

Kristian Koski

UUDEN KAMPUKSEN LVI-LABORATORION SUUNNITELMAT

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2017

UUDEN KAMPUKSEN LVI-LABORATORION SUUNNITELMAT

Koski, Kristian
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kesäkuu 2017
Sivumäärä: 19
Liitteitä: 3

Asiasanat: virtaus, laboratoriotyöt, suunnitelmat, opetusvälineet

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on käydä läpi eri laboratoriotöissä käytettävien laitteiden suunnittelua ja miksi juuri niin suunnitellaan. Laboratoriotyöt ovat tärkeä osa insinöörin oppimisprosessia, joten ne tulee suunnitella mahdollisimman opettaviksi ja tarkoiksi.

Opinnäytetyössä kerrotaan koulun uudelle kampukselle suunnitellusta kolmesta eri laboratoriotyövälineestä ja niiden suunnittelusta. Nämä kyseiset välineet ovat virtausseinä, patteriseinä, sekä keskipakopumppu. Näistä kaksi ovat olleet jo vanhalla kampuksella, mutta yksi on suunniteltu ihan alusta asti ilman toimivaa esimerkkiä. Työvälineet on suunniteltu niin että niitä voi käyttää mahdollisimman monipuolisesti, sekä että niitä voitaisiin käyttää mahdollisimman pitkään.

Työ kertoo myös yleispätevästi näitten suunniteltujen laboratoriotyövälineiden avulla tehtävistä laboratoriotöistä. Töiden opettama teoria on hyvää käytännön kokemusta tuleville insinööreille. He oppivat töiden avulla teorian opettamaa teorian soveltamista käytännössä.

THE HVAC-LABORATORY'S PLANS FOR THE NEW CAMPUS

Koski, Kristian
Satakunta University of Applied Sciences
Construction engineering
June 2017
Number of pages: 19
Appendices: 3

Keywords: flow, laboratory work, plans, teaching tools

The purpose of this thesis is to go through different laboratory appliances designs and why they are designed this way. Laboratory experiments are an important part of engineers learning process so they have to be designed to be instructive and precise.

The thesis explains about the three different laboratory appliances for the school's new campus and about the design process for them. These particular appliances are flowwall, radiatorwall and centrifugal pump. Two of these have already been in the campus, but one of these is designed from scratch without a working model. The laboratory appliances are designed to be used as versatile as possible and they are designed to be used for as long as possible.

The thesis also explains universally about the laboratory tests which are done with these appliances. Laboratory tests are a great way to teach the future engineers theory because it also gives them practical experience. The theory that they have learned in theoretical lessons can be applied in laboratory tests.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
2 VIRTAAMASEINÄ.....	6
2.1 Laboratoriotyön tarkoitus.....	6
2.2 Laboratoriotyön suorittaminen.....	7
2.2.1 Linjansäätöventtiilien mittaus.....	7
2.2.2 Kulmien ja käyrien mittaus.....	8
2.2.3 Putkimateriaalien mittaus.....	9
2.3 Suunnitelmat ja suunnitteluprosessi.....	10
2.3.1 Painehäviöiden mitoitusperusteet ja laskuesimerkkejä.....	12
2.3.2 Suunnitelmissa käytettyjä taulukoita ja kaavoja.....	13
3 PATTERNISEINÄ.....	14
3.1 Laboratoriotyön tarkoitus.....	14
3.2 Laboratoriotyön suorittaminen.....	15
3.3 Suunnitelmat ja suunnitteluprosessi.....	16
4 KESKIPAKOPUMPPU.....	17
4.1 Laboratoriotyön tarkoitus.....	17
4.2 Laboratoriotyön suorittaminen.....	19
4.3 Suunnitelmat ja suunnitteluprosessi.....	21
LÄHTEET.....	23
LIITTEET	

1 JOHDANTO

LVI-laboratoriotyöt ovat hyvä tapa opettaa tuleville LVI-alan asiantuntijoille käytäntöä. Niissä opiskelijat pääsevät harjoittelemaan eri laitteitten käsittelyä. Laboratoriotöissä tehtävät mittaukset ja niistä tehtävät mittauspöytäkirjat pakottavat opiskelijat itse miettimään ja soveltamaan teorian tuntien oppeja.

Koska laboratoriotöillä on suuri merkitys opiskelijan oppimisen kannalta, niitä tulee aina kehittää, jotta niistä saadaan paras apu oppimiselle. Tässä opinnäytetyössä suunnittelen uudelle kampukselle tulevia laitteita, joilla opiskelijat tulevat tekemään mittauksia. Käyn myös läpi, miksi olen suunnitellut kyseiset laitteet juuri niin kun olen suunnitellut.

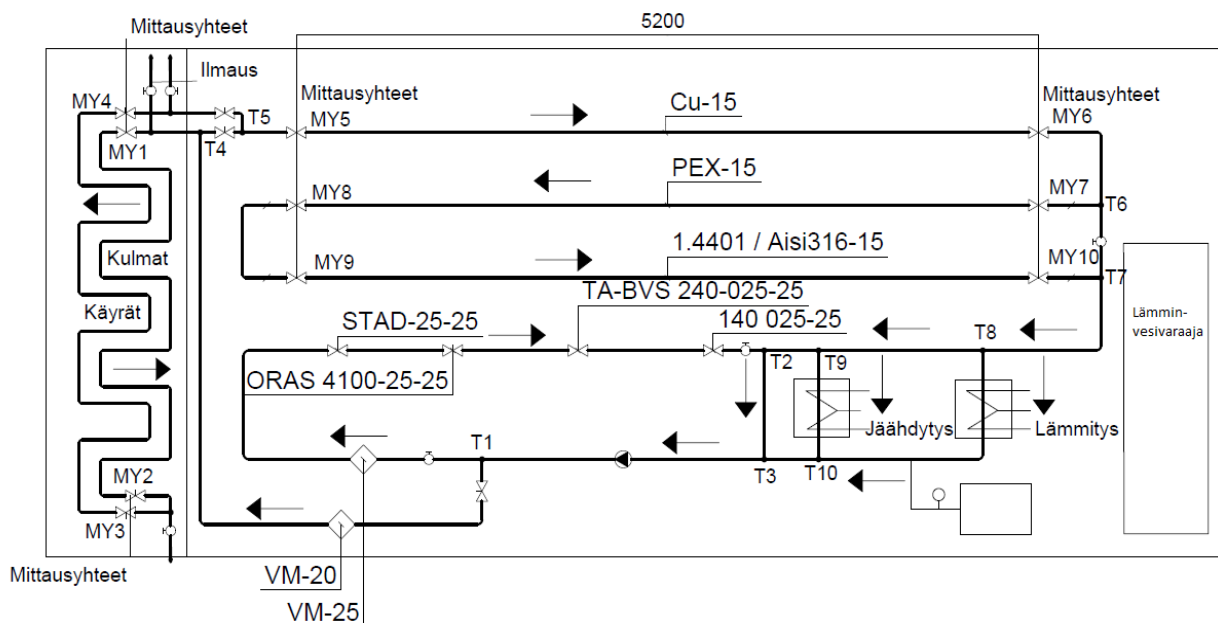
Laboratoriotyövälineissä tärkeintä on se, että ne antavat mahdollisimman tarkat mittaustulokset. Jos mittaustulokset eivät ole tarkkoja, niillä ei tee yhtään mitään. Mittaus tulee siis miettiä ja suunnitella mahdollisimman tarkaksi, jotta mittaustulokset on luotettavia ja niiden kanssa opiskelijat voivat laskea arvoja sekä vertailla niitä valmistajien käyrästöihin.

2 VIRTAAMASEINÄ

2.1 Laboratoriotyön tarkoitus

Virtaamaseinän tarkoituksena on opettaa opiskelijoille erilaisten putkimateriaalien, linjansäätöventtiilien erilaisuuksia painehäviöissä, sekä kulmien ja käyrien aiheuttamia kertavastusten mittaamista. Opiskelijoiden saamia mittaustuloksia vertaillaan sen jälkeen putkivalmistajien painehäviökäyrästöihin ja -taulukoihin. Laboratoriotyö koostuu kolmesta mittauksesta, joista on selitetty enemmän erillisissä alaotsikoissa.

”Putkivirtauksessa syntyy kahdenlaisia häviöitä: kitkahäviöitä ja kertahäviöitä. Kitkahäviöt syntyvät nesteen kitkasta ja kertahäviöitä syntyy mm. putken mutkissa, venttiileissä, virtaus poikkipinnan muutoksissa, virtauksessa säiliöön ja sieltä putkistoon sekä virtauksen haarautumisissa ja yhtymisissä.” (Metropolia 2009)



Kuva 1. Virtaamaseinän periaatekuva. Pumpun kaaviomerkin kohdalla 2 erilaista pumpppua rinnan kytkettynä.

2.2 Laboratoriotyön suorittaminen

Laboratoriotyö on tarkoitus suorittaa kolmena eri osana vaihdellen veden lämpötilaa huonelämpötilasta 20°C, suurin piirtein 60-70°C tienoille. Samalla virtausnopeutta muutetaan ja sen tyyppiä vaihdetaan laminaarisen ja reilusti turbulenttisen virtaaman välillä. Oppilaille annetaan töiden suorittamiseen alkuarvot, joiden mukaan opiskelijat säätävät systeemin mittausvalmiuteen. Alkuarvoja voi olla erilaisia, jolloin vältytään siltä, että kaikille opiskelijoille laboratoriotyö olisi täysin samanlainen. Täten myös laboratoriotyöstä saatuja tuloksia oppilaat eivät vain voi vaihtaa keskenään vaan jokaisella ollessa eri alkuarvot varmistaa sen, että laboratoriotyöstä tehtävä raportti on myös jokaisella erilainen.

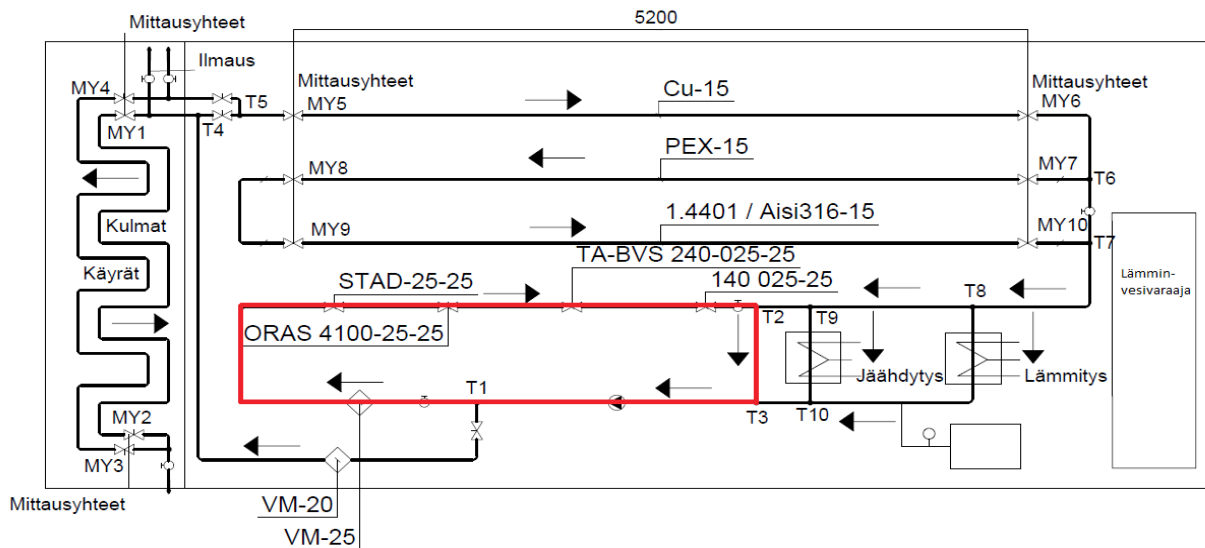
Laboratoriotyössä tulee olemaan kolme eri mittausta. Ensimmäisenä opiskelijat tulevat vertailemaan eri valmistajien linjansäätöventtiileitä ja vertailevat tuloksia valmistajien antamiin tietoihin. Toisena työnä on kulmien ja käyrien aiheuttamien kertavastushäviöiden mittaamista. Kolmantena mittauksena on eri putkimateriaalien kitkavastuskertoimien laskeminen. Näistä voidaan sitten tehdä mahdollisesti useampi lyhyt laboratoriotyö tai yksi pidempi, riippuen siitä mikä sopii parhaiten sen hetkiseen opetussuunnitelmaan.

Opiskelijat mittaavat painehäviöt sekä vertaavat niitä valmistajien käyrästöihin ja laskennalliseen tulokseen (Moodyn käyräston tai yhtälöiden avulla laskettuun). Kaikki mittaukset tullaan tekemään ainakin kahdella veden lämpötilalla. Pumpun paineenkorotuksen pitää riittää tuottamaan tarvittava tilavuusvirta, jota voitaisiin säätää taajuusmuuttajan, säätöventtiilin tai kierrätyksen avulla.

2.2.1 Linjansäätöventtiilien mittaus

Työn tehtävänä on mitata tilavuusvirrat linjansäätöventtiileistä ja verrata niitä toisiinsa, sekä kiinteän vesimittarin näyttämään kahdella erillisellä lämpötilalla. Virtaus tulee mittauksissa olemaan kokonaan turbulenttista, koska laminaarinen virtaama olisi niin pieni. Linjansäätöventtiileitä mittaessa virtausreitti kulkee punaisella merkittyä reittiä pitkin (Kuva 2). Tällöin pisteestä T1 alas lähtevä virtausreitti on kiinni. Pisteestä T2 oikealle lähtevää reittiä käytetään vain silloin kun vettä

tarvitsee joko lämmittää tai jäähdyttää. Mitatessa kyseinen reitti on kiinni. Linjansäätöventtiileitä mitattaessa, virtauksen ollessa esimerkiksi 0,2 l/s, kokonaispainehäviö virtausreitillä on 1036 Pa. Pienempi pumppu selviää pienistä linjansäätöventtiilien kuristuksista, mutta isommalla saadaan myös paine korotettua isompiin kuristuksiin.



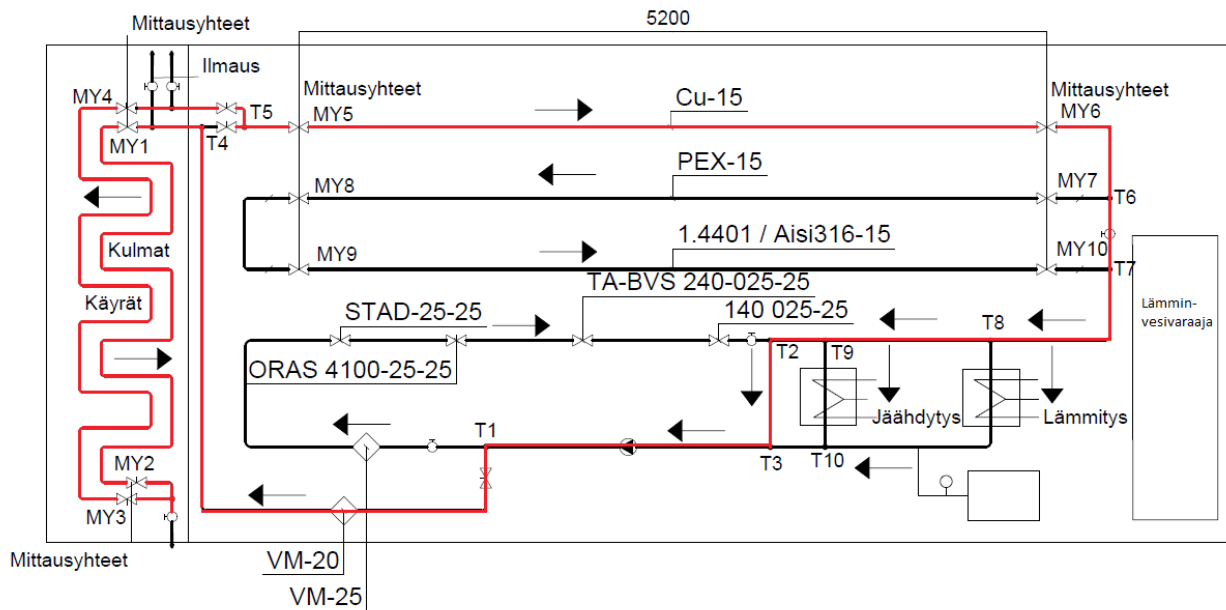
Kuva 2. Linjansäätöventtiileitä mitattaessa käytettävä virtausreitti (punainen)

2.2.2 Kulmien ja käyrien mittaus

Työn tehtävänä on mitata kertavastukset kahdessa kulmallisessa putkessa. Toisessa putkessa on jyrkkiä kulmia ja toisessa käyriä. Näistä mittauksista saatuja tuloksia opiskelijat vertaavat suoran kupariputken aiheuttamaan häviöön kPa/m. Tästä saadaan laskemalla selville yksittäiset kertavastusluvut. Mittauksissa käytetään kahta lämpötilaa ja kolmesta viiteen erilaista virtausnopeutta. Virtausnopeudet ovat kaikki turbulenttisella alueella.

Kulmia ja käyriä mitattaessa virtausreitti kulkee punaisella merkittyä reittiä pitkin (Kuva 3). Tällöin pisteestä T1 vasemmalle lähtevä virtausreitti on kiinni. Myös pisteiden T4 ja T5 välinen venttiili on kiinni. Virtausreitti kulkee tällöin vasemmalle pisteestä T4 kohti kulmien ja käyrien mittaamiseen tarkoitettua haaraa. Pisteestä T5 virtaus kulkee taas kuparisuora pitkin kohti pistettä T2. Ruostumattomasta teräksestä ja PEX-muovista tehdyt suorat ovat suljettuna pois virtausreitiltä.

Pisteistä T8 ja T9 alas lähtevä reittiä käytetään vain silloin jos nestettä tarvitse lämmittää tai jäähdyttää. Pisteestä T2 vasemmalle lähtevä reitti on myös suljettuna tässä mittauksessa. Kulmia ja käyriä mitattaessa, virtausnopeus vaihtelee 0,08-0,4 l/s, jolloin painehäviöt kyseiselle reitillä vaihtelevat 8-180 kPa välillä.



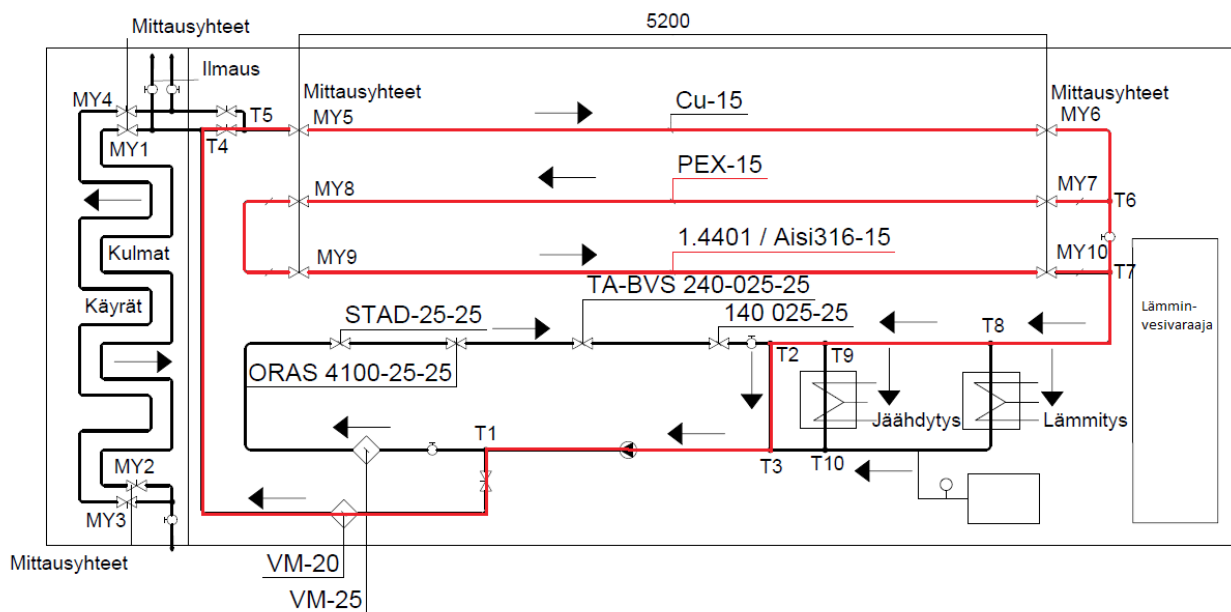
Kuva 3. Kulmia ja käyriä mitattaessa käytettävä virtausreitti (punainen)

2.2.3 Putkimateriaalien mittaus

Työn tehtävänä on selvittää eri putkimateriaalien kitkavastuskertoimet ja verrata niitä valmistajien antamiin tietoihin. Mittauksissa käytettävä pienin tilavuusvirta on selkeästi laminaarinen, jolloin Reynoldsin luku on noin 1000–1500. Suurin taas selkeästi turbulenttinen, jolloin Reynoldsin luku olisi reilusti yli 10 000. (Laiho 1991, 37)

Mittaukset suoritetaan vertaamalla putkisuorien päissä olevien mittausyhteiden antamia paine-eroja. Näistä saadaan sen jälkeen laskemalla putken aiheuttaman kitkavastuksen aiheuttama painehäviö kPa/m.

Putkimateriaaleja mitattaessa virtausreitti kulkee punaisella merkittyä reittiä pitkin (Kuva 4). Tällöin pisteestä T1 vasemmalle lähtevä virtausreitti on kiinni. Pisteiden T4 vasemmalle lähtevä reitti on suljettu. Virtausreitti kulkee tällöin oikealle pisteestä T4 kohti suorien mittaamiseen tarkoitettua haaraa. Pisteestä T5 ylöspäin kulkeva reitti on kiinni. Virtaus kulkee kuparisuoraa pitkin pisteeseen T6, mistä virtaus jatkaa matkaansa kohti PEX-muovista tehtyä suoraa kohti. Pisteiden T6 ja T7 välissä oleva venttiili on kiinni. Virtauksen kuljettua PEX-muovista tehdyn suoran päähän, virtaus palaa kohti pistettä T7. Tämä suora on tehty ruostumattomasta teräksestä. Pisteestä T7 neste virtaa kohti pistettä T2. Pisteistä T8 ja T9 alas lähteviä reittejä käytetään vain silloin jos nestettä tarvitse lämmittää tai jäähdyttää. Pisteestä T2 vasemmalle lähtevä reitti on myös suljettuna putkimateriaaleja mitattaessa. Putkimateriaaleja mitattaessa, virtausnopeus vaihtelee 0,08-0,4 l/s, jolloin painehäviöt kyseisellä reitillä vaihtelevat 8-118 kPa välillä.



Kuva 4. Putkimateriaaleja mitattaessa käytettävä virtausreitti (punainen)

2.3 Suunnitelmat ja suunnitteluprosessi

Virtaamaseinän suunnitteluprosessi alkoi niin että tein piirroksia mitkä sitten tilaaja hyväksyi. Virtaamaseinän suunnittelussa ollaan otettu ideoita Metropolian ammattikorkeakoulun uudesta virtaamaseinästä. Ensimmäiset versiot olivatkin melko tarkkoja kopioita heidän seinästään, mutta

ajan kuluessa sitä muokattiin minun ja opettajien mielestä järkevämpään muotoon. Esimerkkinä muutoksista voidaan mainita vaikka suorien mittausreitteihin tehdyt muutokset. Metropolialle suunnitellussa virtaamaseinässä jokaisella putkimateriaalilla on oma virtausreitinsä, joka taas tuo siihen sellaisen hankaluuden, että jokainen virtausreitti tarvitse tasapainottaa, ettei vesi virtaisi vain helpointa reittiä pitkin. Suunnittelemassani virtaamaseinässä tämä on taas ratkaistu siten, että virtausreitit ovat kytketty sarjaan, joka aiheuttaa sen, että jokaisessa suorassa putkessa on varmasti sama virtaama.

Suunnitelmassa virtausnopeudet ovat suunniteltu mahdollisimman korkealle, jolloin kitkapainehäviö voidaan määrittää esimerkiksi kymmenellä eri tilavuusvirralla ja verrata tuloksia valmistajien mitoituskäyrästäöihin tai -taulukoihin. Tällöin saadaan laaja mittausalue, jolloin myös tulokset tarkentuvat. Laajalla mittausalueella on helppo huomata tulosten yhteneväisyys riippumatta siitä, kuinka pieni tai iso virtaus on. Mittaustarkkuutta on suunnitelmassa lisätty myös suunnittelemalla suorat putket mahdollisimman pitkäksi. Mahdollisimman pitkä putki aiheuttaa suuremman painehäviön kuin lyhyempi putki. Tämä johtuu putkessa olevan kitkapainehäviön aiheuttamasta painehäviöstä jonka yksikkö on kPa/m. Metrien kasvaessa aiheutuva painehäviö kasvaa siinä suhteessa kuinka suuri painehäviön arvo per metri on.

Virtaamaseinän virtausta muutetaan säätämällä pumppua ja virtausreittejä ohjataan systeemissä sijaitsevilla sulkuventtiileillä. Kun mitataan suorita putkia vesi virtaa vain suorien putkien alueelta takaisin pumpulle. Kun taas mitataan linjansäätöventtiilejä virtaus kulkee vain linjansäätöventtiilien läpi. Kulmia mitattaessa kulmakäyrähaara avataan ja vesi virtaa ulommaista reittiä takaisin pumpulle. Tällöin saadaan kulmakäyrähaaroille tarvittava vertausarvo mittaamalla ylimmän suoran kupariputken aiheuttama painehäviö kPa/m. Tällöin taas ruostumattoman teräksen, sekä PEX muoviputken reitit suljetaan.

Laboratoriotöissä käytettävät eri lämpötilat aiheutetaan lämmitys- ja jäähdytyspatterien avulla. Systeemin vieressä sijaitseva sähköllä lämmitettävä lämminvesivaraaja tuottaa systeemille vaadittavan lämpimän veden ja jäähdytysvetenä käytetään kylmää vesijohtovettä.

Virtausseinä vaatii toimiakseen kaikilla mittausalueilla 2 erillistä pumppua. Virtausnopeudet ovat testattaessa systeemin laminaarinopeuksia sekä linjansäätöventtiileitä niin pieniä, että isompi pumppu ei toimi niin tehokkaasti kuin sen pitäisi. Jokaisella pumpulla on oma käyttöalueensa, jolloin kyseinen pumppu toimii tehokkaasti. Laminaarinopeuksia testattaessa painehäviöt ovat todella pieniä, jolloin iso pumppu ei toimi sen optimaalisella käyttöalueella ja pumpun moottorin hyötysuhde laskee. Kulmakäyrähaaraa testattaessa aiheutuu niin suuria painehäviöitä, että pienemmän pumpun moottorilla ei riitä tehot tuottamaan riittävän suurta painetta että systeemi tulisi toimimaan.

2.3.1 Painehäviöiden mitoitusperusteet ja laskuesimerkkejä

Systeemin painehäviöt johtuvat kerta- ja kitkavastusten aiheuttamista painehäviöistä. Kertavastusten arvot on katsottu rakentamismääräyskokoelmasta D1 taulukko 6 (Liite 7). Kitkavastusten arvot on katsottu kupariputken osalta rakentamismääräyskokoelma D1 kuvasta 4 (Liite 4), PEX-muoviputken osalta Uponorin PEX-käsikirjasta (Liite 5) ja Geberitin ruostumattoman teräksen osalta Geberitin product information taulukosta (Liite 6).

Mitoitus tehtiin Excel-ohjelmalla. Liitteessä 8 mitoitus on esitetty minimivirtaamalla, virtauksen ollessa laminaarinen. Liitteessä 9 mitoitus on esitetty maksimivirtaamalla, virtauksen ollessa turbulентinen. Taulukkojen arvot on joko laskettu matemaattisesti tai ne on katsottu taulukoista. Mitoitusvirtaama on laskettu Reynoldsin luvun kaavan avulla, määrittämällä ensin sopiva Reynoldsin arvo. Putkikoko on määritetty niin, että systeemissä aiheutuvat painehäviöt pysyvät kohtuullisissa rajoissa (pienimmän putkikoon ollessa 15 mm painehäviö on korkeimmillaan 400 kPa, mutta kun putkikoko nostetaan 18 mm painehäviö on korkeimmillaan 180 kPa). Putkikokoa nostettaessa voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti nostaa myös virtaaman suuruutta, jos se todetaan tarpeelliseksi. Nopeus on laskettu jakamalla tilavuusvirta virtausputken kohtisuoralla poikkipinta-alalla. Painehäviö metriä kohden on katsottu putkimateriaalin omasta taulukosta (Liitteet 4-6) ja se on kerrottu kyseisen putken pituudella, jolloin on saatu kokonaispainehäviö virtauksen kulkemalla matkalla. Kertavastusten aiheuttamat painehäviöt on laskettu katsomalla taulukosta (Liite 7)

kyseisen mutkan aiheuttama kertavastusluku, jonka jälkeen se on kerrottu virtaavan aineen tiheys kertaa virtaavan aineen nopeus potenssiin kaksi jaettuna kahdella. Kaavat on kirjoitettu selvemmin seuraavassa väliotsikon alla.

Systeemissä painehäviö vaihtelee minimivirtaaman 8,2 kPa, maksimivirtaaman 180 kPa. Kaikista suurimmat painehäviöt tulevat kun mitataan kulmien ja käyrien aiheuttamia kertavastuksia. Kulmia ja käyriä on 14 kappaletta, aiheuttaen minimissään $21 \cdot 103 \text{ Pa} = 2163 \text{ Pa}$ ja maksimissaan $21 \cdot 2564 \text{ Pa} = 53844 \text{ Pa}$. Näitten aiheuttama painehäviö on siis noin kolmasosa kokonaispainehäviöstä. Kun mitataan vain suoria putkia painehäviöt laskevat 7,9 kPa ja 118,7 kPa. Linjansäätöventtiileitä mitattaessa systeemin painehäviö on vain noin 1 kPa. Tämä on silloin jos linjansäätöventtiilit ovat täysin auki. Suuren vaihtelun takia systeemille on valittu kaksi pumppua, jotta se toimii hyvin kaikilla painehäviöillä.

2.3.2 Suunnitelmissa käytettyjä taulukoita ja kaavoja

$$kPa = R \cdot m$$

kPa = kokonaispainehäviö
 R = painehäviö metriä kohden (kPa/m)
 m = virtaavan veden kulkema matka putkessa (m)

$$Re = \frac{v \cdot dn}{\nu}$$

Re = Reynoldsin luku
 v = virtaavan aineen keskimääräinen virtausnopeus (m/s)
 ν = kinemaattinen viskositeetti (m^2/s)
 dn = virtausputken hydraulinen halkaisija (m) (pyöreille putkille dn = ds)

$$Pd = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2$$

Pd = putkivirtauksen dynaaminen paine (Pa)
 v = virtaavan aineen keskimääräinen virtausnopeus (m/s)

$$v = \frac{q}{A}$$

q = tilavuusvirta (m^3/s)
 A = virtausputken kohtisuora poikkipinta-ala (m^2)

$$\Delta p = \zeta \cdot [(\rho \cdot v^2) / 2]$$

Δp = kertavastusten aiheuttama painehäviö (Pa)
 ζ = kertavastuskerroin
 ρ = virtaavan aineen tiheys (kg/m³)
 v = nopeus (m/s)

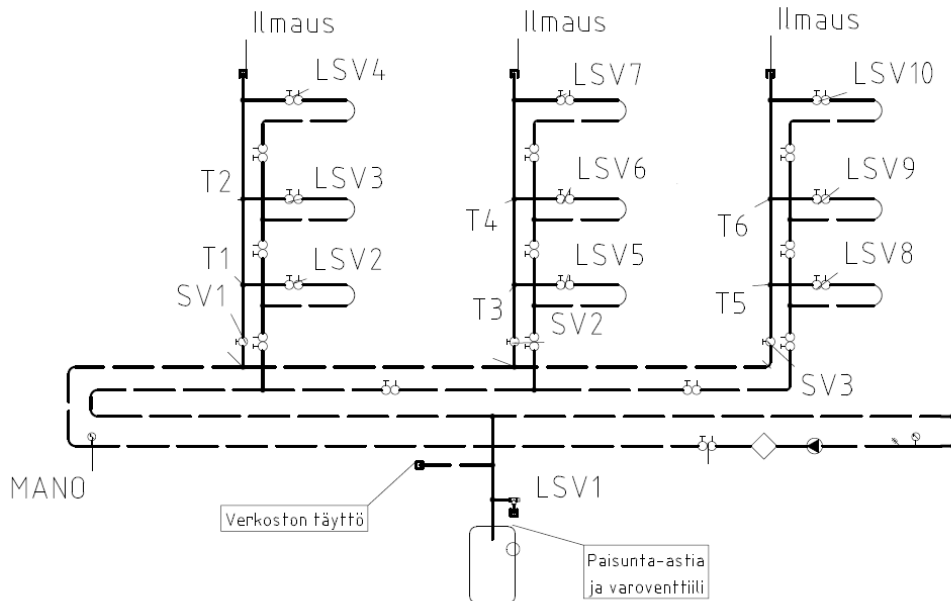
3 PATTERNINÄ

3.1 Laboratoriotyön tarkoitus

Patteriseinän tarkoituksena on opettaa linjastojen tasapainottamista. Tähän laboratoriotyöhön tullaan käyttämään niin sanottua pienoismallia kerrostalosta, jossa jokaiselle rappukäytävälle on oma nousulinjansa ja joka kerroksella oma patterinsa joka tasapainotetaan. Työn tavoite on oppia perussäädön periaate säätämällä olemassa oleva lämmitysverkosto tasapainoon. Pattereita simuloidaan systeemissä venttiileillä.

Patterisysteemin tasapainottaminen eli patteriverkoston perussäätö tarkoittaa toimenpidettä, jolla säädetään pattereiden ja pattereiden nousulinjojen virtaamat oikeaan arvoon, jotta jokainen patteri toimisi suunnitellulla tavalla. Samalla taataan että jokaisessa simuloidussa kerroksessa on sama lämpötila (Motiva 2017).

Venttiilien säädöillä pyritään saamaan sama painehäviö jokaiselle reitille. Kuvassa 6 on hahmotettu systeemin ”vaikeimman” (eniten painehäviötä) ja ”helpoimman” (vähiten painehäviötä) reittien kulku. Kun jokaisessa reitissä on sama painehäviö ja jokaisen nousulinjan patterit ovat samansuuruisia, niissä kulkee sama virtaama. Systeemissä on myös mahdollista simuloida erikokoisia pattereita virtaamia vaihtelemalla.



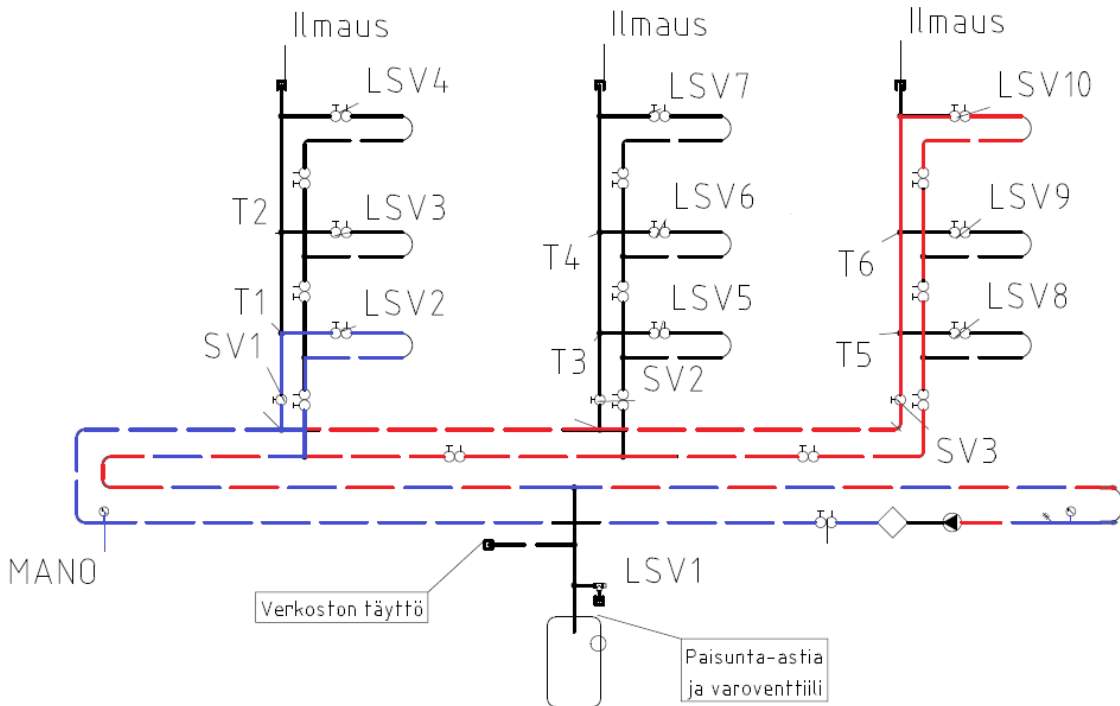
Kuva 5. Patteriseinän periaatekuva.

3.2 Laboratoriotyön suorittaminen

Työ tehdään tulevaan LVI-laboratorioon suunnitellulla lämmitysverkostomallilla, jossa on kolme nousulinjaa, jossa kaikissa 3 patteria. Nousulinjat alkavat pisteistä SV1-3 ja pattereita demonstroidaan venttiileillä LSV2-10. Patteriverkostoihin on lisätty linjasäätöventtiilejä aiheuttamaan painehäviötä, jolloin saadaan aikaan isompi painehäviö ja sen avulla saadaan simuloitua tilanne että kyseessä olisi pidempi putki. Näistä linjasäätöventtiileistä mitataan myös patterikohtaiset virtaamat. Lisäksi painemittauksia varten on asennettu tarvittavat mittausyhteet. Opiskelijat tulevat työssä säätämään patteriventtiileinä käytettävät linjasäätöventtiilit niin, että systeemi saadaan tasapainoon.

Työssä mitataan jokaisen linjan virtaama ja painehäviö linjasäätöventtiilin yli. Opiskelijat kirjaavat mittauksista saadut tulokset, jonka jälkeen työn ohjaaja antaa halutut virtaamat. Verkoston linjat säädetään keskenään käyttämällä linjojen säätöventtiilejä ja tarvittaessa rungon linjasäätöä. Kun linjat on säädetty, säädetään linjojen patterit keskenään säätämällä patteriventtiilejä ja tarvittaessa

linjan säätöventtiiliä. Patterit ja linjat pyritään säätämään +/- 10% tarkkuudella oikeaan virtaamaan. Patteriverkoston kokonaispainehäviöksi on laskettu 40 kPa.



Kuva 6. Punaisella merkitty “vaikein” reitti (eniten painehäviötä) ja sinisellä “helpoin” (vähiten painehäviötä)

3.3 Suunnitelmat ja suunnitteluprosessi

Patteriseinän suunnitteluprosessin aloitin jo viime kesänä ollessani koululla ohjatussa harjoittelussa. Tavoitteenani oli muokata vanhalla kampuksella oleva patterien tasapainotussysteemi uudelle kampukselle sopivaksi. Suunnitteluprosessi alkoi sillä, että tein systeemistä periaatekuvat siitä, miten sen on tarkoitus toimia. Uusissa kuvissa käytin apunani vanhoja kuvia ja muokkasin niitä sen verran, että ne olisivat mahdollisimman nykyaikaiset ja sopisivat uudelle kampukselle paremmin. Kuvien piirtämiseen käytin MagiCad ohjelmistoa, jonka avulla kuvat on helppo piirtää.

Kuvien ollessa valmiita alkoi systeemin mitoitus työ. Mitoitus työssä käytin apunani vanhoja lämmönjakojärjestelmät kurssin materiaaleja. Käytin kurssilla käytettyä Excel pohjaa mitoituksessa. Mitoitustaulukko löytyy liitteestä 10. Mitoitus alkoi sillä, että annoin jokaiselle patterille (simuloitu linjansäätöventtiileillä) tehon. Tehon avulla sain laskettua mitoitusvirtaaman $\Phi = q \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot c$ kaavan avulla johtamalla. Kaavassa $\Phi =$ Teho eli lämpövirta (kW), $q =$ Virtausnopeus (dm^3/s), $\Delta T =$ Veden lämpötilaero (K), $\rho =$ Tiheys (kg/dm^3), $c_p =$ Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]. Jokaisen patterin tehoksi on määritetty 0,5 kW. Veden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti on katsottu veden ominaisuustaulukosta. Mitoitusvirtaaman avulla taas saa laskettua ja katsomalla taulukosta (Liite 4) loput mitoitukseen vaadittavat arvot. Putkikoot valitsin niin kuin ne olivat vanhaan systeemiin suunniteltu. Vanhassa systeemissä oli sellainen ongelma, että pattereita simuloivat venttiilit menivät tukkoon ja putkimateriaali ei ollut niin hyvää kun se olisi voinut olla. Suunnittelin siis systeemille paremmat venttiilit ja putkimateriaali vaihdettiin teräksestä kupariksi. Tasapainotuksen tein käsin jokaiselle venttiilille niin, että jokaisella reitillä muodostuu yhtä iso painehäviö. Reitillä tarkoitetaan virtauksen kulkemista pumpulta venttiilille (pumppu \rightarrow LSV2-10). Esimerkkinä jos reitiltä pumppu-LSV2 aiheutuu 3 Pa painehäviötä ja reitillä pumppu-LSV8 6 Pa, tarvitsee ensimmäisen reitin painehäviötä venttiilillä nostaa $6 - 3 = 3$ Pa isommaksi kuin toisella reitillä.

4 KESKIPAKOPUMPPU

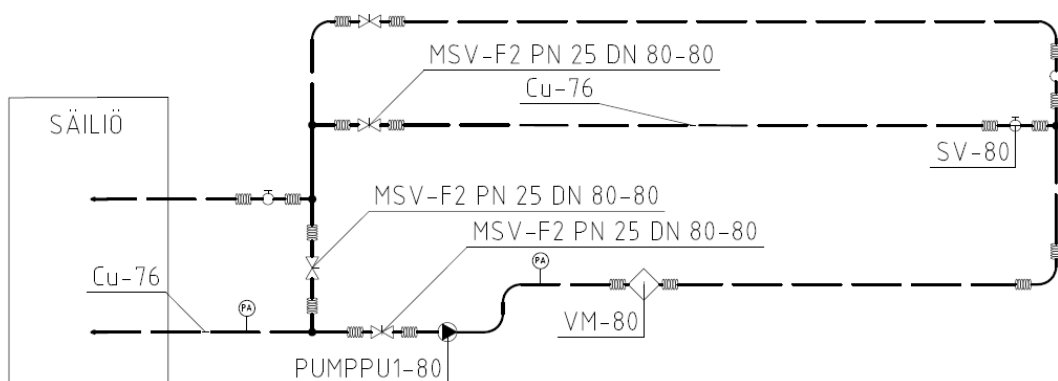
4.1 Laboratoriotyön tarkoitus

Keskipakopumppu laboratoriotyön tarkoitus on opettaa opiskelijoille pumppujen ominaiskäyrien määrittämistä. Opiskelijat mittaavat systeemissä kulkevaa vesivirtausta ja anturien ilmoittamia paine-eroja, joiden avulla he piirtävät omat mitoituskäyränsä pumpulle ja vertaavat sitä valmistajan antamiin tietoihin.

Keskipakopumppu toimii niin, että pumpun akselille tuotu mekaaninen energia muunnetaan pumpattavan nesteen liike- ja paine-energiaksi pumpun juoksupyörässä. Keskipakopumpun pääosat ovat juoksupyörä, spiraali sekä pumpun akseli tiivisteineen ja laakerointineen. Pumpattava neste

syötetään keskipakopumpun imuaukkoon, juoksupyörän keskelle. Juoksupyörä on kiinnitetty pumpun akseliin, jota pyörittää sähkömoottori tai jokin muu voimanlähde. Imuaukosta neste virtaa juoksupyörän siipien muodostamia siipisolia pitkin juoksupyörän ulkokehälle. Pyörimisliikkeen vaikutuksesta juoksupyörän ulkokehälle työntynyt neste saa kehän tangentin suuntaisen nopeuskomponentin ja nesteen liike-energiaa muuntuu osittain paine-energiaksi. Juoksupyörän jälkeen liike-energiaa muunnetaan edelleen paine-energiaksi johtolaitteen eli spiraalin avulla, jossa nesteen virtausta hidastetaan. Jatkuva virtaus pumpun läpi muodostuu, kun juoksupyörän kehältä poistuva neste aiheuttaa juoksupyörän keskiosaan alipaineen, jolloin imuputken alkupäässä vaikuttavan paineen vaikutuksesta virtaa uutta nestettä kehältä poistuvan nesteen tilalle. Keskipakopumpun pesän on oltava täynnä vettä, jotta pumppu toimisi. (Wirzenius 1978, 52.)

Työ suoritetaan niin, että pumppua kuristetaan erillisen linjansäätöventtiilin avulla. Alussa pumppu on täysin kuristamaton ja sitä aletaan kuristamaan askel askeleelta. Kun pumppua kuristetaan, virtaus pienenee ja paineantureiden antamat paineet muuttuvat. Erillisestä mittataulusta saadaan sitten pumpun sen hetkinen paineenkorotus ja pumpun roottorin pyörimisnopeus. Pumpun teho löytyy taas pumpun kyljessä olevasta tietolaatasta. Näistä mittauksista ja tiedoista laskemalla opiskelijat saavat määritettyä pumpulle ominaiskäyrän ja sitä sitten voidaan verrata valmistajan omaan ominaiskäyrään.



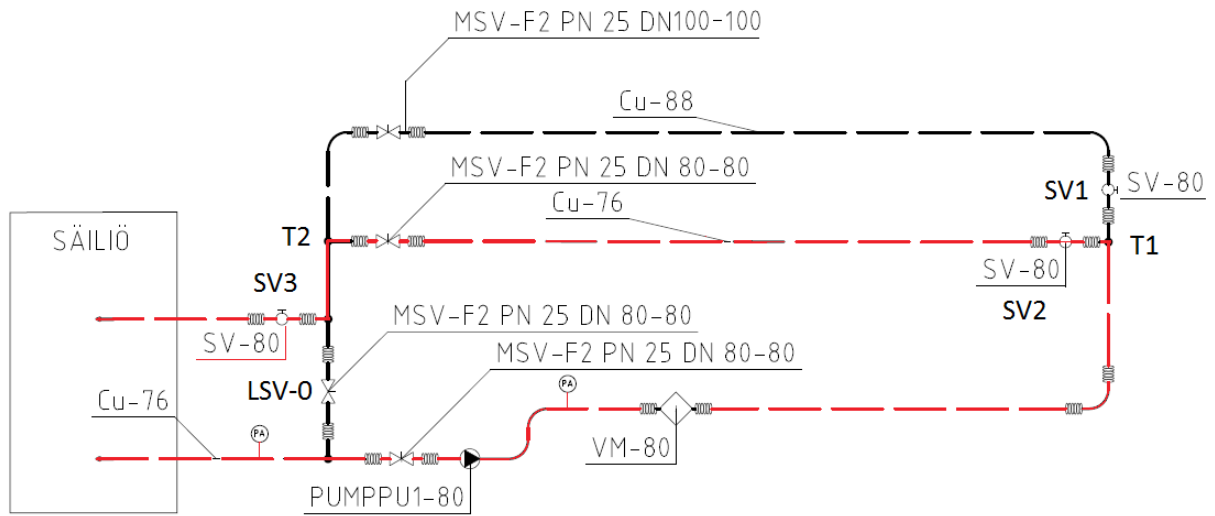
Kuva 7. Keskipakopumpun periaatekuva

4.2 Laboratoriotyön suorittaminen

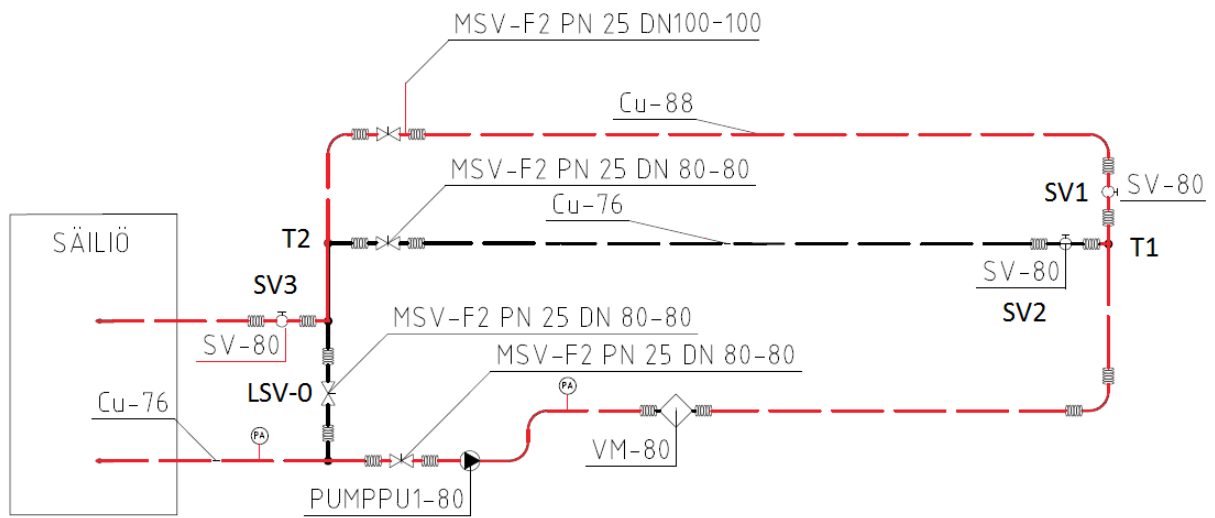
”Työn tavoitteena on selvittää mittausten perusteella taajuusmuuttajakäyttöisen keskipakopumpun suoritusarvot ja verrata niitä valmistajan ilmoittamiin tietoihin sekä määrittää putkiston ominaiskäyrä eri tilanteissa” (Sirén 2016). Laboratoriotyö suoritetaan uudelle kampukselle tulevalla keskipakopumppusysteemillä, missä keskipakopumppu imee säiliöstä vettä. Tämän jälkeen vesi palautetaan takaisin säiliöön tai samaa vettä kierrätetään uudestaan systeemin läpi.

Työssä pumpun kierrosnopeutta tullaan säätämään taajuusmuuttajalla ja se toimii myös pumpun moottorin ylikuormitussuojana. Pumppua tullaan ajamaan neljällä eri pyörimisnopeudella. Kuristus on alussa mahdollisimman pieni ja sitä aletaan lisäämään tasaisesti kunnes saavutetaan maksimikuristus. Opiskelijat kirjaavat näistä saatavat tulokset ylös. Kun yksi kierrosnopeus on tutkittu kaikilla mahdollisilla kuristuksilla, pienennetään pumpun kierrosnopeutta ja mitataan uudella kierrosnopeudella kuristuksen vaikutukset systeemiin. Tämä toistetaan vielä kahdella eri kierrosnopeudella. Neljällä kuristusasennuksella tulee siis kuusitoista erillistä mittausarvoa, joiden avulla opiskelijat voivat tehdä teho- ja hyötysuhdelaskelmat sekä määrittää pumpulle ominais- ja laitoskäyrät.

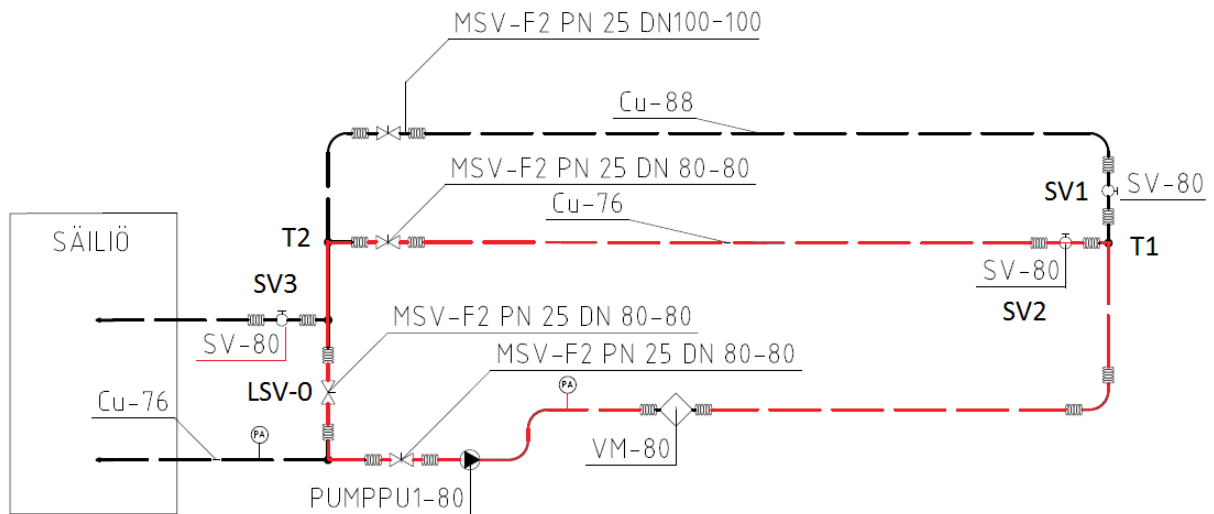
Laboratoriotyö tullaan suorittamaan neljällä eri virtausreitillä. Reiteillä 1 ja 2 neste virtaa pumpulta säiliöön ja säiliöstä takaisin systeemiin. Reiteillä 3 ja 4 taas neste ohittaa säiliön, palaten suoraan takaisin systeemiin. Eri reiteillä verrataan eri kokoisten putkikokojen ja systeemin sulkemisen vaikutusta virtaukseen, sekä keskipakopumpun toimintaan. Kun virtaus ei kulje säiliön läpi systeemistä tulee suljettu, eikä avoin. Kun taas putkikokoja muutetaan, mutta tilavuusvirta pysyy samana, virtausnopeus ja painehäviö muuttuu. Kuvassa 8 SV1 ja LSV-0 ollessa suljettuja, virtaus kulkee pienemmän (76 mm) putken kautta takaisin säiliön kautta pumpulle. Kuvassa 9 SV2 ja LSV-0 ollessa suljettuja, virtaus kulkee isomman (88 mm) putken kautta takaisin säiliön kautta pumpulle. Näissä systeemi on avoin ja vesi kiertää avoimen säiliön kautta takaisin systeemiin. Kuvissa 10 ja 11 on muuten sama järjestely kuin kuvissa 8 ja 9, paitsi että systeemi on kokonaan suljettu ulkoisilta tekijöiltä.



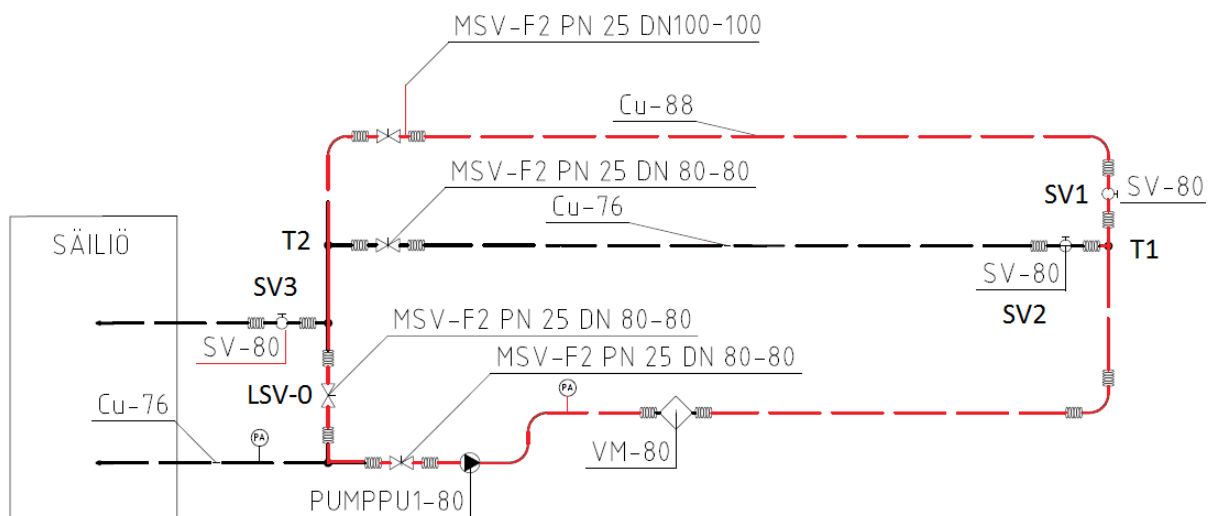
Kuva 8. Keskipakopumppu virtausreitti 1 (merkitty punaisella).



Kuva 9. Keskipakopumppu virtausreitti 2 (merkitty punaisella).



Kuva 10. Keskipakopumppu virtausreitti 3 (merkitty punaisella).



Kuva 11. Keskipakopumppu virtausreitti 4 (merkitty punaisella).

4.3 Suunnitelmat ja suunnitteluprosessi

Keskipakopumpun suunnitteluprosessi alkoi vanhan kampuksen keskipakopumppu laboratoriotyöhön tutustumalla. Otin mallia vanhan kampuksen laboratoriotyövälineestä ja muokkasin sitä uudelle kampukselle sopivaksi ja lisäen työn tilaajan toivomat muutokset

suunniteltavaan systeemiin. Uuteen systeemiin ei tullut vanhassa systeemissä ollutta kirkasta putkea ja uuteen systeemiin lisättiin uusia mahdollisia virtausreittejä.

Ensimmäisenä tarvitsi piirtää laboratoriotyöhön käytettävästä mittausvälineestä oikeanlainen periaatekuva, jonka sitten työn tilaaja hyväksyi. Piirtämisessä käytin MagiCad ohjelmistoa, jolla piirtäminen oli helppoa.

Olen suunnitellut pumpun kierrosnopeutta säätämisen samalla tavalla kuin vanhassa laboratoriotyössä eli taajuusmuuttajalla. Se toimii samalla myös pumpun moottorin ylikuormitussuojana. Ainakin ensimmäisellä käynnistyskerralla tulee testata, kuinka suurilla kierroksilla pumppua voidaan käyttää kuristuksien ollessa mahdollisimman pienet, ja sen mukaan tulisi suunnitella laboratoriotöiden suoritus.

LÄHTEET

Viittaus: (Metropolia 2009)

Lähdeluettelo: Metropolia Wiki 2009. Koneautomaatio - 4. Putkivirtaus

Viittaus: (Laiho 1991, 37)

Lähdeluettelo: Laiho, E-M. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet.

Viittaus: (Liite 7)

Lähdeluettelo: Rakentamismääräyskokoelma D1 2007. Taulukko 6.

Viittaus: (Liite 4)

Lähdeluettelo: Rakentamismääräyskokoelma D1 2007. Kuva 4.

Viittaus: (Liite 5)

Lähdeluettelo: PEX-putken mitoitusdiagrammi.

Viittaus: (Liite 6)

Lähdeluettelo: Geberit Mapress Stainless Steel. Product information – Pressure loss table.

Viittaus: (Sirén 2016)

Lähdeluettelo: Sirén, P. 2016. Keskipakopumppu laboratoriotyöohje.

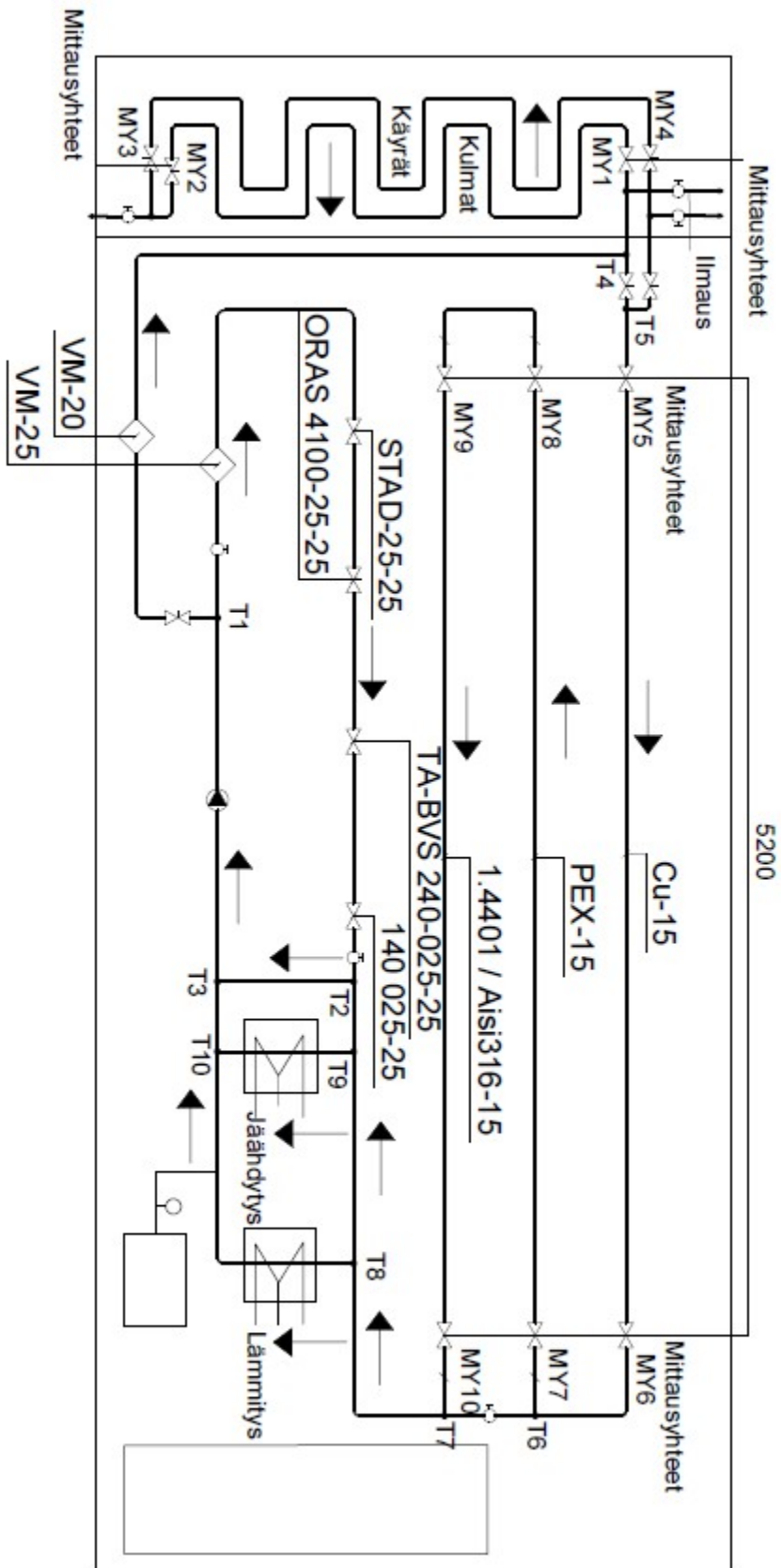
Viittaus: (Motiva 2017)

Lähdeluettelo: Motiva 2017. Patteriverkosto kuntoon – ohjeita patteriverkoston perussäädön tilaajalle

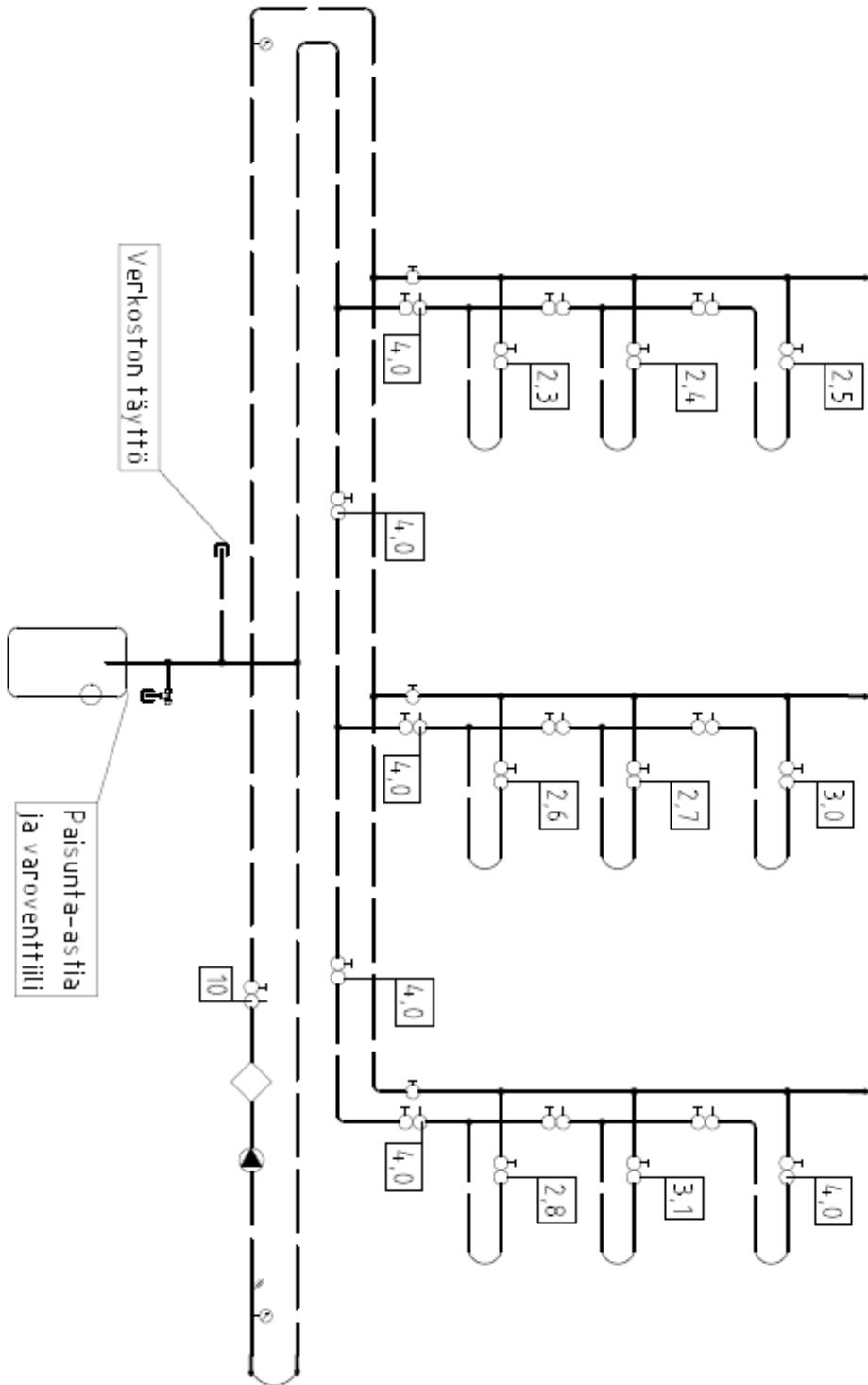
Viittaus: (Wirzenius 1978, 52.)

Lähdeluettelo Wirzenius, Allan. 1978. Keskipakopumput.

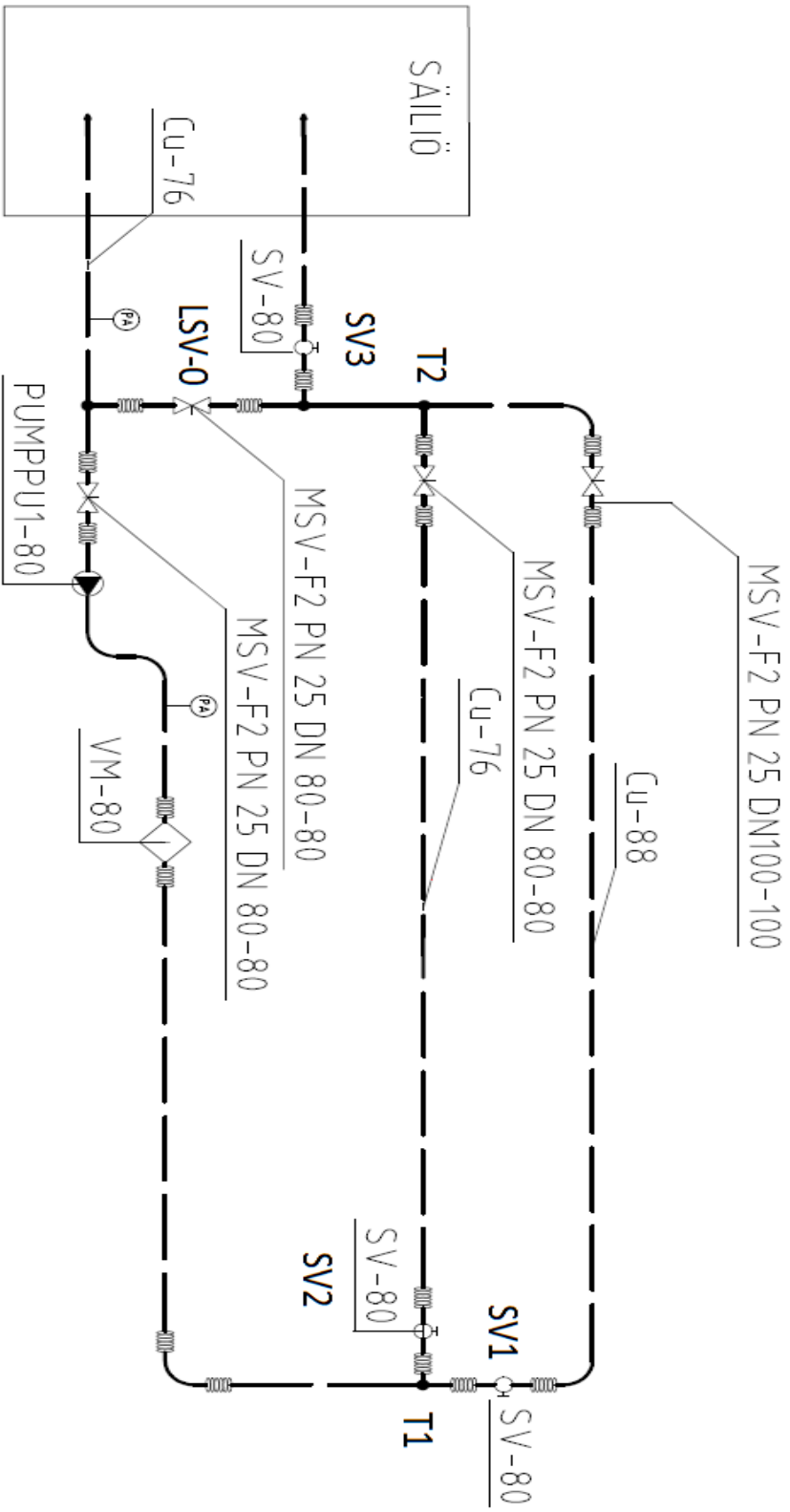
LIITE 1



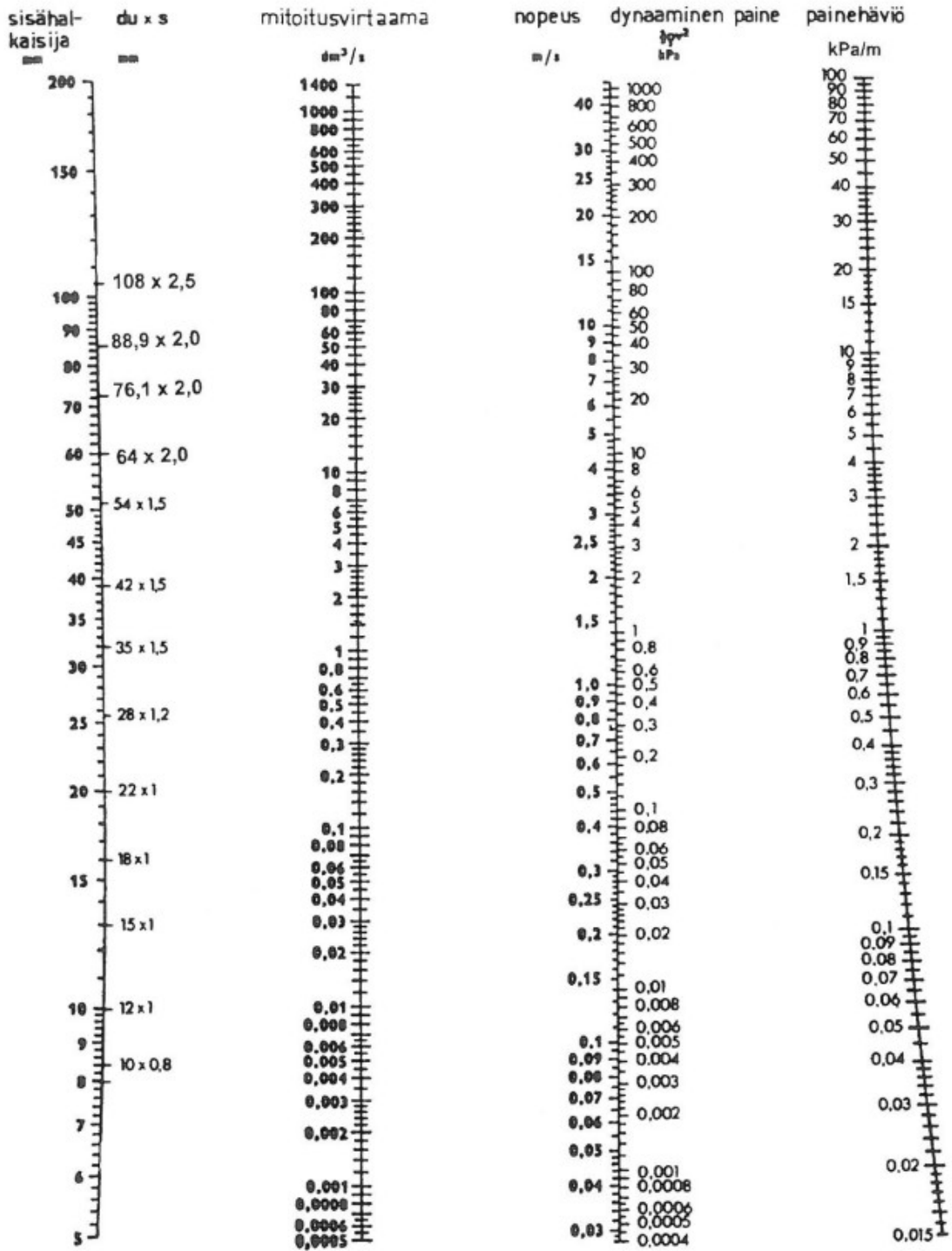
LIITE 2



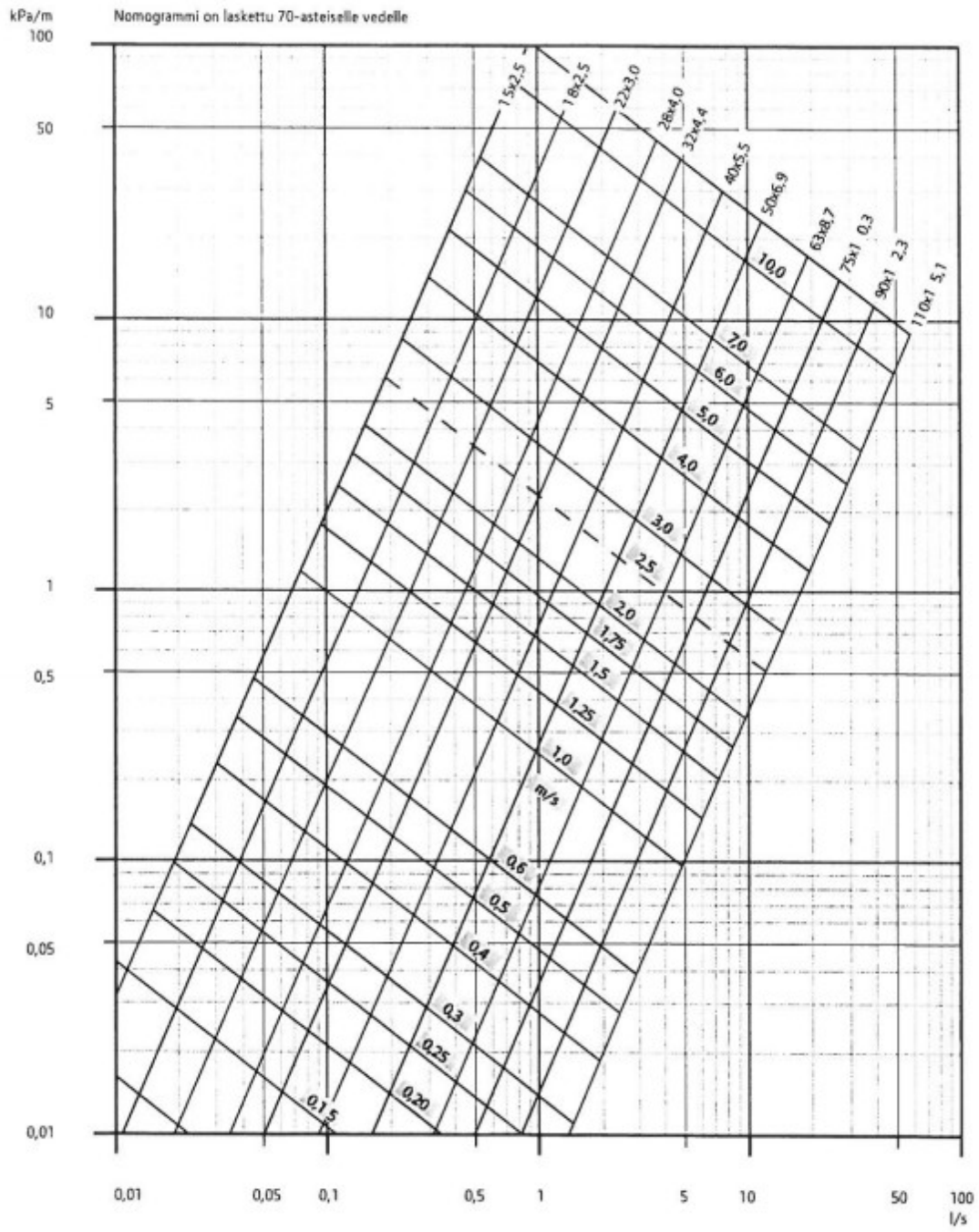
LIITE 3



LIITE 4



LIITE 5



LIITE 6

da [mm] di [mm] V̇ [l/s]	12 x 1.0 10.0		15 x 1.0 13.0		18 x 1.0 16.0		22 x 1.2 19.6		28 x 1.2 25.6		35 x 1.5 32.0	
	v [m/s]	R [Pa/m]	v [m/s]	R [Pa/m]	v [m/s]	R [Pa/m]	v [m/s]	R [Pa/m]	v [m/s]	R [Pa/m]	v [m/s]	R [Pa/m]
0.01	0.1	51	0.1	15								
0.02	0.3	161	0.2	47								
0.03	0.4	321	0.2	93	0.1	35						
0.04	0.5	524	0.3	152	0.2	57	0.1	22				
0.05	0.6	769	0.4	222	0.2	83	0.2	32				
0.06	0.8	1054	0.5	304	0.3	114	0.2	44				
0.07	0.9	1378	0.5	396	0.3	148	0.2	57	0.1	16		
0.08	1.0	1739	0.6	499	0.4	186	0.3	71	0.2	20		
0.09	1.1	2138	0.7	612	0.4	228	0.3	87	0.2	25		
0.10	1.3	2572	0.8	735	0.5	274	0.3	105	0.2	30	0.1	10
0.15	1.9	5264	1.1	1494	0.7	554	0.5	211	0.3	60	0.2	21
0.20			1.5	2482	1.0	917	0.7	348	0.4	98	0.2	34
0.25			1.9	3690	1.2	1360	0.8	515	0.5	144	0.3	50
0.30					1.5	1878	1.0	710	0.6	198	0.4	69
0.35					1.7	2471	1.2	932	0.7	260	0.4	90
0.40					2.0	3136	1.3	1181	0.8	328	0.5	113
0.45							1.5	1456	0.9	404	0.6	139
0.50							1.7	1756	1.0	487	0.6	168
0.55							1.8	2082	1.1	577	0.7	198
0.60							2.0	2433	1.2	673	0.7	231
0.65							2.2	2809	1.3	776	0.8	266
0.70							2.3	3210	1.4	885	0.9	303
0.75							2.5	3634	1.5	1001	0.9	343
0.80							2.7	4083	1.6	1123	1.0	384
0.85							2.8	4556	1.7	1252	1.1	428
0.90							3.0	5052	1.7	1387	1.1	474
0.95							3.1	5573	1.8	1528	1.2	522
1.00							3.3	6116	1.9	1676	1.2	572
1.05							3.5	6684	2.0	1829	1.3	624
1.10							3.6	7274	2.1	1989	1.4	678
1.15							3.8	7888	2.2	2155	1.4	734
1.20							4.0	8524	2.3	2327	1.5	792
1.25							4.1	9184	2.4	2505	1.6	852
1.30							4.3	9867	2.5	2689	1.6	914
1.40							4.6	11301	2.7	3074	1.7	1044

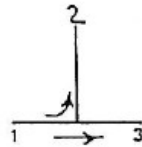
KERTAVASTUSKERTOIMIEN ξ ARVOJA

VESIJOHDOT

Taulukko 6. (RakMK:D1)
Putkiyhteiden ja putkistovarusteiden kertavastuskertoimet.

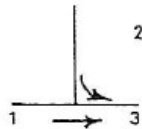
Kertavastus	Kertavastuskerroin	Huomautuksia
Käyrä	0,5, kun $r/d \leq 3$ 0,0 kun $r/d > 3$	r = kaarevuussäde
Kulma	1,0	d = sisähalkaisija

Haara



2,0, kun virtaus 1→2

0,0, kun virtaus 1→3



1,0, kun virtaus 2→3

0,0, kun virtaus 1→3

Kertavastuskerroin liittyy haarakohdan jälkeiseen virtausnopeuteen.

Putkistovarusteiden kertavastuskertoimina käytetään käsikirjoista saatavia tai valmistajien ilmoittamia arvoja.

LIITE 8

Laminaari 1250RE

Laminaaritaulukko

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Johto-osa	q_v	d	v	R	R	l	Δp_λ	$\Sigma \zeta$	p_{dyn}	Δp_c	Δp_{tot}
	dm^3/s	ds	m/s	kPa/m	Pa/m	m	Pa		Pa	Pa	Pa
PUMPPU-T1 (LSV)	0,065	25	0,13	0,017	17	0,871	14,8		9		14,8
PUMPPU-T1 (K/P)	0,08	25	0,16	0,024	24	0,871	20,9		13		20,9
LSVTESTAUSHAAR											
THAARA1-SV1	0,065	25	0,13	0,017	17	0,317	5,4		9		5,4
SV1-VM1	0,065	25	0,13	0,017	17	0,322	5,5		9		5,5
VM1-LSV1	0,065	25	0,13	0,017	17	1,953	33,2	1	9	9	42,0
LSV1-LSV2	0,065	25	0,13	0,017	17	0,706	12,0		9		12,0
LSV2-LSV3	0,065	25	0,13	0,017	17	0,716	12,2		9		12,2
LSV3-LSV4	0,065	25	0,13	0,017	17	0,730	12,4		9		12,4
LSV4-SV2	0,065	25	0,13	0,017	17	0,068	1,2		9		1,2
SV2-T2	0,065	25	0,13	0,017	17	0,068	1,2		9		1,2
T2-T3	0,065	25	0,13	0,017	17	0,714	12,1		9		12,1
T3-PUMPPU	0,065	25	0,13	0,017	17	0,866	14,7		9		14,7
KULMAKÄYRÄHAAR											
T1-LSV5	0,08	20	0,25	0,08	80	0,153	12,2		32		12,2
LSV5-VM2	0,08	20	0,25	0,08	80	1,052	84,2	0,5	32	16	100,4
VM2-T4	0,08	20	0,25	0,08	80	3,556	284,5	0,5	32	16	300,7
T4-ILMAUS1	0,08	15	0,45	0,26	260	0,323	84,0		103		84,0
I1-MITTAYHDE1	0,08	15	0,45	0,26	260	0,131	34,1		103		34,1
MY1-MY2	0,08	15	0,45	0,26	260	5,241	1362,7	14	103	1436	2798,7
MY2-TYHJENNYS	0,08	15	0,45	0,26	260	0,278	72,3	1	103	103	174,9
TV-MY3	0,08	15	0,45	0,26	260	0,276	71,8		103		71,8
MY3-MY4	0,08	15	0,45	0,26	260	5,716	1486,2	7	103	718	2204,2
MY4-I2	0,08	15	0,45	0,26	260	0,275	71,5		103		71,5
I2-LSV6	0,08	15	0,45	0,26	260	0,333	86,6		103		86,6
LSV6-T5	0,08	15	0,45	0,26	260	0,161	41,9	0,5	103	51	93,1
PUTKIMATERIAALI											
T4-LSV7	0,08	15	0,45	0,26	260	0,116	30,2		103		30,2
LSV7-T5	0,08	15	0,45	0,26	260	0,071	18,5		103		18,5
T5-MY5	0,08	15	0,45	0,26	260	0,341	88,7		103		88,7

Laminaari 1250RE

MY5-MY6	0,08	15	0,45	0,26	260	5,200	1352,0		103		1352,0
MY6-T6	0,08	15	0,45	0,26	260	0,854	222,0	0,5	103	51	273,3
T6-PEX	0,08	15	0,45	0,26	260	0,200	52,0		103		52,0
PEX-MY7 (PEX)	0,08	13	0,7	0,38	380	0,200	76,0		245		76,0
MY7-MY8 (PEX)	0,08	13	0,7	0,38	380	5,200	1976,0		245		1976,0
MY8-CU (PEX)	0,08	13	0,7	0,38	380	0,179	68,0		245		68,0
CU-SS	0,08	15	0,45	0,26	260	0,754	196,0	1	103	103	298,6
SS-MY9 (SS)	0,08	16	0,6	0,499	499	0,179	89,3		180		89,3
MY9-MY10 (SS)	0,08	16	0,6	0,499	499	5,200	2594,8		180		2594,8
MY10-CU (SS)	0,08	16	0,6	0,499	499	0,200	99,8		180		99,8
CU-T7	0,08	15	0,45	0,26	260	0,197	51,2		103		51,2
T6-LSV8	0,08	15	0,45	0,26	260	0,207	53,8		103		53,8
LSV8-T7	0,08	15	0,45	0,26	260	0,205	53,3		103		53,3
T7-T8	0,08	20	0,25	0,08	80	1,247	99,8	0,5	32	16	116,0
T8-T9	0,08	20	0,25	0,08	80	1,134	90,7		32		90,7
T9-T2	0,08	20	0,25	0,08	80	0,348	27,8		32		27,8
T8-T10	0,08	20	0,25	0,08	80	1,873	149,8	0,5	32	16	166,1
T9-T10	0,08	20	0,25	0,08	80	0,721	57,7		32		57,7
T10-T3	0,08	20	0,25	0,08	80	0,348	27,8		32		27,8

Tarvittava putkimateriaali	CU-15	CU-22	CU-28	PEX-15	SS-15
	20,879	10,432	7,331	5,579	5,579
Tilavuus	3,69	3,96	4,51	0,99	0,99
Yhteensä	44,22	metriä			
	13,15	litraa			
Suorat putket	7902	Pa			
Kuuma	7920				
Käyrät kylmä	8166	Pa			
Käyrät kuuma	8184	Pa			
Putkiston tilavuus	13,15	dm ³			
Virtausnopeus	0,07				
Nostokorkeus	8	kPa			
Nostokorkeus	0,83	m			

LIITE 9

Turbulenttitauluk

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Johto-osa	q_v	d	v	R	R	l	Δp_λ	$\Sigma \zeta$	p_{dyn}	Δp_ζ	Δp_{kok}
	dm ³ /s	ds	m/s	kPa/m	Pa/m	m	Pa		Pa	Pa	Pa
PUMPPU-T1 (LSV)	0,2	25	0,41	0,13	130	0,871	113,2		83		113,2
PUMPPU-T1 (K/P)	0,4	25	0,82	0,45	450	0,871	392,0		332		392,0
LSVTESTAUSHAAR											
THAARA1-SV1	0,2	25	0,41	0,13	130	0,317	41,2		83		41,2
SV1-VM1	0,2	25	0,41	0,13	130	0,322	41,9		83		41,9
VM1-LSV1	0,2	25	0,41	0,13	130	1,953	253,9	1	83	83	337,0
LSV1-LSV2	0,2	25	0,41	0,13	130	0,706	91,8		83		91,8
LSV2-LSV3	0,2	25	0,41	0,13	130	0,716	93,1		83		93,1
LSV3-LSV4	0,2	25	0,41	0,13	130	0,730	94,9		83		94,9
LSV4-SV2	0,2	25	0,41	0,13	130	0,068	8,8		83		8,8
SV2-T2	0,2	25	0,41	0,13	130	0,068	8,8		83		8,8
T2-T3	0,2	25	0,41	0,13	130	0,714	92,8		83		92,8
T3-PUMPPU	0,2	25	0,41	0,13	130	0,866	112,6		83		112,6
KULMAKÄYRÄHAAR											
T1-LSV5	0,4	20	1,27	1,4	1400	0,153	214,2		811		214,2
LSV5-VM2	0,4	20	1,27	1,4	1400	1,052	1472,8	0,5	811	406	1878,5
VM2-T4	0,4	20	1,27	1,4	1400	3,556	4978,4	0,5	811	406	5384,1
T4-ILMAUS1	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,323	1776,5		2564		1776,5
I1-MITTAYHDE1	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,131	720,5		2564		720,5
MY1-MY2	0,4	15	2,26	5,5	5500	5,241	28825,5	14	2564	35902	64727,1
MY2-TYHJENNYS	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,278	1529,0	1	2564	2564	4093,4
TV-MY3	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,276	1518,0		2564		1518,0
MY3-MY4	0,4	15	2,26	5,5	5500	5,716	31438,0	7	2564	17951	49388,8
MY4-I2	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,275	1512,5		2564		1512,5
I2-LSV6	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,333	1831,5		2564		1831,5
LSV6-T5	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,161	885,5	0,5	2564	1282	2167,7
PUTKIMATERIAALI											
T4-LSV7	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,116	638,0		2564		638,0
LSV7-T5	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,071	390,5		2564		390,5
T5-MY5	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,341	1875,5		2564		1875,5
MY5-MY6	0,4	15	2,26	5,5	5500	5,200	28600,0		2564		28600,0

MY6-T6	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,854	4697,0	0,5	2564	1282	5979,2
T6-PEX	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,200	1100,0		2564		1100,0
PEX-MY7 (PEX)	0,4	13	3	7	7000	0,200	1400,0		4500		1400,0
MY7-MY8 (PEX)	0,4	13	3	7	7000	5,200	36400,0		4500		36400,0
MY8-CU (PEX)	0,4	13	3	7	7000	0,179	1253,0		4500		1253,0
CU-SS	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,754	4147,0	1	2564	2564	6711,4
SS-MY9 (SS)	0,4	16	2,5	3,136	3136	0,179	561,3		3125		561,3
MY9-MY10 (SS)	0,4	16	2,5	3,136	3136	5,200	16307,2		3125		16307,2
MY10-CU (SS)	0,4	16	2,5	3,136	3136	0,200	627,2		3125		627,2
CU-T7	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,197	1083,5		2564		1083,5
T6-LSV8	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,207	1138,5		2564		1138,5
LSV8-T7	0,4	15	2,26	5,5	5500	0,205	1127,5		2564		1127,5
T7-T8	0,4	20	1,27	1,4	1400	1,247	1745,8	0,5	811	406	2151,5
T8-T9	0,4	20	1,27	1,4	1400	1,134	1587,6		811		1587,6
T9-T2	0,4	20	1,27	1,4	1400	0,348	487,2		811		487,2
T8-T10	0,4	20	1,27	1,4	1400	1,873	2622,2	0,5	811	406	3027,9
T9-T10	0,4	20	1,27	1,4	1400	0,721	1009,4		811		1009,4
T10-T3	0,4	20	1,27	1,4	1400	0,348	487,2		811		487,2

Tarvittava putkimateriaali	CU-15	CU-22	CU-28	PEX-15	SS-15
	20,88	10,43	7,33	5,58	5,58
Tilavuus	3,69	3,96	4,51	0,99	0,99
Yhteensä	44,22	metriä			
	13,15	litraa			
Suorat putket	118297 Pa				
Kuuma	118728				
Käyrät kylmä	179561 Pa				
Käyrät kuuma	179992 Pa				
Putkiston tilavuus	13,15	dm ³			
Virtausnopeus	0,20				
Nostokorkeus	180	kPa			
Nostokorkeus	18,35	m			

LIITE 10

U-huone ja nousulinja 1

Johto-osa	Teho	q_v	q_v	DN	v	R	l	Δp_k	$\Sigma \zeta$	P_{dyn}	Δp_c	Δp	$\Delta p_{kok.}$
	kW	dm ³ /s	dm ³ /h	mm	m/s	Pa/m	m	Pa	-	Pa	Pa	Pa	Pa
Pumppu - VM	9	1,125	4050	32	2,3	18	0,14	2,5	-	2645		11	14
VM-LSV1	9	1,125	4050	32	1,4	7	0,25	1,7	-	980		6	8
LSV1-MANO	9	1,125	4050	32	1,4	7	4,58	32,1	-	980		52	84
MANO-NL1	9	1,125	4050	32	1,4	7	1,75	12,3	1,4	980	###		1384
													0
NL1-SV1	3	0,375	1350	20	1,19	9	0,13	1,2	-	708			1
T2-LSV4	1	0,125	450	15	0,62	3,5	1,02	3,6	0,7	192	135		138
T2-LSV3	1	0,125	450	15	0,62	3,5	0,33	1,1	-	192			1
T1-T2	2	0,25	900	20	0,8	5	0,63	3,1	0,3	320	96		99
T1-LSV2	1	0,125	450	15	0,62	3,5	0,33	1,1	-	192			1
SV1-T1	3	0,375	1350	20	1,19	9	0,38	3,4	0,3	708	212		216
													0
NL1-NL2	6	0,75	2700	25	1,46	7	2,03	14,2	0,3	1066	320		334
NL2-SV2	3	0,375	1350	20	1,19	9	0,14	1,2	-	708			1
T4-LSV7	1	0,125	450	15	0,62	3,5	1,02	3,6	0,7	192	135		138
T4-LSV6	1	0,125	450	15	0,62	3,5	0,33	1,1	-	192			1
T3-T4	2	0,25	900	20	0,8	5	0,63	3,1	0,3	320	96		99
T3-LSV5	1	0,125	450	15	0,62	3,5	0,33	1,1	-	192			1
SV2-T3	3	0,375	1350	20	1,19	9	0,38	3,4	0,3	708	212		216
													0
NL2-NL3	3	0,375	1350	20	1,19	9	1,89	17,0	0,3	708	212		229
NL3-SV3	3	0,375	1350	20	1,19	9	0,12	1,1	0,7	708	496		497
T6-LSV10	1	0,125	450	15	0,62	3,5	1,02	3,6	0,7	192	135		138
T6-LSV9	1	0,125	450	15	0,62	3,5	0,33	1,1	-	192			1
T5-T6	2	0,25	900	20	0,8	5	0,63	3,1	0,3	320	96		99
T5-LSV8	1	0,125	450	15	0,62	3,5	0,33	1,1	-	192			1
SV3-T5	3	0,375	1350	20	1,19	9	0,38	3,4	0,3	708	212		216

Yhteensä

3919

Tarvit.	DN15	DN20			
putkimater	5,037	5,301	metriä		
	DN25	DN32			
	2,027	6,714	metriä		
Tarv.osat	20-15-20	20-15-15			
T-haarat	6	6			
	32-20-25	25-20-20			
	2	2			
	32-25-32	25_10_25			
	1	2			
Tarv. Osat	DN15	DN20	DN25	DN32	
90 kulmat	24	2	-	6	
LSV:t	DN15	DN20	DN25	DN32	
	12	7	1	1	
SV:t	DN15	DN20	DN25	DN32	
	9	-	1	1	
Mittausyht	DN15	DN20	DN25	DN32	
	3	7	1	-	
LSV	1	6,5	kPa	10	Säätö
Painehäviöt	2	3,597	kPa	2,3	Säätö
	3	3,467	kPa	2,4	Säätö
	4	3,367	kPa	2,5	Säätö
	5	3,486	kPa	2,6	Säätö
	6	3,356	kPa	2,7	Säätö
	7	3,256	kPa	3	Säätö
	8	3,236	kPa	2,8	Säätö
	9	3,137	kPa	3,1	Säätö
	10	3	kPa	4	Säätö
Yht.	18,421	kPa			
Pumppu					
Virtausnop	1,13				
Nostokork	40	kPa			
Nostokork	4,11	m			
Putk. Til	21,7	dm3			