavion suunnittelu

Laboratorion suunnittelun aloitimme lyijykynän ja paperin avulla. Piirsimme paperille erilaisia ratkaisuja, joihin haimme mahdollisimman monia eri prosesseja. Saimme

tarvittavan määrän osaprosesseja valmiiksi ja jatkoimme niiden piirtämistä yhtenäiseksi prosessiksi PI-kaavio muotoon. Tavoitteena oli tehdä seuraavaan palaveriin mennessä muutama erilainen PI-kaavio, joita pystyimme esitellä opinnäytetyönohjaajille. Päädyimme lopulta yhteen PI-kaavioon, johon sijoittelimme kaikki osaprosessit yhdeksi kokonaisuudeksi. PI-kaavion tekoon käytimme Autodesk'in Autocad-ohjelmaa. PI-kaaviota piirtäessä käytimme PSK-standardia, josta saimme standardi piirrosmerkit, värit, merkitsemistavat ja paljon yleistietoa PI-kaavioon suunnitteluun liittyvistä asioista.

Ennen seuraavaa palaveria vierailimme Spirax Sarconin höyrylaboratoriossa, joka sijaitsee Metropolian AMK:ssa. Höyrylaboratorio on sekä Spirax Sarconin että ammattikorkeakoulun käytössä. Vierailusta saimme tuntuman laboratorion kokoluokasta ja sen toteutuksesta. Tampereen vierailusta ei ollut niin paljoa hyötyä kuin leppävaaran reissusta, koska siellä ei ollut opetuskäytössä olevia laboratorioita tai laitteita. Kaikki laitteet oli tutkimustyötä varten suunniteltuja ja toteutettuja.

Vierailujen jälkeen kutsuimme Metso Paper Oy:ltä Teemu Turusen ja Elomatic Oy:ltä Mika Nummilan palaveriin, jossa esittelimme heille prosessilaboratorion esisuunnitelman aikaansaannoksia. Kerroimme vieraille opinnäytetyön tavoitteista, jonka jälkeen kävimme läpi PI-kaaviota ja esittelimme minkälaisia asioita otimme huomioon ideoinnissa. Molemmat vieraat kertoivat käytännönkokemuksistaan, joilla antoivat uusia tärkeitä ideoita laboratorion ratkaisuun. Palaverin jälkeen teimme lisäyksiä PI-kaavioon.

Alkuperäinen suunnitelma muuttui lämpöpumpun osalta. Alun perin jäähdytysvesisäiliön jäähdytys suunniteltiin toteutettavaksi pääosin raakavesijäähdytyksellä lämpöpumppu ollessa varalla. Muutimme jäähdytysjärjestelmän käyttämään pelkääntään vedenjäähdytintä, joka käsittää kompressorin, lauhduttimen ja nestejäähdyttimen sekä tämän rinnalle raakavesilämmönvaihtimen vertailukäyttöä varten. Tämän muutoksen teimme myös PI-kaavioon.

Automaatiokuvauksien teon yhteydessä huomasimme PI-kaavion olevan niin täyteen ahdettu, ettei siitä saanut enää selvää. Selventääksemme PI-kaaviota jaoimme sen kahdelle sivulle. Automaatiokuvaksen säätöpiirien lisäämisen jälkeen PI-kaaviot oli lopullisessa muodossaan liitteiden 3-4 mukaisesti.

6.3 Layout suunnittelu

Layout suunnitelmaa varten saimme koulun pohjapiirroksen, josta selviää laboratoriolle varattu tila ja sen suuruus. Aloitimme työn sijoittamalla säiliöt pohjapiirrokseen. Säiliöiden sijoittamisen jälkeen mietimme paikat lämmönvaihtimille ja pumpuille. Tämän jälkeen kykenimme suunnittelemaan putkireittejä säiliöstä toiseen. Laboratoriolle varattuun tilaan kuuluu pieni ovella erotettu huone, joka rajautuu ulkoseinään. Sijoitimme huoneeseen alipainepumpun ja vedenjäähdytinsikön, jotka pitävät käynnin aikana kovaa ääntä.

Seuraava haastava ja aikaa vievä tehtävä oli suunnitella tilasta ja laitteistosta 3D malli. Suunnittelussa käytimme Catia ohjelmaa. Ensimmäiseksi mallinsimme laboratoriolle varatun tilan. Tilaan sijoitimme säiliöt, lämmönvaihtimet ja pumppujen pedit. Tämän jälkeen suunnittelimme putkien vedot. Venttiileitä, pumppuja eikä muitakaan kenttälaitteita sijoitettu kuvaan. Samoin putkien ja säiliöiden kannatukset jätimme tekemättä.

Seuraavassa palaverissa kävimme läpi layout kuvaa ja laitteiden sijoittelua. Lyhyen keskustelun jälkeen päätimme siirtää pieneen huoneeseen suunnittelemamme laitteet muiden laitteiden sekaan ja jätimme huoneen valvomo- ja opetustila käyttöön. Lisäksi siirsimme vedenjäähdyttimen omaan erilliseen katokseen pihalle.

Raakavesilämmönvaihtimelle tarvittava vesi otettiin olemassa olevasta vesipisteestä, jossa on tuleva raakavesi ja viemäröinti. Alipainepumppu tarvitsee tiivistevettä, vedenerotussäiliö sekä lauhteenerottimet viemäröinnin, joten hyödynsimme olemassa

olevaa vesipistettä myös näiden käyttöön. Putkitimme tulevat ja lähtevät putket edellä mainituilta laitteilta laboratorioissa olevaan vesipisteeseen. Muutostyö layout-kuvaan vaati aikaa ja vaivaa. (Ks. liitteet 5-7.)

6.4 Päälaitteiden mitoitus ja valinta

Lämmönsiirto komponentit

Sähkövastuksen tehon määrittäminen aloitti koko mitoitusprosessin. Tämän avulla pystyimme laskemaan lämmitysvesisäiliössä (S-3) tuotettavan höyryn määrän (liite 9.) siirtyvän lämpöenergian kaavan $\Phi = F_m \times c \times \Delta T$ avulla, jolloin kaava saa muodon

$$F_m = \frac{\Phi}{c \times \Delta T + r}$$

Siirryimme höyryn massavirtausarvon perusteella levylämmönsiirtimen (LS-1) tehon laskentaan, jonka tarvitsimme levylämmönvaihtimen mitoitusta ja valintaa varten. Lämmönsiirtimen tehon avulla (Ks. s.36) laskimme ensimmäiselle levylämmönvaihtimelle tehoksi liitteen 9 mukaisen tuloksen.

Toisen levylämmönvaihtimen (LS-2) jälkeen halusimme saada veden lämpötilan alhaiseksi, noin 10 °C. Vaihdinta mitoittaessa mietimme lauhdesäiliöstä (S-4) kierto-vesisäiliöön (S-1) menevän veden tilavuusvirran arvon prosessin kannalta järkeväksi. Tilavuusvirta jäi hyvin pieneksi ($0,1 \frac{l}{s}$), koska tilavuusvirran kasvaessa lämmönsiirtimen (LS-2) teho olisi kasvanut. Tämä tarkoittaa myös muiden lämmönsiirtolaitteiden tehojen kasvua, minkä seurauksena vedenjäähdytin-nestelauhduttimen hinta kaksinkertaistuu.

Sovelsimme lämmönsiirtimen tehon kaavaa ja laskimme levylämmönvaihtimen tehon arvon liitteen 9 mukaan. Kahden ensimmäisen levylämmönvaihtimen lämpömäärä

johdetaan jäähdytysvesisäiliöön (S-3). Sieltä lämpömäärä johtuu prosessin seuraavalla levylämmönvaihtimelle (LS-3), jonka toisen puolen piirinä on vesi ja toisella puolella vesi-glykoliseos (40 %). Vaihdin siirtää sähkövastuksen luovuttaman lämpömäärän eli LS-1 ja LS-2 lämpömäärät vedenjäähdyttimelle. LS-3 tehon arvo muodostui yhteenlaskun turvin liitteen 9 mukaiseksi.

Vedenjäähdyttimen täytyy olla levylämmönvaihtimen (LS-3) kanssa samassa teholuokassa. Nestelauhduttimen tehon laskemisessa otettiin huomioon kompressorin tuottama lämpöenergia, joka hoidettiin kertoimen avulla (1,37)(Ks. s. 57.). Liitteestä 9 selviää vedenjäähdyttimen ja nestelauhduttimen teholuokat. Raakavesilämmönvaihdin (LS-4) on varmennus vedenjäähdyttimelle, joten vaihdin (LS-4) kykenee siirtämään prosessin tuottaman lämpömäärän ulos prosessista.

Tehojen laskennan jälkeen otimme yhteyttä Alfa Lavaan ja toimitimme heille lämmönsiirtimien tehon arvot, lämpötilaluokat ennen ja jälkeen lämmönsiirtimien sekä suljetun vesi-glykoliseoksen massaprosenttiarvon. He selvittivät valintaohjelmallaan prosessiin sopivat vaihtimet. Liitteen 20 esimerkkinä LS-3 valintakriteerit.

Pumput

Pumppujen kokoluokkia suunnittelimme lämmönvaihtimissa tarvittavien virtaamien, säiliöiden ja nostokorkeuksien perusteella. Pumppujen (P-1 ja P-2) tilavuusvirta ei voi nousta kovin korkeaksi, koska säiliön (S-1) tilavuus on $0,15m^3$, kun pumppuja voidaan ajaa rinnan- tai sarjaan kytkettyinä niiden tilavuusvirta ja nostokorkeus tulevat saavutetuksi pienemmälläkin pumpulla. Liitteistä 11,21 voi tarkastella pumpun nostokorkeuden- ja tilavuusvirran arvoja.

Ensimmäisen kahden Kolmeks pumpun jälkeen vaihdoimme pumppumerkin Sulzeriin. Pumpun (P-3) täytyy omata suurin nostokorkeus, joten päädyimme järeämpään pumppuun. Liitteestä 24 näkyy pumpun nostokorkeus ja tilavuusvirta.

Lämmitysvesisäiliöstä (S-3) veden takaisinkierätykseen säiliöön (S-1) suunnittelimme pumpun (P-4), joka on kykenevä pieneen nostokorkeuteen ja tilavuusvirtaan. Liitteestä 21 on pumpun tyyppi, josta teknilliset arvot on nähtävissä.

Pumppua (P-5) valitessa mietimme lauhdevesisäiliön (S-4) pientä tilavuutta ja edellä mainittuja syitä hinnan nousuun. Pohdintojen tuloksena valitsimme pumpun pienellä tilavuusvirralla ja nostokorkeudella.

Pumput (P-6 ja P-8) mitoitettiin niiden piirien levylämmönvaihtimien tilavuusvirtojen mukaan, ottaen huomioon myös mahdollisesti tarvittavan nostokorkeuden jäähdytysvesisäiliöön (S-3).

Viimeiseksi keskipakopumpuksi (P-9) vesi-glykoliseokselle löysimme sopivan pumpun Kolmeksien tarjonnasta. Tämänkin pumpun mitoituksen kriteerinä oli levylämmönvaihtimen (LS-3) tilavuusvirran arvo. Tarvittavat tiedot pumpusta löytyvät liitteestä 22.

Alipainepumppu (P-10) mitoitettiin pumpun toimittajan avustuksella. Kerroimme heille vaatimuksemme pumpulta ja lyhyen keskustelun sekä muutaman selventävän kommentin jälkeen pumpun toimittaja tarjosi pumppua, joka täytti vaatimuksemme. Pumppu oli Dolphin LC 0220 A, jonka tuotto on $220 \frac{m^3}{h}$ ja maksimialipaine 33mbar.

Säiliöt

Säiliöiden tilavuuksien kokoluokkia suunnitellessa käytimme hyväksi Jyväskylän ammattikorkeakoulun omistamaa vesilaboratoriota. Laboratoriosta saimme ensikäsityksen säiliöiden mahdollisista kokoluokista. Ainoina vaatimuksina oli vedenjäähdyttimen tuoma jäähdytysvesisäiliön (S-4) tilavuus sekä sähkövastussauvojen koon mukaan määräytyvä lämmitysvesisäiliö (S-3). Säiliöiden tilavuudet näkyvät liitteessä 9.

Venttiilit

Sulkuventtiilien valitsimme Nelesin valikoiman mukaan. Putkikoko toi omat tarkkaavaisuushaasteet mukanaan, minkä seurauksena läppäventtiileiden käyttö ei ollut mahdollista. Käytännössä venttiilit valittiin suoraan putkikoon perusteella, ottaen huomioon erilaiset menetelmät. Säästöventtiileiden k_v -arvot jätimme laskematta - ainoastaan valitsimme prosessiin sopivia säästöventtiilityyppejä. (Ks. liitteet 11-12.)

Lauhteenerottimet ja instrumenttivalinnat

Lauhteenerottimien valinta hoidettiin puhelimitse. Soitimme Konwell:lle ja kyselimme prosessiin sopivia lauhteenerottimia. He suosittelivat ottamaan kolme erilaista erotinta. Liitteestä 11 näkyvät vaihtoehtojen tyypit.

Mittausmenetelmiä valitessa päädyimme EndressHauser:in tuotteisiin. Heidän kattavan Internet-sivuston tutkimisen jälkeen valitsimme mahdollisimman monia saman fysikaalisen suureen mittaavia mittausmenetelmiä prosessin eri paikkoihin. Valinnat tehtiin tavoitteiden ja kirjallisuudesta saamiemme tietojen perusteella. Mittausmenetelmien valinnat löytyvät liitteestä 12.

6.5 Budjettiarvio

Karkean budjettiarvion tekoon ryhdyimme heti komponenttivalintojen jälkeen. Tutkimme pumppuvalmistajien Internet sivustoja ja päädyimme ottamaan Kolmeksilta kahdeksan keskipakopumppua, joihin on integroitu oikosulkumoottorit. Valintaan vaikutti heidän hintataso sekä hyvin saatavilla olleet teknilliset tiedot. Yhden pumpun valitsimme Sulzerilta, koska heiltä löytyi juuri oikeanlainen pumppu tarpeisiimme. Pumppujen budjettiarvion saimme valmiiksi alipainepumpun valinnan jälkeen.

Lämmönsiirtimien tyyppejä ja niiden hintoja tiedustelimme Alfa Laval:lta. Sieltä saimme lämmönvaihtimille tarjouksen, jossa vaihtimet olivat tyyppitetty sekä hinnat annettu. Koko prosessin jäähdytyksestä vastaava veden jäähdytinsikkö löytyi Recair Oy:ltä, jolta saimme tarjouspyynnön kyseisestä laitteesta.

Venttiileiden hintoja ei ollut saatavilla Internetin maailmasta. Otimme yhteyttä Nelesin jälleen myyjään eli Metsoon. Soitimme Helsingin toimipisteeseen, josta tiedustelimme valitsemiamme venttiilityyppejä. Hintaerot olivat suuret eri venttiilityyppien välillä, mutta emme antaneet sen vaikuttaa valintoihimme. Sillä monipuolisuus oli tärkeimpiä valintakriteereitämme venttiileitä valittaessa.

Erilaisten mittauskomponenttien hintoja tiedustelimme Endress+Hauserilta. Hintojen saanti osoittautui hieman vaikeammaksi kuin edellisten komponenttien kanssa. Monien sähköpostiviestien ja puhelinsoittojen tuloksena oli hinnasto, josta pystyimme muodostamaan mittausmenetelmille karkean hinta-arvion.

Samalla kaavalla jatkoimme muidenkin komponenttien hintojen metsästystä ja pääsimme miettimään koko prosessin karkeaa budjettiarviota, joka löytyy liitteestä 8 ja hieman tarkemmin listattuna liitteestä 10. Asennuskulut mietittiin todella karkeasti, mutta uskomme liitteen 8 mukaisen hinnan riittävän kattamaan asennuksista koituvat kulut.

6.6 Prosessikuvaus

PI-kaavion valmistuttua teimme prosessikuvauksen. Prosessikuvauksessa kerroimme mahdolliset pumppaukset säiliöiden välillä käyttäen samoja venttiilien, pumppujen, lämmönvaihtimien ja säiliöiden positioita, joita käytimme PI-kaaviossa. Prosessikuvauksen tarkoitus on selventää automaatiokuvauksen tekemistä ja siihen liittyvien lukitusten tekemistä. Teimme lisäksi vuokaavion, joka selventää ajatusta prosessilaboratorion toiminnasta ja sen mahdollisuuksista. (Ks. liitteet 13, 15-17)

6.7 Automaatiokuvaukset

Automaatiokuvauksista käy ilmi laboratoriosuunnitelman eri perussäätöpiirit: virtaussäädöt, pinnankorkeuden säätö, paineensäädöt ja lämpötilansäädöt. Teimme säädöille lukitukset, hälytykset ja osalle ohjaukset. Lisäsimme automaatiokuvauksissa esitetyt säätöpiirit PI-kaavioon. Erilaisia valmiita ajomalleja mietimme periaate tasolla. (Ks. liite 14.)

7 TYÖN TULOKSET

Tammikuun puolivälissä pidetyn aloituspalaverin tiimoilta teimme Jyväskylän ammatikorkeakoulu-uran viimeisen tehtävän. Opinnäytetyömme ohjaajilla oli tietty käsitys minkälaisia dokumentteja meidän pitäisi prosessilaboratorion esisuunnitelmaan laatia. He halusivat, että laboratoriossa on erilaisia pumppaussovelluksia, virtauksen säätöä ja mahdollisesti muita prosessiteollisuuden perusmenetelmiä. Ohjaajat odottivat suurta idearyöppyä prosessin teknillisiin ratkaisuihin meiltä opinnäytetyön tekijöiltä.

Prosessilaboratorion esisuunnitelman edetessä syntyi idea. Tämän seurauksena opiskelutilojen käyttömahdollisuudet laajenivat energiatekniikan opiskelijoilta muillekin teknologiayksikön opiskelijoille.

Osan prosessilaboratorion esisuunnitelman dokumenteista on tarkoitus palvella alustavia investointilaskelmia ja erilaisia tukihakemuksia. Onnistuimme tekemään suuntaa antavan budjettiarvion sekä havainnollistavan tilasuunnitelman. Muut esisuunnitelman dokumentit antavat enemmän käsitystä meidän suunnittelemamme prosessin teknillisestä puolesta.

Lukiessamme ohjaajien antamaa listaa esisuunnitelman dokumenteista pystyimme yliviivaamaan kaikki tehdyiksi. Se ei tietysti vielä kerro työn laadusta kaikkea, mutta perehtymällä liitteissä oleviin dokumentteihin käy selville työn laatumme. Halusimme yhdistää lehtori Juha Isometsän antamat vaatimukset erilaisista "seinämistä" yhdeksi suureksi prosessiksi.

PI-kaavio ja eri kiertojen vuokaaviot antavat nopeasti käsitystä prosessin ideasta ja mitä sillä on mahdollista tehdä. Perehtymällä hieman myös prosessi- ja automaatiokuvauksiin käy selville, että laboratoriossa on mahdollista työskennellä koulutusohjelmasta ja vuosikurssista riippumatta. Saimme mielestämme aikaan opetustilan,

jossa on tekniikan vasta-alkajille harjoitustöitä sekä hieman kokeneemmillekin opiskelijoille päänvaivaa.

Erilaiset komponenttivalinnat saimme tehtyä ja uskomme valintojen olevan oikeita prosessille. Työlle asetetun tuntimäärän puitteissa emme säätöventtiilien k_v -arvoa laskeneet, valitsimme erilaisia venttiilityyppejä, joita prosessissa on mahdollista käyttää.

Laboratorion toteutuksesta jäi uupumaan komponentti, jolla sähkövastuksilla kehitetty höyry muunnetaan mekaaniseksi energiaksi, kuten käyttämällä höyryturbiinia. Höyryturbiinia ei valittu prosessiin sen kalliin hinnan takia. Jatkosuunnitelmia ajatellen yksi mahdollinen kehitysidea on juuri tämän kaltaisen ilmiön demonstroiminen.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esisuunnitelma prosessilaboratoriolle. Työn aloituspalaverissa kävimme läpi Juha Isometsän kanssa hänen vaatimuksensa laboratorion suhteen. Lisäksi saimme Jaakko Fonseliukselta listan dokumenteista, jotka meidän täytyisi laboratorion esisuunnitelmaan tehdä. Hintaa laboratoriolle saisi kertyä noin 250 000€ ja tilaa se voisi viedä noin 100 m². Näiden lisäksi muita vaatimuksia ei ollut, joten saimme melko vapaat kädet ja paljon vastuuta laboratoriosuunnittelun eteenpäin viemiseksi.

Eri vaihtoehtoja mietittäessä pyrimme pääsemään mahdollisimman käytännönläheisen ja teollisuudessa käytetyn tekniikan avulla ratkaisuun, joka palvelisi opiskelijoita mahdollisimman hyvin.

PI-kaavion tekeminen oli haastava työ, koska koulussa tekemämme harjoitukset olivat suoraan mallista kopioimista ja työssämme täytyi suunnitella ja piirtää PI-kaavio aloittaen puhtaalta paperilta. PI-kaaviota täytyi myös muuttaa useampaan kertaan laboratorion suunnittelun edetessä. Etenkin esiteltyämme PI-kaavioita Jyväskylän ammattikorkeakoulun teknologiayksikön opettajille ja teollisuuden edustajille Metso Oy:ltä ja Elomatic Oy:ltä, tuli PI-kaavioon muutoksia.

Layout kuvan tekemisen kanssa olimme saman haasteen edessä kuin PI-kaaviota tehdessä. 3D-modelling opintojaksolla käytimme Dassault Systems:in Catia ohjelmaa, mutta piirsimme mallista valmiiksi mitoitettuja kappaleita, kun taas lay-out kuvaa tehdessä jouduimme mitoittamaan ja sijoittamaan laitteet itse. Myös ohjelman käytössä tuli työkaluja vastaan, mihin emme opintojakson aikana tutustuneet.

Prosessi- ja automaatiokuvausten tekemisestä pystyimme hyödyntämään automaatiosuunnittelun opintojaksolla oppimiamme asioita, vaikka työ olikin paljon laajempi mitä tunneille tekemämme harjoitustyöt.

Päälaitteiden mitoitus ja valinnat aloitimme virtaus- ja lämpötekniikka opintojakson sekä automaatio kenttälaitteet opintojakson pohjilta. Hyvän perus tietämyksen turvin mitoitimme ja teimme tarvittavat valinnat laitteiston osalta suurempia ongelmia kohtaamatta.

Laitteiston hintojen etsiminen tuntui välillä turhauttavalta, koska tietoa laitteiden hinnoista oli niukasti saatavilla. Yritykset suhtautuivat hyvin eritavalla tilanteeseen, jotkut palvelivat kuin oikeaa asiakasta, mutta oli tapauksia joiden mielestä meihin ei kannattanut tuhjata aikaa. Tämä on hyvin valitettavaa ja lyhyt näköistä toimintaa firmoille, koska voimme tulevassa työelämässä olla tekemässä päätöksiä laitteiston investoinneista ja todella niitä hankkimassa. Selvitettyämme tarvittavien laitteiden, niiden asennusten sekä automaation kulut ja hinnat jouduimme toteamaan alkupe- räisen budjettiarvion riittämättömäksi. (Ks. liite 8.)

Onnistuimme ideoimaan laboratorion, jolla pystyy havainnollistamaan tärkeimpiä virtaukseen, häviöihin ja lämmönsiirtoon liittyviä ilmiöitä. Lisäksi valitsimme laitteet, joita laboratorio vaatisi, sekä kartoitimme laitteiden hintaa. Liitteiksi kerätyt materiaalit, sekä valmiit prosessi- ja automaatiokuvaukset auttavat laboratorion lopullisen suunnitelman teossa.

Lopullisen laboratorio suunnittelijan suurin työ tulee luultavasti olemaan laitteiden kilpailuttamisessa. Kilpailuttamalla eri laitevalmistajia laboratorion kokonaiskustannuksia saisi alemmaksi. Kilpailutuksen seurauksena laitteet tulisivat todennäköisesti vaihtumaan ainakin osittain ja tämä johtaisi uusiin laitevalintoihin. Laitevalintoja tehtäessä tulisi suunnittelijan ja laboratoriota käyttävien henkilöiden eli erialojen opettajien tehdä tiivistä yhteistyötä. Tällä yhteistyöllä varmistettaisiin jo suunnitteluvaiheessa laboratorion soveltuminen opetuskäyttöön, sillä teollisuuden asettamiin vaatimuksiin syventynyt suunnittelija ei välttämättä tule ajatelleeksi opetuskäyttöön tulevan prosessilaitteiston erilaisia vaatimuksia.

Näin jälkepäin pohtiessa opinnäytetyö oli sopivan laaja, syvennyimme prosessiteollisuuden laitteistoihin, suunnittelimme prosessi- ja automaatiokuvauksia sekä piirtelimme erilaisia layout kuvia. Mielestämme koulussa saatujen opintojen turvin emme olisi kuitenkaan tästä urakasta selvinneet, mutta saimme hyvät lähtötiedot mistä löytää tarkempaa tietoa kyseessä olevista asioista.

LÄHTEET

ABB TTT-käsikirja. 2000.Sähkömoottorikäytöt. Viitattu. 12.3.2010

Ammatillinen opettajakorkeakoulu. 2009. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet sivut. Viitattu 2.2.2010.

<http://www.jamk.fi,tutustu,organisaatio,yksikot,ammattillinenopettajakorkeakoulu>

Asmala, H. 2009a. Paineen mittaaminen. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.3.2010.

<http://www.tp.spt.fi/~salabra/automaatio/ProsSim/Doc/Sensors/Paine.html>

Asmala, H. 2009b. Virtauksen mittaaminen. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 12.3.2010.

<http://www.tp.spt.fi/~salabra/automaatio/ProsSim/Doc/Sensors/Virtaus.html>

Aumala, O. 1999. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino

Energiatekniikka 2,Pumput ja putkistot. 2006. Viitattu 15.2.2010.

<http://skeggis.1g.fi/stuff/energiatekniikka/Luennot/Pumput.pdf>

Fonselius, J 2009. Flow and thermal engineering, pumps. Luentomoniste. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.3.2010

Halonen, V. 2008. Neste Oilin energialaitoksen paineilma- ja syöttövesituotannon energiataloudellinen tarkastelu. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikka.

Hakala, P ja Kaappola, E. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. 1. p. Gummerus Kirjapaino.

Hautanen, J. 2009. Automaation kenttälaitteet, lämpötilan mittaaminen. Luentomoniste. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.3.2010

Hautanen, J. 2010. Automaation kenttälaitteet, paineen mittaaminen. Luentomoniste. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.3.2010.

Heat exchangers. n. d. Viitattu 10.03.2010.

<http://www.geagroup.com/en/unternehmen/gea-heat-exchangers>

Hirvonen, J. 2007. Taajuusmuuttajan vaihtaminen pakkaajarobottiin. Insinööriyö Helsingin ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka.

Honkanen, H. n. d. Sähkömootorit. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.4.2010.

Huhtinen, M, Kettunen, A, Nurminen, P & Pakkenen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6. p. Helsinki: Edita Prima.

Hyvinvointiyksikkö. 2009. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet sivut. Viitattu 2.2.2010. <http://www.jamk.fi/tutustu/organisaatio/yksikot/sosiaalijaterveysala>

Häkkinen, P. n. d. POJ. Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 25.2.2010

Insinööriksi paperikoneteknologian koulutusohjelmaan. 2010. Jyväskylän ammattikorkeakoulun sivusto. Viitattu 01.4.2010.

<http://www.jamk.fi/koulutus/tutkinnot/nuoret/tekniikanjaliikenteenala/paperikoneteknologia>

Jyväskylän ammattikorkeakoulun hallinto-organisaatio. 2010. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet sivut. Viitattu 2.2.2010.

<http://www.jamk.fi,tutustu,organisaatio>

Kapasitiivinen pinnanmittaus. 2005. Metso Endress+Hauser mittausmenetelmät. Viitattu 15.2.2009 <http://www.metsoendress.com,tuotteet,metsoendress,pintamittaukset,kapasitiivinenpinnanmittaus>

Kianta, J. 2005. Välilliset kylmäjärjestelmät. Lahden ammatti-instituutti.

Kärhä, P. 2008. Anturit ja mittausvahvistimet. Luentomoniste. Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 15.3.2010. http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.2010/Anturit_ja_anturielektroniikka_2008.pdf

Levylämmönsiirtimet. n. d. Alfa Laval internet sivusto. Viitattu 10.03.2010.

<http://local.alfalaval.com/fi-fi/key-technologies/heat-transfer/plate-heat-exchangers/pages/default.aspx>

Liiketoiminta ja palvelut -yksikkö. 2009. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet sivut. Viitattu 2.2.2010. <http://www.jamk.fi/tutustu/organisaatio/yksikot/liiketalous>

Luukkanen, P. 2001. Pumpun valitsimet integroidussa simulointiympäristössä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kemianteekniikka.

Mikroaaltotutkimittaus. 2005. Metso Endress+Hauser mittausmenetelmät. Viitattu 15.2.2009 <http://www.metsoendress.com,tuotteet,metsoendress,pintamittaukset,mikroaaltotutkimittaus>

Muuronen, M. 1994. Käytännön kylmätekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino.

Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus

Paineenmittaus. Oppimismateriaali satakunnan ammattikorkeakoulun sivustolla. Viitattu 14.2.2010.
<http://www.tp.spt.fi,salabra,automaatio,ProsSim,Doc,Sensors,Paine>

Paine- ja paine-eromittaukset. 2005. Metso Endress+Hauser mittausmenetelmät. Viitattu 15.2.2009. [http://www.metsoendress.com,tuotteet,metsoendress,paine- ja paine-eromittaukset](http://www.metsoendress.com,tuotteet,metsoendress,paine-ja-paine-eromittaukset)

Perunka, O. 2005. Ilmastoinnin jäähdytys, keskitetyt järjestelmät. Kylmäestarin koulutus

Products. n. d. a-tcontrols web-site. Viitattu. http://www.a-tcontrols.com/products/ball_valves/manual_ball_valves/manual_ball_valve_38.html

Sähkömoottori. n. d. Lappeenrannan teknillinen yliopiston sivusto. Viitattu 11.4.2010.
http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/electrical_motor/

Teknologiayksikkö. 2010. Liiketoiminta ja palvelut-yksikkö. 2009. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet sivut. Viitattu 21.2.2010.
<http://www.jamk.fi/tutustu/organisaatio/yksikot/tekniikkajaliikenne>

Termopari lämpötila-anturina. n. d. Pietikko Oy. Viitattu 14.3.2010.
<http://www.pietikko.fi/mittarikirjallisuus/termopari>

Tutustu Jamkiin. 2010. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet sivut. Viitattu 2.2.2010. <http://www.jamk.fi,tutustu>

Ultraäänipintamittaus. 2005. Metso Endress+Hauser mittausmenetelmät. Viitattu 15.2.2009 [http://www.metsoendress.com,tuotteet,metsoendress,pintamittaukset, Ultraäänipintamittaus](http://www.metsoendress.com,tuotteet,metsoendress,pintamittaukset,Ultraäänipintamittaus)

Venttiili. n. d. sivistyssanakirja&synonyymikirja. Viitattu 17.3.2010.
<http://suomisanakirja.fi/venttiili>

Varttinen, S. 2004. Taajuusmuuttajat voimalaitosten pumppauksissa, erityisesti syöttöveden pyörimisnopeussäädön vaikutus ruiskutusvesijärjestelmään. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikka. Viitattu 25.2.2010

Virtaus – Delta-T. n. d. Emersonin mittaustavat. Viitattu 31.3.2010.
http://www.emersonprocess.com/Micromotion/tutor/old_tutor/finnish/41_flowoperatingprincipalSTflowdeltat.htm

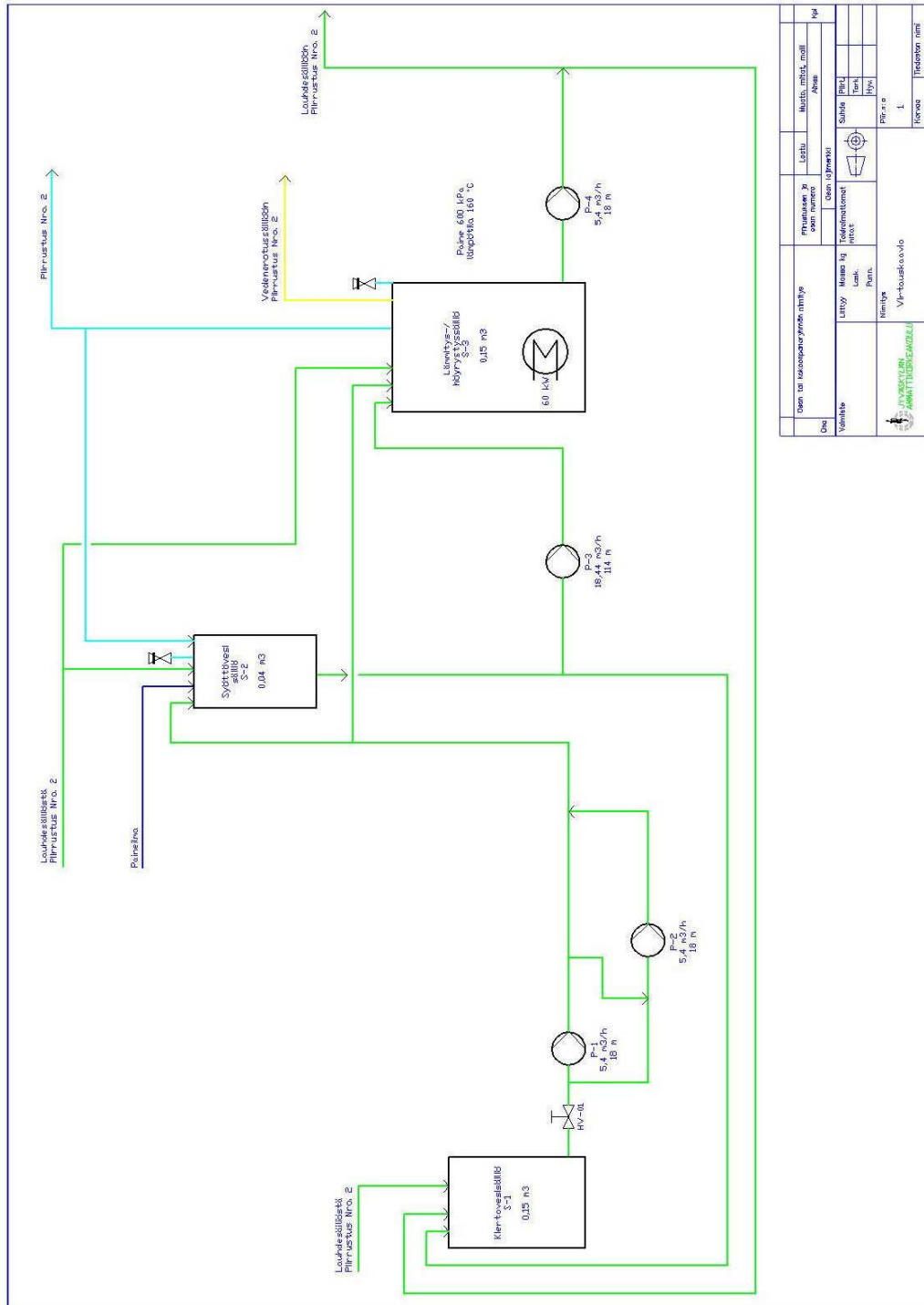
Virtausmittaukset. 2005. Metso Endress+Hauser mittausmenetelmät. Viitattu 15.2.2009. <http://www.metsoendress.com, tuotteet, metsoendress, pintamittaukset, virtausmittaukset>

Virtauksen mittaaminen. n. d. Oppimismateriaali satakunnan ammattikorkeakoulun sivustolta. Viitattu 9.4.2010.
<http://www.tp.spt.fi,salabra,automaatio,ProsSim,Doc,Sensors,Virtaus>

Välilliset kylmälaitokset, suunnittelu ja rakentaminen. 2001. Tampereen teknillinen yliopisto, energia- ja prosessitekniikka.

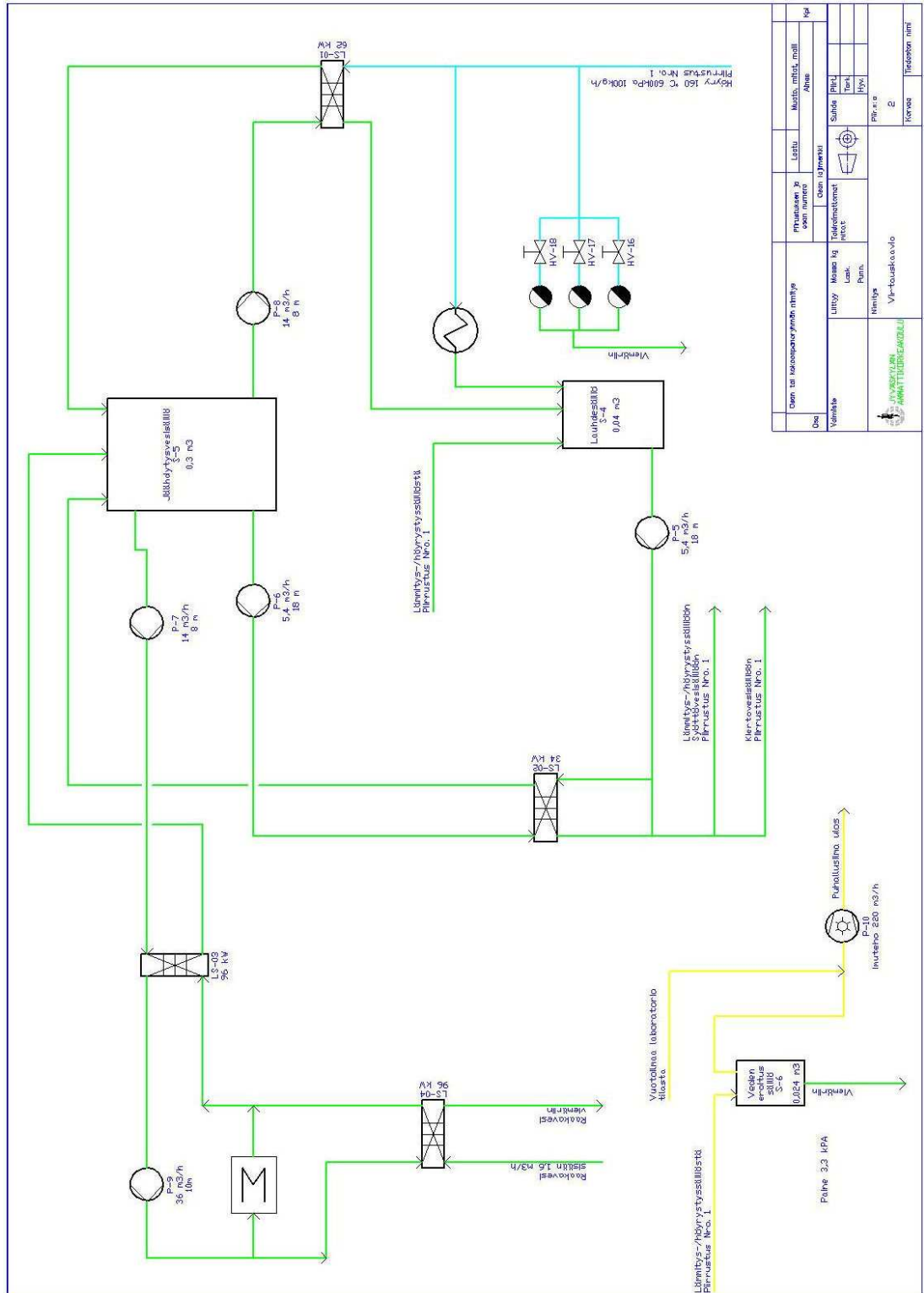
LIITEET

Liite 1. Virtauskaavio 1



Obj.	Osien tai kokonaisuksien nimi	piirustus nro om. numero	Lehti	Muut. mää. nro alike	tyy.
Yksikö	Liittö	Kohde	Luokka	PHL	
		Luokk.	Projekti	Tekijä	
		Par.		Hyväks.	
	Nimitys		Piir. nro		
	Virtauskaavio		1		
			Tekijä		
			Tarkastus		

Liite 2. Virtauskaavio 2

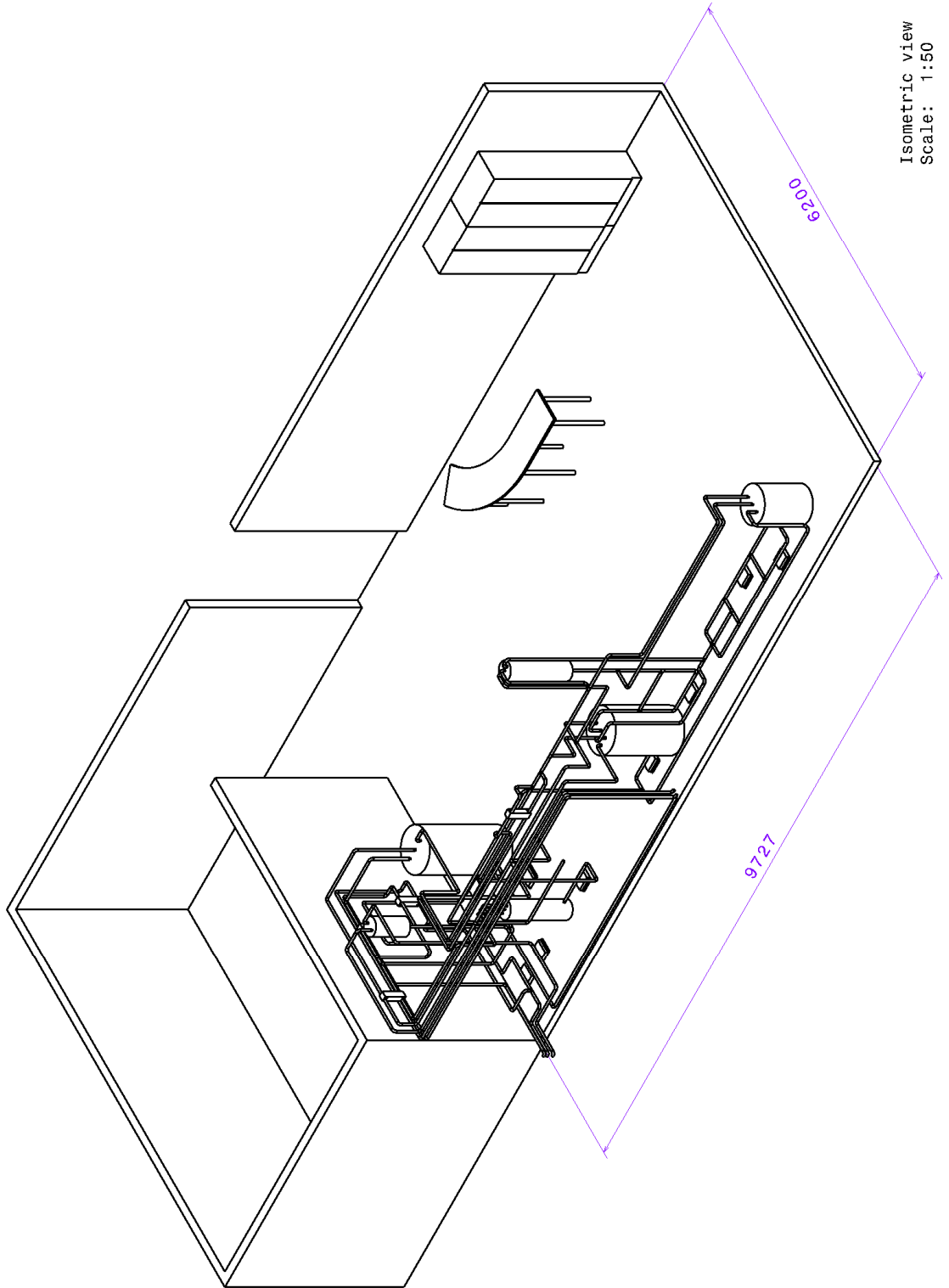


Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁	Q ₁₂	Q ₁₃	Q ₁₄	Q ₁₅	Q ₁₆	Q ₁₇	Q ₁₈	Q ₁₉	Q ₂₀	Q ₂₁	Q ₂₂	Q ₂₃	Q ₂₄	Q ₂₅	Q ₂₆	Q ₂₇	Q ₂₈	Q ₂₉	Q ₃₀	Q ₃₁	Q ₃₂	Q ₃₃	Q ₃₄	Q ₃₅	Q ₃₆	Q ₃₇	Q ₃₈	Q ₃₉	Q ₄₀	Q ₄₁	Q ₄₂	Q ₄₃	Q ₄₄	Q ₄₅	Q ₄₆	Q ₄₇	Q ₄₈	Q ₄₉	Q ₅₀	Q ₅₁	Q ₅₂	Q ₅₃	Q ₅₄	Q ₅₅	Q ₅₆	Q ₅₇	Q ₅₈	Q ₅₉	Q ₆₀	Q ₆₁	Q ₆₂	Q ₆₃	Q ₆₄	Q ₆₅	Q ₆₆	Q ₆₇	Q ₆₈	Q ₆₉	Q ₇₀	Q ₇₁	Q ₇₂	Q ₇₃	Q ₇₄	Q ₇₅	Q ₇₆	Q ₇₇	Q ₇₈	Q ₇₉	Q ₈₀	Q ₈₁	Q ₈₂	Q ₈₃	Q ₈₄	Q ₈₅	Q ₈₆	Q ₈₇	Q ₈₈	Q ₈₉	Q ₉₀	Q ₉₁	Q ₉₂	Q ₉₃	Q ₉₄	Q ₉₅	Q ₉₆	Q ₉₇	Q ₉₈	Q ₉₉	Q ₁₀₀
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------

Liite 3. PI-kaavio 1

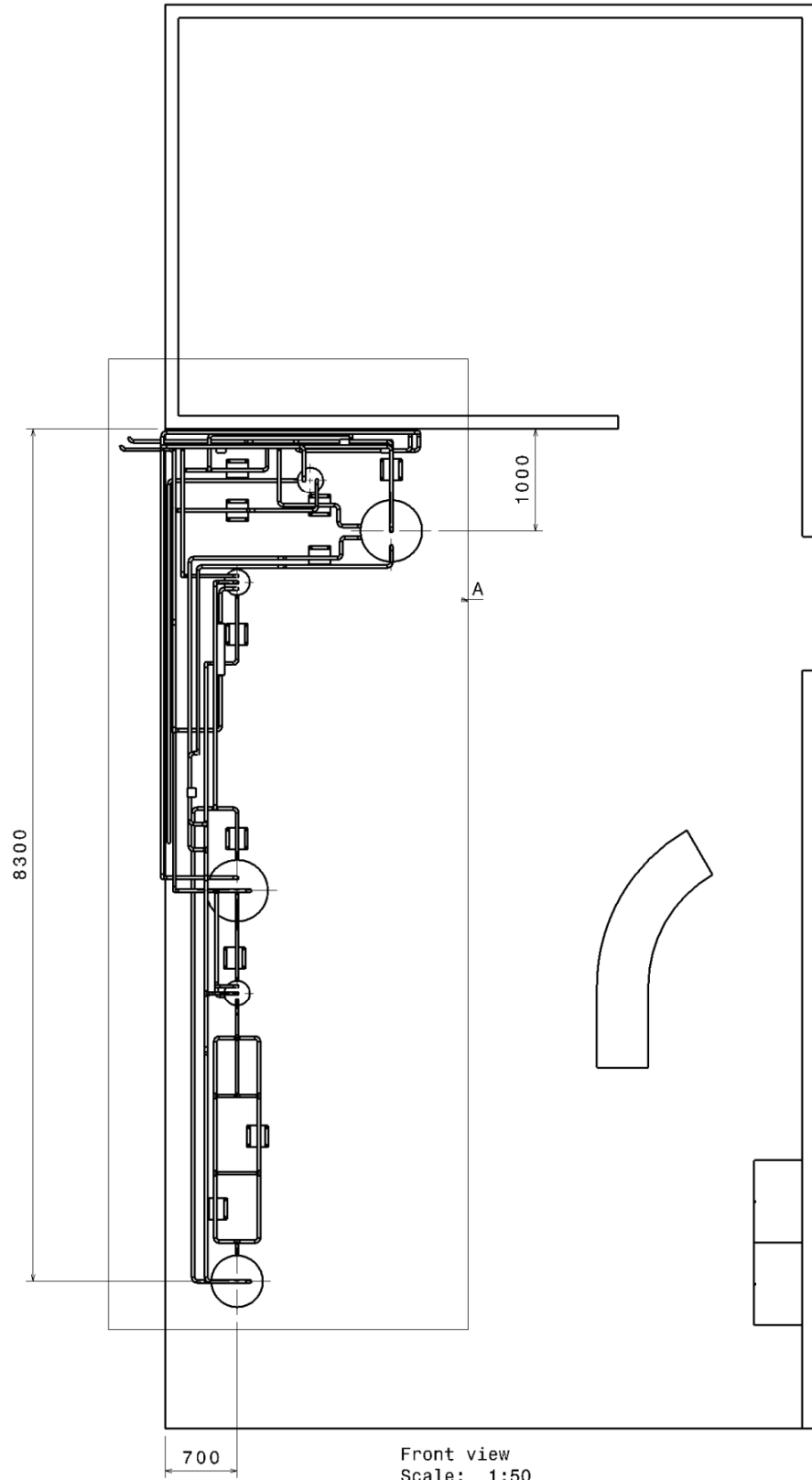
Liite 4. PI-kaavio 2

Liite 5. Lay-out 1

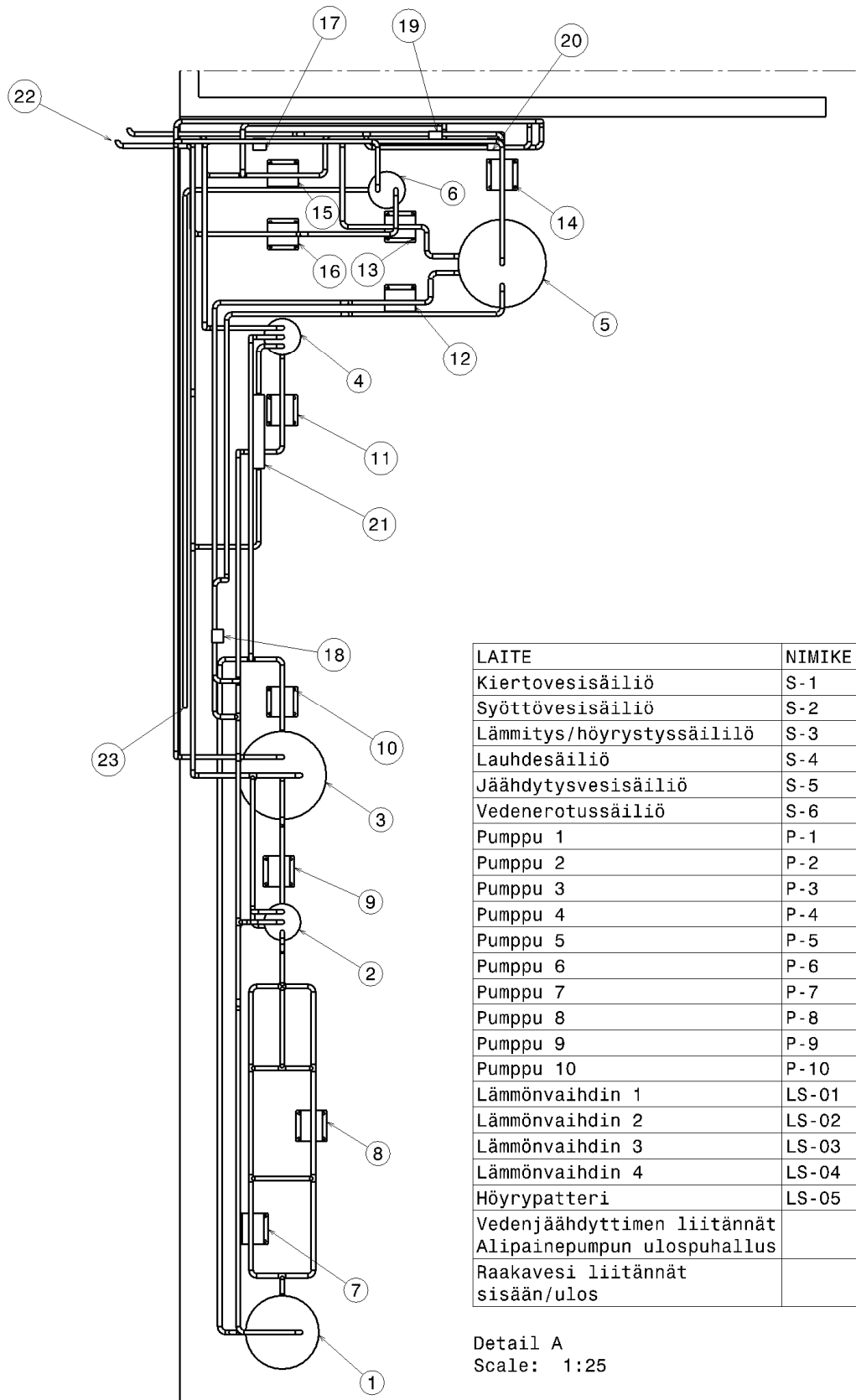


Isometric view
Scale: 1:50

Liite 6. Lay-out 2



Liite 7. Lay-out 3



LAITE	NIMIKE	NUMERO
Kiertovesisäiliö	S-1	1
Syöttövesisäiliö	S-2	2
Lämmitys/höyrystyssäililö	S-3	3
Lauhesäiliö	S-4	4
Jäähdytysvesisäiliö	S-5	5
Vedenerotussäiliö	S-6	6
Pumppu 1	P-1	7
Pumppu 2	P-2	8
Pumppu 3	P-3	9
Pumppu 4	P-4	10
Pumppu 5	P-5	11
Pumppu 6	P-6	12
Pumppu 7	P-7	13
Pumppu 8	P-8	14
Pumppu 9	P-9	15
Pumppu 10	P-10	16
Lämmönvaihdin 1	LS-01	17
Lämmönvaihdin 2	LS-02	18
Lämmönvaihdin 3	LS-03	19
Lämmönvaihdin 4	LS-04	20
Höyrypatteri	LS-05	21
Vedenjäähdyttimen liitännät		22
Alipainepumpun ulospuhallus		23
Raakavesi liitännät sisään/ulos		23

Detail A
Scale: 1:25

Liite 8. Budjettiarvio

Liite 9. Päälaitteiden mitoitus

<u>Levylämmönvaihdin</u>	[kW]
LS1	62,3
LS2	33,5
Vedenjäähdytin	95,9
Nestelauhdutin	131,3
LS3	95,9
LS4	95,9

<u>Pumppu</u>	[kg/s]
P1	1,00
P2	1,50
P3	2,50
P4	2,00
P5	0,10
P6	1,60
P7	4,58
P8	2,98
P9 (glykoliseos)	5,59

<u>Säiliöt</u>	[l]
Jäähdytys	300,0
Kiertovesi	120,0
Lauhdutus	40,0
Lämmitys	300,0
Syöttövesi	40,0

<u>Sähkövastus</u>	60,0 [kW]
--------------------	-----------

<u>Putkisto</u>	[mm]	DN
P8 ympäristö	61,6	50
P7ympäristö	76,3	65
P6 ympäristö	45,1	32
P5 ympäristö	35,7	25
P1/P2	31,1	25
P3	35	25

Liite 10. Komponenttien määrät ja hinnat

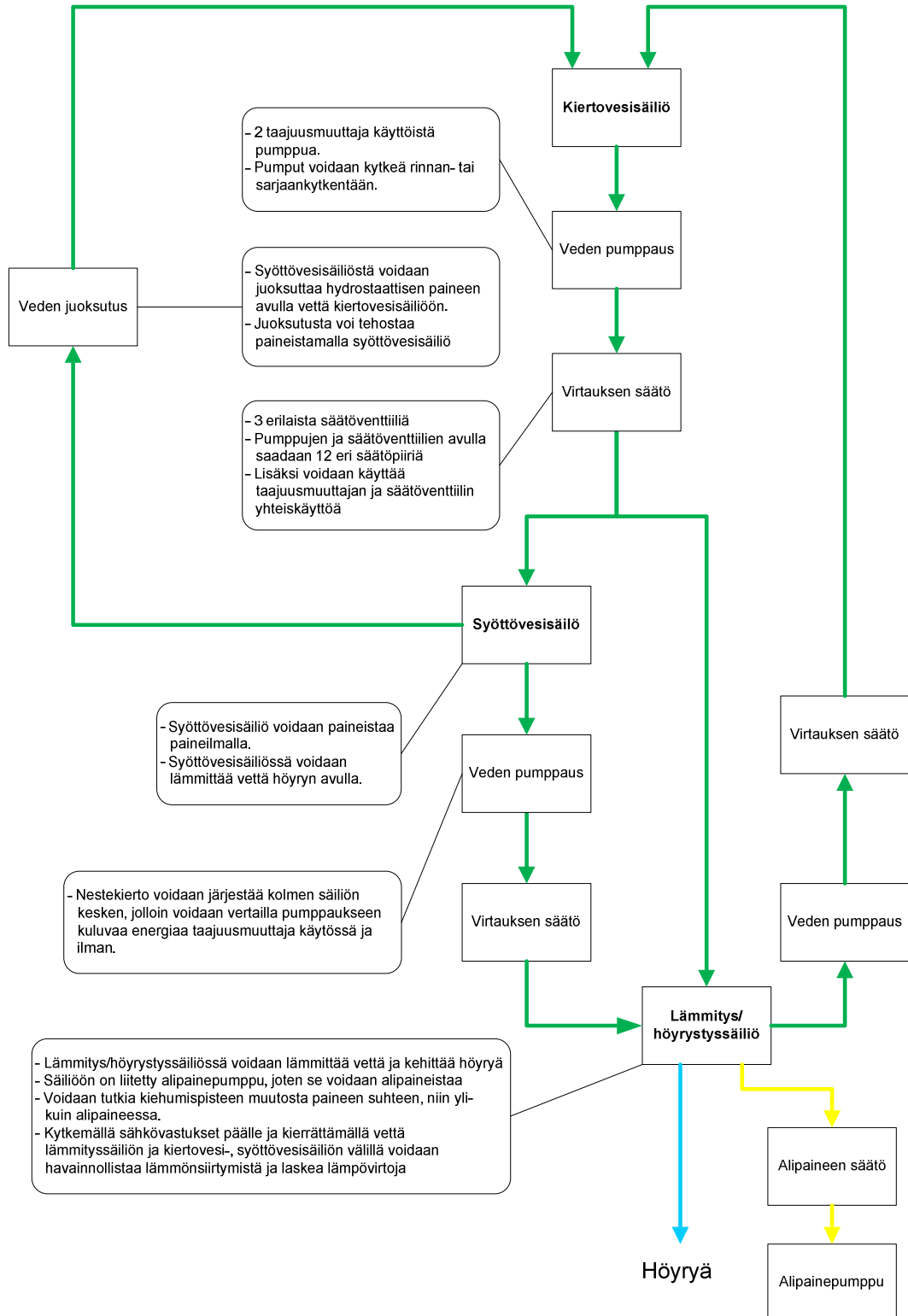
Liite 11. Laiteluettelo

Liite 12. Instrumentointi

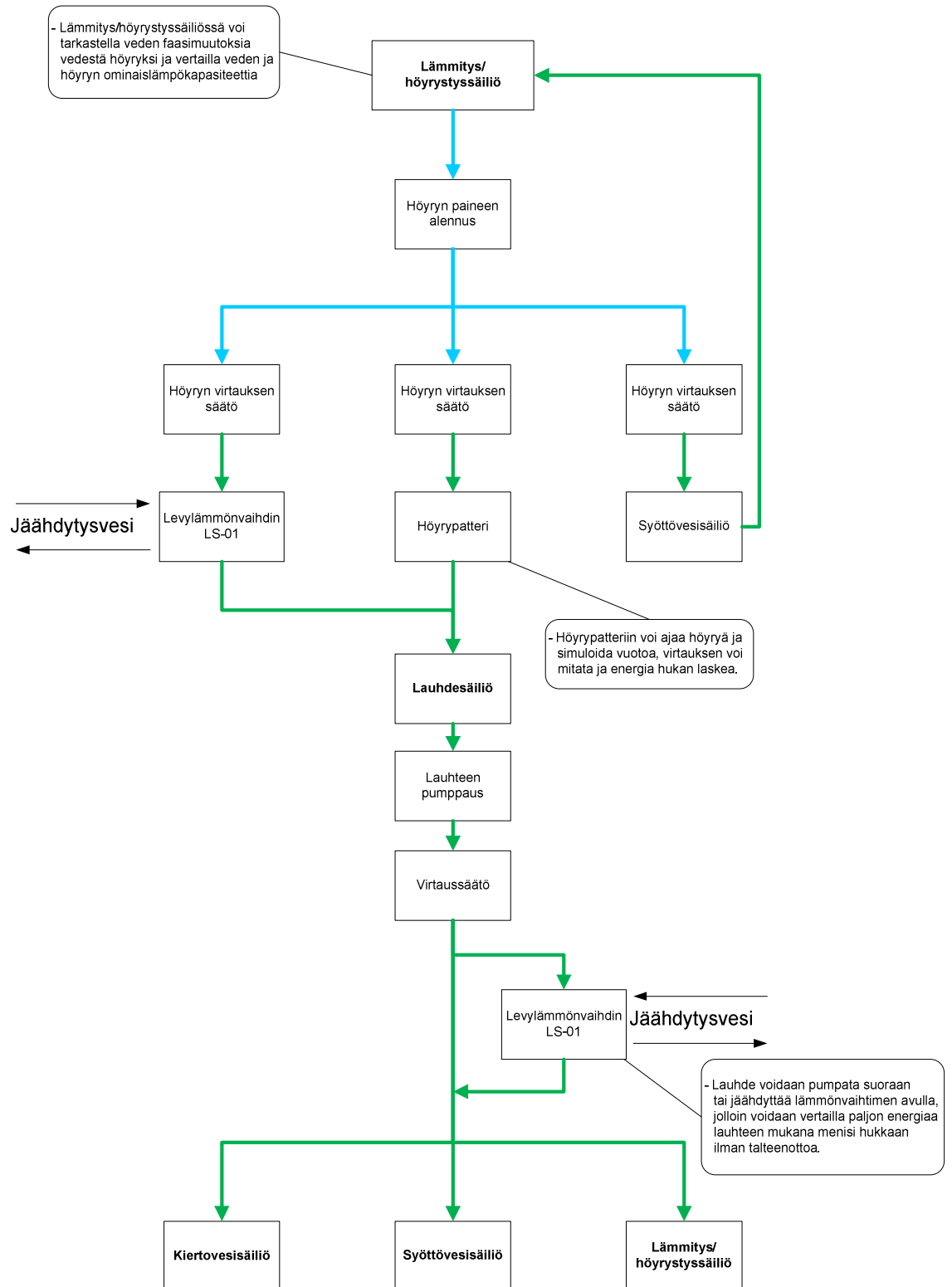
Liite 13. Prosessikuvaukset

Liite 14. Automaatiokuvaukset

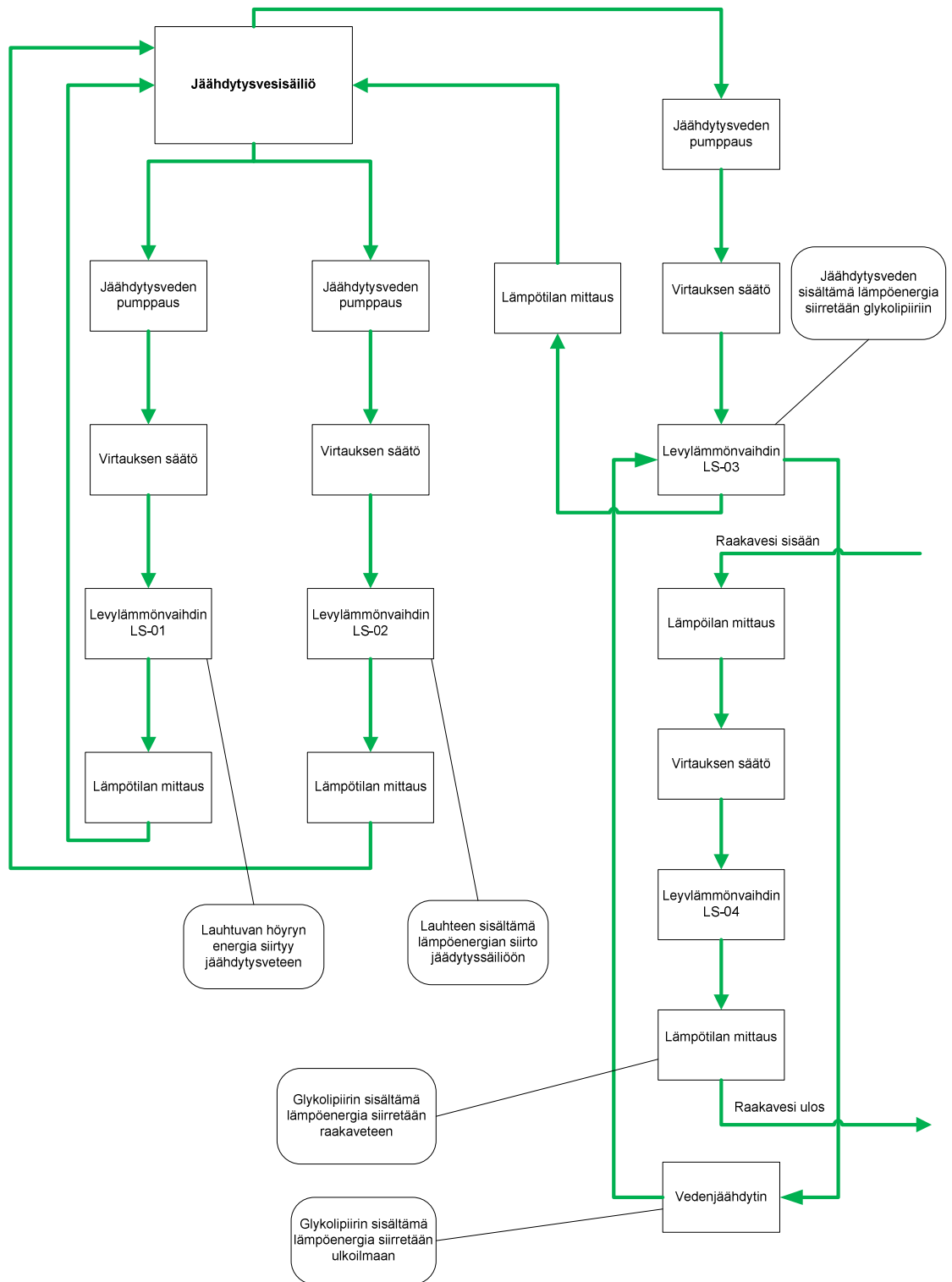
Liite 15. Nestekiertojen vuokaavio



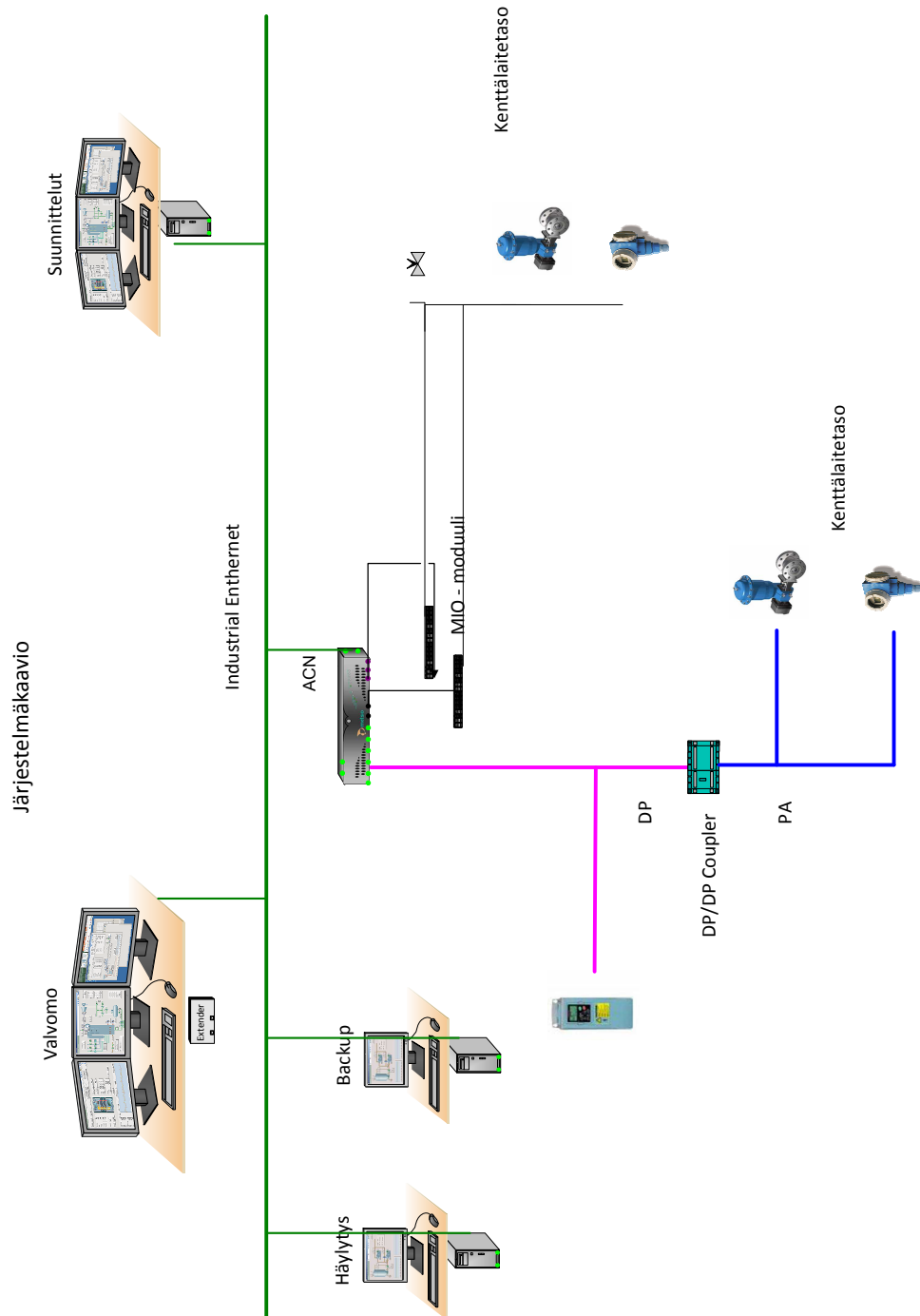
Liite 16. Höyrykierron vuokaavio



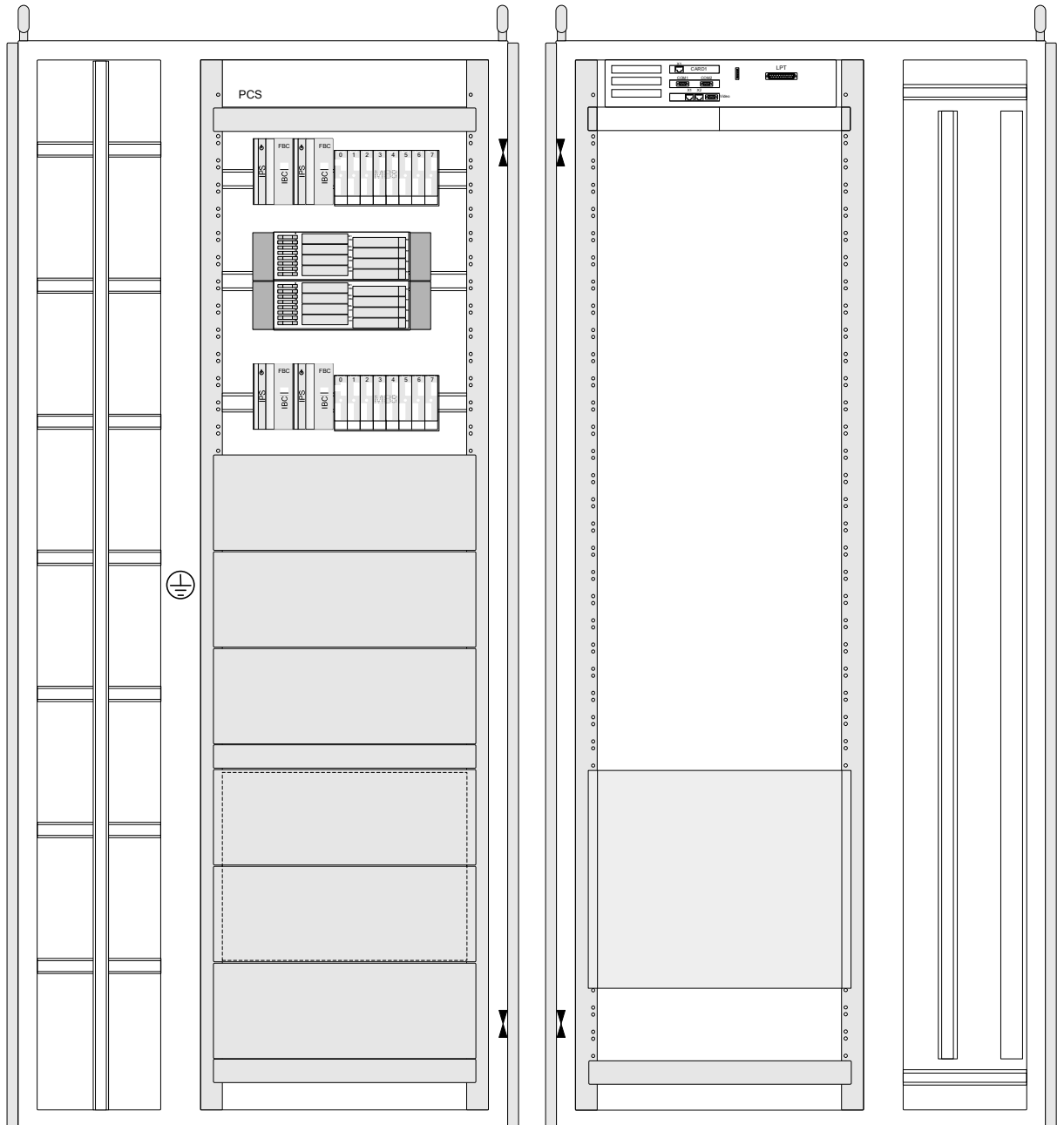
Liite 17. Jäähdytysvesikiertojen vuokaavio



Liite 18. Järjestelmäkaavio



Liite 19. Metso ACN-kaappi



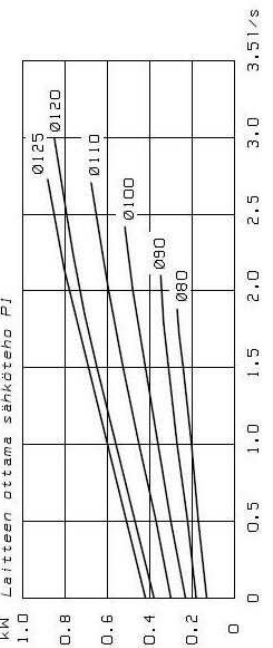
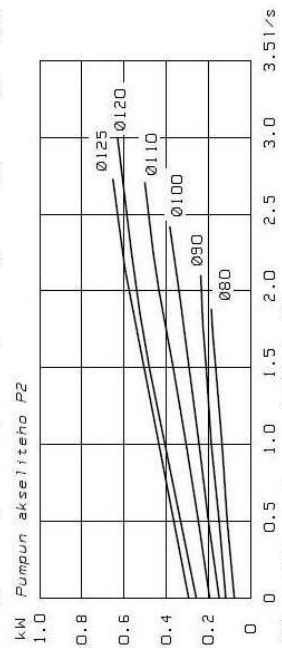
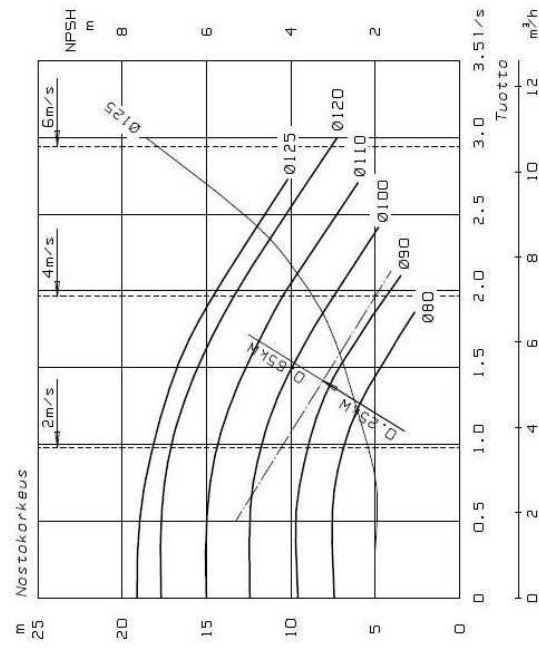
Liite 20. Levylämmönvaihtimen (LS-3) mitoitus

Tekninen erittely

Malli : CB76-30M (32361 7630 1)
 Projekti : 1
 ItemName :
 Yksikköjärjestelmä : 1
 Päiväys : 29.3.2010

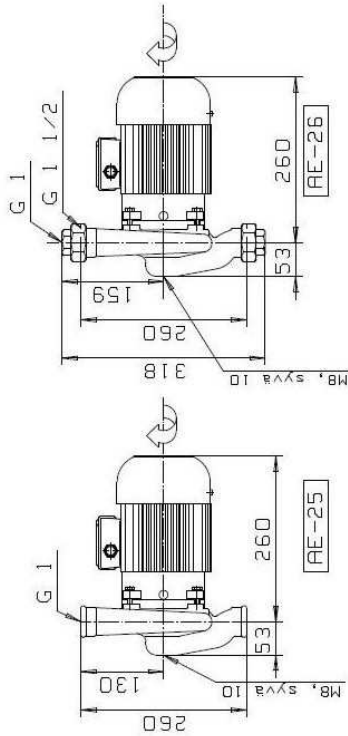
		Kuuma puoli S3S4	Kylmä puoli S1S2
Neste		Vesi	40.0% Eth.
glykoli			
Tiheys	kg/m ³	998.9	1063
Ominaislämpökapasiteetti	kJ/(kg*K)	4.20	3.52
Lämmönjohtavuus	W/(m*K)	0.594	0.451
Viskositeetti sisään	cP	1.14	4.60
Viskositeetti ulos	cP	1.19	3.86
Virtausmäärä	kg/s	5.500	1.876
Lämpötila sisään	°C	15.0	7.0
Lämpötila ulos	°C	13.6	12.0
Painehäviö	kPa	70.5	11.3
Teho	kW	33.00	
Log. lämpötilaero	K	4.6	
Lämmönläpäisykerroin, puhdas	W/(m ² *K)	2596	
Lämmönläpäisykerroin, likainen	W/(m ² *K)	2596	
Lämpöpinta-ala	m ²	2.80	
Likaantumisvastus * 10000	m ² *K/W	0.000	
Likaantumislisä	%	0.00	
Nesteiden virtaussuunta		Vastavirtaan	
Vaiheiden lukumäärä		1	1
Materialplate/ brazing		Alloy 316 / Cu	
LiitäntäS1 (Kylmä-Ulos)		Threaded (External)/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
LiitäntäS2 (Kylmä-Sisään)		Threaded (External)/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
LiitäntäS3 (Hot-Ulos)		Threaded (External)/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
LiitäntäS4 (Hot-Sisään)		Threaded (External)/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
Painelaitekoodi		PED	
Rakennepaine at 125.0 Celsius	Bar	30.0	29.0
Rakennepaine at 225.0 Celsius	Bar	26.0	25.0
Rakennelämpötila	°C	-196.0/225.0	
Kokonaispit. x lev. x kork.	mm	143 x 191 x 618	
Nettopaino tyhjä/täynnä	kg	22.7 / 30.2	
Package length x width x height	mm	150 x 210 x 700	
Package weight	kg	2.425	

Liite 21. Kolmeks AE-25/2

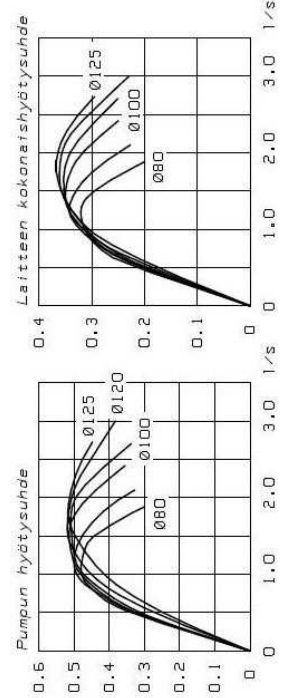


AE-25/2
AE-26/2

G1 3000 r/min

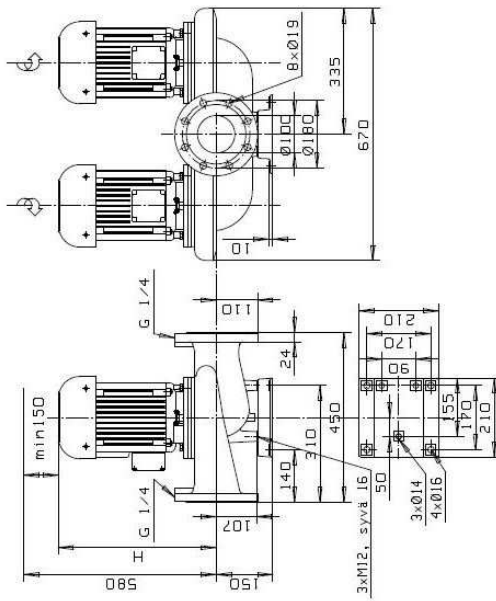


	kW	l	kg
OKN-841 D N12	0.65	1.8	15
OKN-841 D P N12 I~	0.65	4.5	15
OP-741 N12	0.25	0.7	11
OP-741 C P N12 I~	0.25	1.8	11



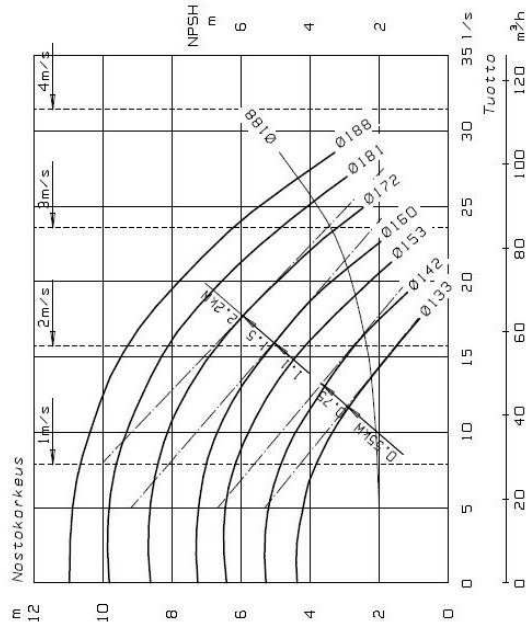
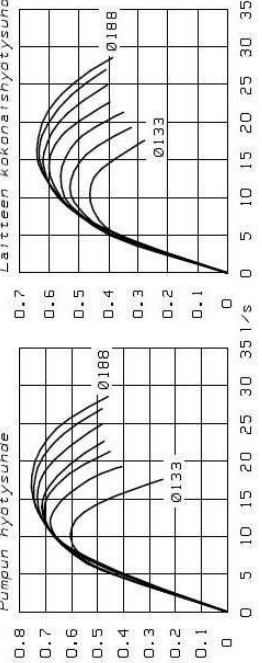
Liite 22. Kolmeks AT-1024/4

AT-1102/4 DN100 1500 r/min

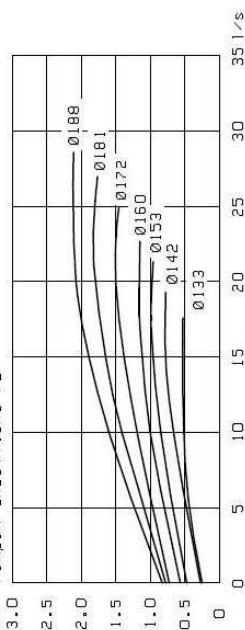


	kW	R	kg	H
OKN-112 C2 F19	2.2	5.1	137	430
OKN-101 D2 F19	1.5	3.5	125	385
OKN-101 D2 P F19 I~	1.5	9.0	125	385
OKN-101 C2 F19	1.1	2.6	117	385
OKN-101 C2 P F19 I~	1.1	6.9	117	385
OKN-100 B2 F19	0.75	2.0	111	335
OKN-100 B2 P F19	0.55	1.4	111	335
OKN-100 B2 P F19 I~	0.55	3.4	111	335

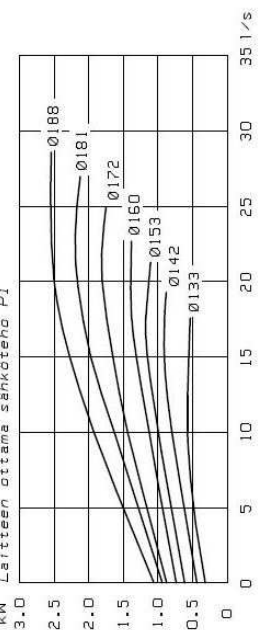
Pumpun hyötysuhde



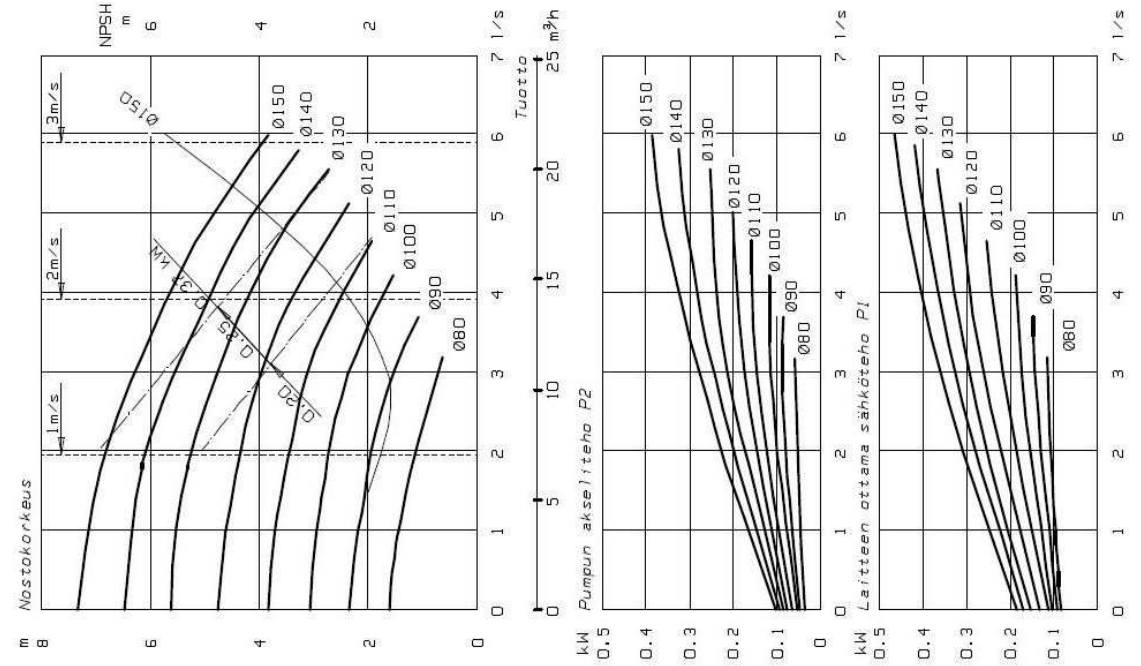
kW Pumpun akseliteho P2



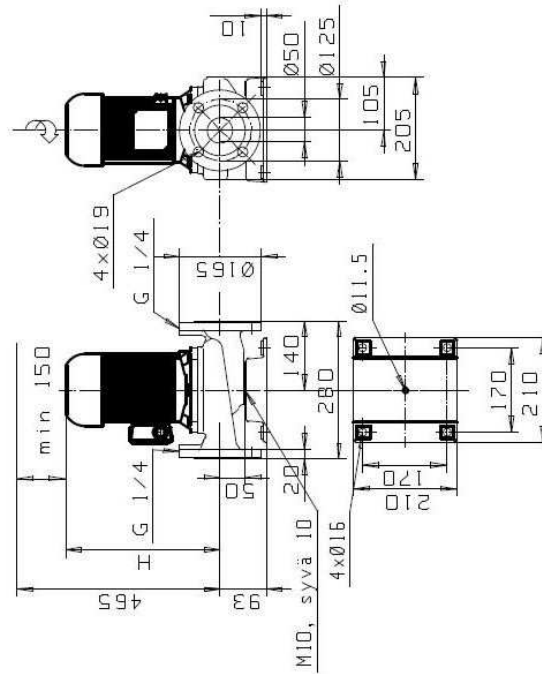
kW Laitteen ottama sähköteho P1



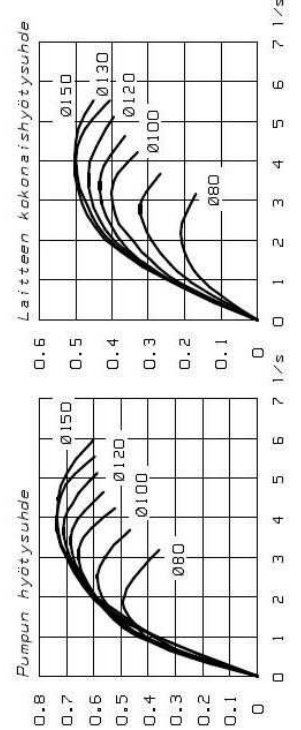
Liite 23. Kolmeks L-50A/4



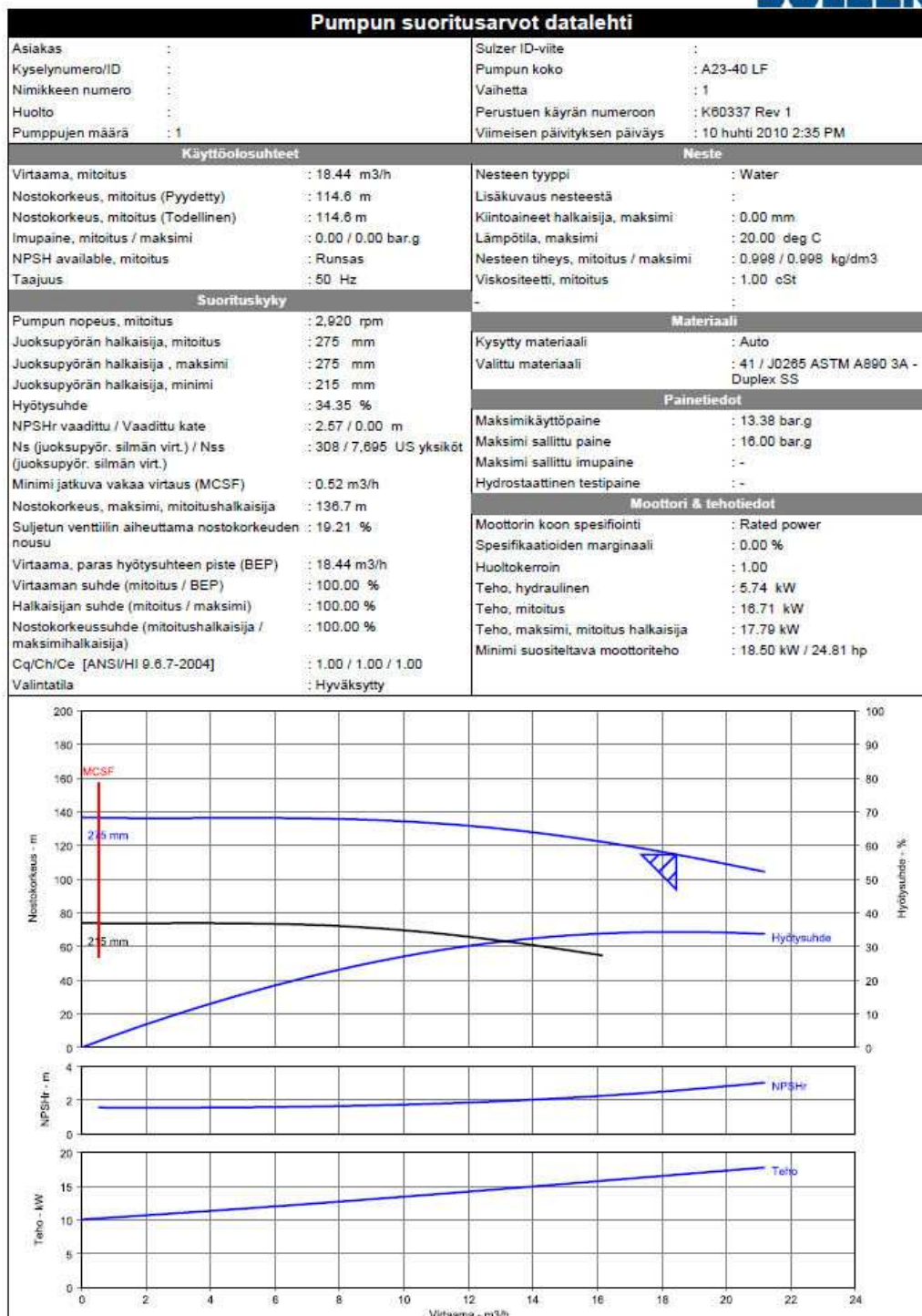
L_50A/4 DN50 1500 r/min



	kW	P	kg	H
OKN-662 D F15	0.37	1.15	30	315
QP-762 F15	0.25	0.82	24	250
QP-752 P F15 I~	0.25	1.65	24	250
QP-752 F15	0.20	0.65	24	250
QP-752 P F15 I~	0.20	1.45	24	250



Liite 24. Sulzer A23-40 LF

SULZER

Liite 25. Vesi- ja sähkötaseet

Sähkömoottorit	[kW]
P-1	0,65
P-2	0,65
P-3	18,5
P-4	0,65
P-5	0,65
P-6	0,65
P-7	0,3
P-8	0,3
P-9	1,1
P-10	5,5

Sähkövastukset	
6xsähkövastus	60
yhteensä	88,95

Vesi	[l/s]
Jäähdytysvesi	0,45
P-10 tiivistevesi	0,006
yhteensä	0,456

Liite 26. I/O-määrä

Tyyppi	Määrä	MIO BI	MIO BO	MIO AI	MIO AO
BI	0	0	-	-	-
BO	28	-	4	-	-
AI	64	-	-	9	-
AO	18	-	-	-	3
Yht.	110	Yht. MIO kortteja			16

15 % ylimääräistä vaadittuun IO-määrään = $110 \times 1,15 = 127$

16 kortilla = $2 \times 8 \times 8 = 128$