



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Harri Nuora

SULJETTUIJEN PUTKIVERKOSTOJEN MITOITUSPERUSTEIDEN  
TARKASTELU

Tekniikka Pori  
Energiatekniikan koulutusohjelma

2008

# SULJETTUJEN PUTKIVERKOSTOJEN MITOITUSPERUSTEIDEN TARKASTELU

Nuora, Harri  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Huhtikuu 2008  
Sandberg, Esa  
UDK: 628.24, 696.1  
Sivumäärä: 89

Asiasanat: mitoituskriteeri, optimointi, kokonaistaloudellinen mitoitus

---

Suomessa eri putkiverkostojen mitoittamiseen ei ole julkaistu yleispäteviä ohjeita tai määräyksiä. Kirjallisuudessa on julkaistu lähinnä ohjeellisia mitoituskriteerejä, joilla eri verkostot tulisi mitoittaa. Verkostoja mitoitetaankin usein osittain tuntuman perusteella, eikä tiedetä miten valittu mitoituskriteeri vaikuttaa verkoston äänitekniisiin asioihin, säädettävyyteen ja pumppauskustannuksiin.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli laatia työn tilaajalle Insinööritoimisto AX-LVI Oy:lle mitoitustaulukoita eri verkostoja varten. Mitoitustaulukoiden laatimiseksi työssä tutkittiin putkiverkostojen kokonaistaloudellista mitoittamista. Kokonaistaloudellisessa mitoittamisessa huomioidaan verkoston investointikustannukset, pumppauskustannukset, äänitekniikka ja säädettävyyden.

Investointi- ja pumppauskustannusten optimointia varten työssä esitettiin laskenta-kaavat ja Excel-laskentaohjelma. Äänitekniikkaa ja säädettävyyttä tutkittiin pääasiassa kirjallisuuden perusteella. Verkostojen perussäädettävyyteen liittyen tehtiin mittauksia, joilla tarkasteltiin nykyaikaisen tuotemallipohjaisen suunnitteluohjelman painehäviölaskennan tarkkuutta. Mitoituksen vaikutusta investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannuksiin tutkittiin todellisen malliverkoston avulla. Malliverkoston sovellettiin investointi- ja pumppauskustannuksien optimointiin perustuvaa mitoitusta.

Tutkimuksen perusteella putkiverkostot, joille asetetaan korkeita vaatimuksia äänitekniikan ja säädettävyyden osalta, tulee mitoittaa väljästi. Muissa tapauksissa voidaan soveltuvin osin käyttää investointi- ja pumppauskustannuksien optimointiin perustuvaa mitoitusta.

Verkostojen mitoittamiseen tullaan varmasti tulevaisuudessa kiinnittämään enemmän huomioita sekä jatkuvasti kallistuvien putkimateriaalien myötä että energianäkökulmasta. Jo nykyäänkin tilaajat ovat määritelleet insinööritoimistoille omia mitoituskriteerejä, joilla tilaajan putkiverkostot pitää mitoittaa.

# REVIEW OF SIZING CRITERIA IN CLOSED PIPING SYSTEMS

Nuora, Harri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy Technology

April 2008

Sandberg, Esa

UDC: 628.24, 696.1

Number of Pages: 89

Key Words: sizing criteria, optimizing, economical dimensioning

---

In Finland there are not any published guidelines or regulations for dimensioning piping systems. In literature there are mostly directive sizing criteria on which the system should be dimensioned. Systems are mostly dimensioned partly intuitively and it is not known how the selected sizing criterion affects the sound engineering matters, adjustability and pumping costs of the system.

The aim of this thesis was to prepare sizing tables for different systems for the work's client, AX-LVI Consulting Ltd. The economical dimensioning of a piping system was examined for preparing the sizing tables. Investment costs, pumping costs, sound engineering and adjustability are taken into account in economical dimensioning.

Formulas and the Excel spreadsheet program were introduced in this thesis for the optimization of investment and pumping costs. Sound engineering and adjustability were studied from literature. Measurements related to the basic adjustability of the system were carried out. The pressure drop calculations of the modern product model program were examined with measurements. The effects of sizing on investment, pumping and total costs were studied with the help of a real model system. Measuring based on the optimizing of the investment and pumping costs was applied on the model system.

On the grounds of the study, piping systems which are set with high requirements on sound engineering and adjustability should be dimensioned widely. In other cases, when applicable, dimensioning based on investment and pumping costs may be used.

Dimensioning systems will most likely get more attention in the future because of the increasing cost of the piping materials and because of the energy aspects. Already in these days subscribers have defined their own sizing criteria on how the engineering offices should size their piping systems.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tutkimuksen tausta.....	6
1.2	Tutkimuksen tavoite.....	6
1.3	Tutkimuksen toteutus.....	7
2	SULJETTUJEN PUTKIVERKOSTOJEN MITOITUSPERUSTEET.....	9
2.1	Nesteen virtaus suljetuissa kiertopiireissä.....	9
2.1.1	Suoran putken kitkapainehäviö.....	9
2.1.2	Putkiosien painehäviö.....	11
2.1.3	Kitkavastusten riippuvuus putkikoosta.....	11
2.1.4	Kertavastusten riippuvuus putkikoosta.....	12
2.2	Putkiverkoston mitoitusperiaatteet.....	13
2.3	Putkihalkaisijan määräytyminen.....	15
2.4	Putkistojen investointi- ja pumppauskustannusten optimointi.....	17
2.4.1	Menetelmä 1.....	18
2.4.2	Menetelmä 2.....	20
2.4.3	Lähtöarvot ja Excel-laskentaohjelma.....	23
3	SÄÄDETTÄVYYS JA ÄÄNITEKNIikka.....	33
3.1	Putkiverkoston perussäädettävyys.....	33
3.1.1	Esisäätömenetelmä.....	33
3.1.2	Iteratiivinen menetelmä.....	34
3.1.3	Suhteellinen menetelmä.....	35
3.1.4	Kompensointimenetelmä.....	35
3.1.5	Paine-eromenetelmä.....	36
3.1.6	Moduulimaisen verkostorakenteen edut perussäädössä.....	37
3.1.7	Putkimitoituksen vaikutus säädettävyYTEEN.....	38
3.1.8	Toimintalämpötilojen vaikutus säädettävyYTEEN.....	38
3.2	Äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus.....	39
3.3	Toimintaolosuhteiden muutosten vaikutukset.....	42
4	JULKAISTUJA MITOITUSOHJEITA.....	47
4.1	Lämmitysverkostot.....	47
4.2	Jäähdytysverkostot.....	50
4.3	Mitoituskäytännöt ulkomailla.....	51
5	SUUNNITTELIJOIDEN JA URAKOITSIJOIDEN KOKEMUKSIA.....	53
5.1	Suunnittelijakysely.....	53
5.2	Urakoitsijakysely.....	54

6	MALLIVERKOSTOJEN TARKASTELU .....	55
6.1	Satakunnan ammattikorkeakoulun LVI-laboratorion simulointiverkosto .....	55
6.2	Patteriverkosto .....	59
6.3	IV-jäähdytysverkosto .....	62
6.3.1	Mitoitus 1 .....	64
6.3.2	Mitoitus 2 .....	65
6.3.3	Mitoitus 3 .....	66
6.3.4	Kustannusten vertailu .....	70
7	MITOITUSTAULUKOIDEN LAADINTA .....	74
7.1	Lämmitysjärjestelmät .....	74
7.2	Jäähdytysjärjestelmät .....	75
7.3	MagiCadin käyttö .....	76
7.3.1	Käytettävät putkisarjat ja venttiilit .....	77
7.3.2	Virtaavan nesteen tiedot .....	79
7.3.3	Mitoituskriteerit .....	79
7.3.4	Järjestelmämääritykset .....	80
8	TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	82
9	SUUNNITTELUSUOSITUKSET .....	86
	LÄHTEET .....	87
	LIITTEET .....	90

## LIITELUETTELO

LIITE 1 Menetelmä 1 kaavat johdettuina

LIITE 2 Menetelmä 2 kaavat johdettuina

LIITE 3 Kyselylomake suunnittelijoille

LIITE 4 Kyselylomake urakoitsijoille

LIITE 5 LVI-laboratorion simulointilaitteiston tasopiirustukset, painehäviölaskelmat, mittauspöytäkirjat ja vesivirtamittarin kalibrointitodistus

LIITE 6 Mitoituskriteerin 1 massaluettelo ja painehäviölaskelma

LIITE 7 Mitoituskriteerin 2 massaluettelo ja painehäviölaskelma

LIITE 8 Mitoituskriteerin 3 massaluettelo ja painehäviölaskelma

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Nykyaikaiset tuotemallipohjaiset suunnitteluohjelmat ovat mahdollistaneet suljettujen putkiverkostojen helpon mitoituksen ja tasapainotuksen. Suunnitteluohjelmien mitoitus perustuu laskennalliseen mitoitukseen eli käytännössä tarkkaan painehäviölaskentaan. Suunnittelijan harteille jää kuitenkin tilanteeseen sopivimman mitoituskriteerin valitseminen, jonka perusteella suunnitteluohjelma mitoittaa putkiverkoston.

Alan kirjallisuudessa on julkaistu ohjeellisia mitoituskriteerejä, joilla eri verkostot tulisi mitoittaa, mutta ne eroavat melko paljon toisistaan lähteestä riippuen. Verkostoja mitoitetaan usein osittain tuntuman perusteella, eikä tiedetä miten valittu mitoituskriteeri vaikuttaa verkoston äänitekniisiin asioihin, säädettävyyteen ja pumppauskustannuksiin.

Verkostoja mitoitettaessa pitäisi ottaa huomioon rakennuksen käyttötarkoitus ja mahdollisesti muuntojoustavuus. Esimerkiksi asuinrakentamisessa on huomioitava erityisesti äänitekniset asiat sekä verkoston hyvä säädettävyys, kun taas teollisuudessa ääniteknisillä asioilla ei välttämättä ole suurta painoarvoa. Oikealla putkiverkoston mitoituksella päästään kokonaistaloudelliseen ratkaisuun.

Työn tilaaja AX-LVI Oy tekee monipuolista suunnittelua julkis-, asuin- ja liikerakentamisen sektoreille sekä teollisuudelle. Yrityksestä työn ohjaajana toimii Rakennus-LVI-yksikön yksikönjohtaja diplomi-insinööri Urpo Koivula.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksessa on tarkoitus laatia työn tilaajalle mitoitustaulukoita erilaisia käyttökohteita varten, joista suunnittelija voi valita suunniteltavaan kohteeseen

sopivimman. Mitoitustaulukoita laadittaessa otetaan huomioon seuraavat käyttökohteen kannalta tärkeät asiat; ääni, investointi- ja pumppauskustannukset sekä säädettävyyden.

### 1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus aloitetaan putkivirtauksesta aiheutuvien virtausvastusten tarkastelulla. Käytännön sovelluksia silmällä pitäen tutkimuksessa esitetään virtausvastusten riippuvuus putkikoosta. Seuraavaksi tutkitaan putkiverkostojen kokonaistaloudellisen mitoittamisen periaatteita ja millä eri tavoin putkihalkaisija voidaan määrittää.

Kokonaistaloudellisen mitoittamisen yhtenä osana ovat investointi- ja pumppauskustannukset. Tutkimuksessa esitetään laskentamenetelmät putkiverkoston investointi- ja pumppauskustannuksien optimoimiseksi. Työn tilaajalle laaditaan erillinen Excel-taulukkolaskentaohjelma, jotta laskentamenetelmiä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Laskentaohjelma sisältää myös suoran putken kitkapainehäviölaskennan.

Säädettävyyden ja äänitekniikka ovat investointi- ja pumppauskustannuksien lisäksi merkittäviä kokonaistaloudellisen mitoituksen kannalta. Säädettävyyden osalta tutkimuksessa esitetään eri perussäätömenetelmät, moduulimaisen verkostorakenteen edut perussäädössä sekä valittujen toimintalämpötilojen ja putkien ja venttiilien mitoituksen vaikutus säädettävyyteen.

Tutkimuksessa tarkastellaan putkiverkostojen äänitekniisiä asioita lähinnä verkostojen mitoitukseen liittyen ja lisäksi pohditaan venttiilien valmistajien julkaisemiin äänitasokäyriin liittyviä ongelmia. Toimintaolosuhteiden muutokset vaikuttavat verkostojen säädettävyyteen ja äänitekniikkaan. Pumpun eri säätötavat esitetään tutkimuksessa, koska oikealla pumpun säädöllä voidaan merkittävästi hallita toimintaolosuhteiden muutosten vaikutuksia.

Tutkimuksessa kerätään yhteen ja taulukoidaan eri lähteissä julkaistuja mitoitusohjeita. Mitoitusohjeita analysoidaan ja pyritään selvittämään kyseisistä lähteistä mihin ne perustuvat. Samalla tehdään katsaus myös putkiverkostojen mitoitukseen ulkomailla.

Yhtenä osana tutkimusta suunnittelijoilta kerätään kokemuksia kyselyn avulla käytettävistä mitoituskriteereistä ja mitoituskriteerin valintaan vaikuttavista tekijöistä. Toteutuspuolen kokemuksia rakennetuista verkostoista kerätään yhdeltä urakoitsijalta erillisellä kyselyllä.

Tutkimuksessa käsitellään kolmea eri malliverkosta. Ensimmäinen malliverkosto on Satakunnan ammattikorkeakoulun LVI-laboratorion simulointiverkosto. Simulointiverkostolla tutkitaan, kuinka tarkkaan perussäätöön tuotemallipohjaisen suunniteluohjelman laskemilla esisäätöarvoilla päästään.

Toinen malliverkosto on työn tilaajan suunnittelema todellinen patteriverkosto. Patteriverkoston osalta tarkastellaan miten verkosto on mitoitettu ja pohditaan mahdollisia ongelmakohtia.

Kolmas verkosto on työn tilaajan suunnittelema ilmastoinnin (IV) jäähdytysverkosto. IV-jäähdytysverkostoon sovelletaan putkiston investointi- ja pumppauskustannusten optimointia. Verkosto mitoitetaan uudestaan optimoidulla mitoituskriteerillä. Verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannuksia vertaillaan kolmella eri mitoituksella.

Tutkimuksen toteutuksen kannalta viimeisiä vaiheita ovat ehdotettavien mitoitustaulukoiden laadinta, tutkimustuloksien ja suunnittelusuositusten esittäminen.



## 2 SULJETTUJEN PUTKIVERKOSTOJEN MITOITUSPERUSTEET

### 2.1 Nesteen virtaus suljetuissa kiertopiireissä

Suljetulla kiertopiirillä tarkoitetaan sellaista kiertopiiriä, jossa menojohtoa pitkin virtaava aine palautetaan paluuputkessa takaisin järjestelmään. Opinnäytetyössä tutkittavia suljettuja kiertopiirejä ovat lämpöjohto-, jäähdytysvesi-, IV-lämpöjohto- ja IV-jäähdytysverkosto. Suljetuissa kiertopiireissä staattista nostokorkeutta ei huomioida pumpun mitoituksessa. Pumpun nostokorkeus määräytyy pelkästään verkoston virtausvastusten perusteella.

Aineen virratessa putkessa syntyy aina virtausvastuksia, jotka ovat virtauksen ja putken aiheuttamia painehäviöitä. Putkien virtausteknisessä mitoituksessa virtausvastukset jaetaan kahteen osaan:

1. kitkavastusten aiheuttamiin painehäviöihin
2. kertavastusten eli putkiosien aiheuttamiin painehäviöihin

#### 2.1.1 Suoran putken kitkapainehäviö

Kitkavastukset syntyvät virtaavan aineen sisäisestä kitkasta eli viskositeetista sekä putken sisäpinnan seinämän ja virtaavan aineen välisestä kitkasta. Päättely ja kokeet ovat osoittaneet, että putken kitkavastukset ovat suoraan verrannollisia putken pituuteen, pyörteisessä (turbulenttisessa) virtauksessa dynaamiseen paineeseen, pyörteetömässä eli laminaarisessa virtauksessa virtausnopeuteen ja kääntäen verrannollisia putken sisähalkaisijaan. Suoran putken kitkavastusten aiheuttamien painehäviöiden eli kitkavastusten laskentayhtälö esitetään yleisemmin Darcy-Weisbachin esittämässä muodossa (Kaava 1). (Laiho 1991, 43 – 44)

$$\Delta p_{\lambda} = \lambda * \frac{l}{d} * p_d = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (1)$$

$\Delta p_\lambda$  = suoran putken kitkavastusten aiheuttama painehäviö, Pa

$\lambda$  = kitkavastuskerroin

$l$  = putken pituus, m

$d$  = putken sisähalkaisija, m

$p_d$  = dynaaminen paine putkessa, Pa

$\rho$  = virtaavan aineen tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$v$  = virtausnopeus, m/s

Kitkavastuskerroin  $\lambda$  riippuu virtaavan aineen aineominaisuuksista, virtauksen luonteesta ja putken sisäpinnan laadusta. Putken sisäpinnan laatua kuvaa suhteellinen karheus  $k/d$ , joka on putken sisäpinnan epätasaisuuksien keskimääräisen korkeuden suhde putken sisähalkaisijaan. Virtauksen luonnetta kuvataan Reynoldsin luvulla  $Re$ , joka on virtausnopeuden ja putkihalkaisijan tulon suhde virtaavan nesteen kinemaattiseen viskositeettiin (Kaava 2). Virtaus on pyörteetöntä eli laminaarista kun  $Re \leq 2320$  ja pyörteistä (turbulenttista) kun  $Re > 3000$ . Ylimenovyöhykkeellä  $2320 \leq Re < 3000$  virtaus on luonteeltaan epämääräistä. (Seppänen 2001, 137 – 139)

$$Re = \frac{v * d}{\nu_1} \quad (2)$$

$v$  = virtausnopeus, m/s

$d$  = putken sisähalkaisija, m

$\nu_1$  = virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti, m<sup>2</sup>/s

Kitkavastuskertoimelle  $\lambda$  ei ole löydettävissä yhtä ainoaa yhtälöä, josta se voitaisiin määrittää kaikille virtaustapauksille ja kaikille erilaisen karheuden omaaville putkille. Käytännön putkistojen virtaus on kuitenkin miltei aina turbulenttista, joten tässä työssä käytetään painehäviölaskelmissa ehkä LVI-tekniikassa yleisintä ja eniten käytettyä turbulenttisen putkivirtauksen kitkavastuskertoimen kaavaa 3. Colebrook-Whiten esittämä kaava 3 pätee koko turbulenttisella alueella ja sen antamat tulokset vastaavat riittävän tarkasti todellisilla putkilla tehtyjä kokeita ja mittauksia. (Laiho 1991, 45 – 48)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \lg\left(\frac{2,51}{\text{Re} * \sqrt{\lambda}} + \frac{k/d}{3,71}\right) \quad (3)$$

$\lambda$  = kitkavastuskerroin

Re = virtauksen Reynoldsin luku

$k/d$  = putken suhteellinen karheus

### 2.1.2 Putkiosien painehäviö

Putken osat aiheuttavat virtauksen pyörteilyä, joka kuluttaa energiaa. Vaikutus paineeseen ilmaistaan yleensä kertavastuskertoimella  $\xi$ . Kertavastuskerroin on suuri niissä osissa ja varusteissa, joissa virtausnopeus ja virtauksen suunta muuttuvat runsaasti. (Seppänen 2001, 139)

Vain harvoissa poikkeustapauksissa voidaan putkenosien aiheuttama virtausvastus laskea teoreettisesti. Useimmiten joudutaan turvautumaan kokeisiin. Putkiosien painehäviö saadaan kaavasta 4 kun kertavastuskerroin tunnetaan. (Bohl 1982, 105)

$$\Delta p_{\xi} = \xi * p_d = \xi * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (4)$$

$\Delta p_{\xi}$  = putkiosan painehäviö, Pa

$\xi$  = kertavastuskerroin

$\rho$  = virtaavan aineen tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$v$  = virtausnopeus, m/s

### 2.1.3 Kitkavastusten riippuvuus putkikoosta

Turbulenttisessa putkivirtauksessa samalla ainevirralla ja samalla putkilaadulla kitkavastukset ovat lähes kääntäen verrannollisia sisähalkaisijan viidenteen potenssiin (Kaava 5). Tällä on käytännön merkitystä, sillä putkikokoja on valittavissa suhteellisen suurin kokoporrastuksin nimellissuuruuksittain (DN). Tällöin kitkavastukset

muuttuvat suhteellisen paljon, kun putkikokoa vaihdetaan ja ainevirta pidetään samana. (Laiho 1991, 51)

Riippuvuus kitkapainehäviön ja putken halkaisijan suhteen saadaan johdettua, kun kaavasta 1 korvataan nopeus  $v$  tilavuusvirran  $q_v$  ja poikkipinnan  $A$  suhteella.

$$\Delta p_\lambda = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{1}{2} * \rho * \left( \frac{q_v}{\pi * \frac{d^2}{4}} \right)^2 = \lambda * \frac{8 * l * \rho}{d^5 * \pi^2} * q_v^2$$

Jos jätetään huomioimatta  $\lambda$  :n riippuvuus halkaisijasta  $d$ , saadaan turbulenttiselle putkivirtaukselle riippuvuus (Kaava 5):

$$\Delta p_\lambda \sim \frac{1}{d^5} \quad (5)$$

#### 2.1.4 Kertavastusten riippuvuus putkikoosta

Suurilla putkilla kertavastusten osuus muodostuu merkittävämmäksi kuin kitkapainehäviön osuus. Asiaa voidaan kuvata ekvivalenttipituuksilla, joka tarkoittaa, kuinka pitkää suoraa putkea kyseinen kertavastus vastaa (Kaava 6).

$$\begin{aligned} \Delta p_\lambda &= \Delta p_\xi \\ \lambda * \frac{l}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2 &= \xi * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \\ \lambda * \frac{l}{d} = \xi &\rightarrow l = \frac{\xi * d}{\lambda} \end{aligned} \quad (6)$$

Tästä huomataan, että suuremmalla putkikoolla kertavastusten painehäviö vastaa aina pidempää putkea, koska halkaisija  $d$  on suurempi ja kitkakerroin  $\lambda$  pienempi.

Riippuvuus putkiosan painehäviön ja putken halkaisijan suhteen (Kaava 7) saadaan johdettua, kun kaavasta 4 korvataan nopeus  $v$  tilavuusvirran  $q_v$  ja poikki-pinnan  $A$  suhteella.

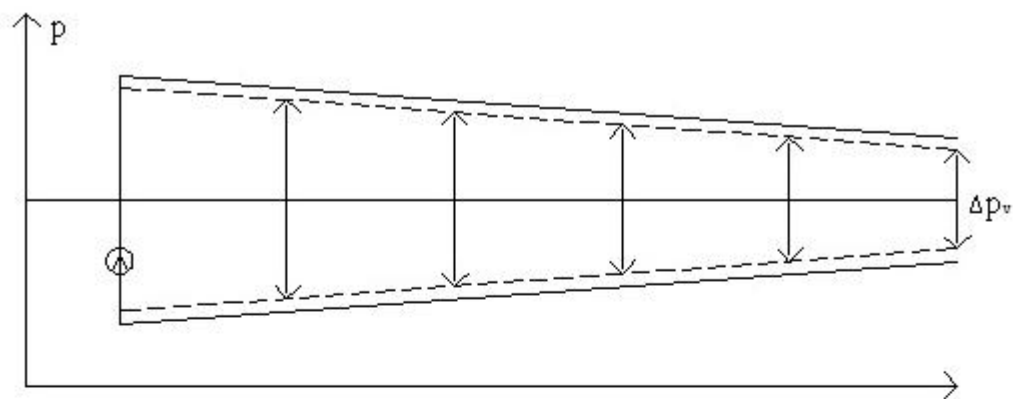
$$\Delta p_\xi = \xi * \frac{1}{2} * \rho * \left( \frac{q_v}{\pi * \frac{d^2}{4}} \right)^2 = \xi * \frac{8 * \rho}{d^4 * \pi^2} * q_v^2$$

$$\Delta p_\xi \sim \frac{1}{d^4} \tag{7}$$

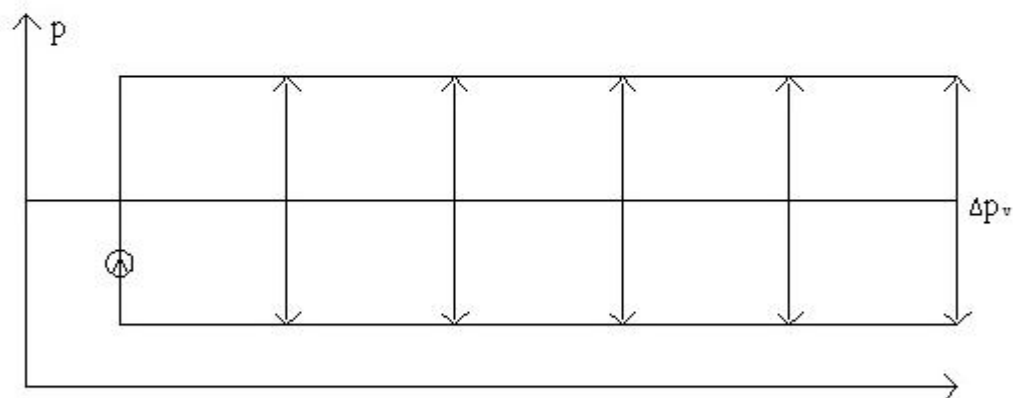
## 2.2 Putkiverkostojen mitoitusperiaatteet

Putkiverkostojen mitoittaminen perustuu nykyisin kokonaistaloudelliseen mitoittamiseen. Kokonaistaloudellisessa mitoituksessa otetaan huomioon putkiston investointi- ja pumppauskustannusten lisäksi verkoston säädettävyys ja äänitekniikka. Tällaisessa mitoituksessa putkikoon valintakriteerin ja venttiilien painehäviötason valinta tulee tehdä siten, että verkosto on yksinkertainen mitoittaa, helposti virtausteknisesti tasa-painotettavissa, virtausteknisesti stabiili ja ääniteknisesti vaatimukset täyttävä. Tämän kaltaiset vaatimukset pyritään ottamaan huomioon mitoittamalla verkostot suhteellisen väljiksi ja venttiilit verraten suurelle paine-erolle. (Laiho 1991, 97)

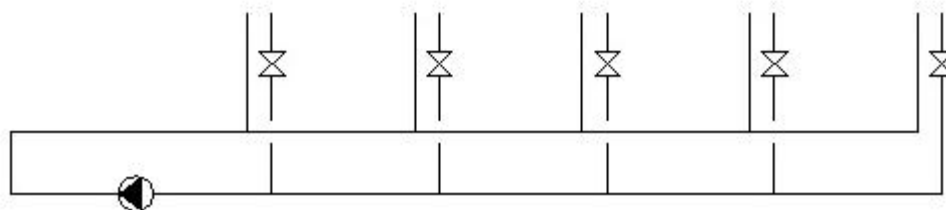
Väljän putkimitoituksen seurauksena verkoston jokaisen venttiilin yli vallitsee lähes sama paine-ero. Näin ollen verkoston perussäätö on yksinkertaista ja laskennalliset esisäätöarvot voitaisiin jopa määrittää suoraan vakiopaine-eron ja mitoitusvesivirran avulla venttiilien säätökäyrästä riittävällä tarkkuudella. Tätä mitoitusperiaatetta kutsutaan myös vakiopaine-eromitoitukseksi. Vakiopaine-eromitoituksen periaatetta on havainnollistettu kuvassa 1. (Kohonen, Laitinen & Virtanen 1985, 20)



Painekuviot kun jokaisen venttiilin vesivirta on sama ja putkisto on mitoitettu kireäksi ja venttiilit suhteellisen pienelle paine-erolle



Painekuviot kun putket väljät ja venttiileillä suuri vastus = vakio paine-eromitoitus



Kuva 1 Vakio paine-eromitoituksen havainnollistus. (Kohonen, Laitinen & Virtanen 1985, 21)

Nykyiseen väljään mitoitukseen päädyttiin siten, että aikaisemmin putkiverkostojen mitoituksessa otettiin huomioon vain putkiverkostojen investointi- ja pumppauskustannusten optimointi. Tällöin pumppauskustannuksiin oli yleensä otettu mukaan vain pumpun käyttöenergian kustannukset. Tällainen optimointi johtaa putkistoihin, joissa putkikoot ovat suhteellisen pieniä ja näin ollen eri putki-osuuksien painehäviöt ovat suhteellisen merkittäviä. Myös säätöelimien painehäviöt mitoitettiin suhteellisen pieniksi. Tällaisen putkiston virtaustekninen tasapainotus vaatii kaikkien putkisto-osien painehäviöiden tarkkaa tuntemista, jotta tarvittavat kuristukset voitaisiin laskea. Varsinkin aikakaudella ennen mitoitusohjelmia painehäviöiden käsinlaskenta oli työlästä, ja siksi se saattoi jäädä tekemättä. Jos verkosto oli suunnitteluvaiheessa jäänyt ta-

sapainottamatta, oli seurauksena useimmiten myös käytännössä tasapainottamaton verkosto. Valmiin verkoston mittauksiin perustuva tasapainotus on useimmiten vaikeaa ja työläs tehtävä, joka ei useinkaan onnistu käytännössä ilman kohtuutonta työmäärää ja kustannuksia. Esimerkiksi vuonna 1985 tehdyn selvityksen mukaan 95 % rakennusten patteriverkostoista olisi tarvinnut uutta perussäätöä. (Laiho 1991, 96)

Vakiopaine-eromitoitus menetelmänä sallii vähäiset laiminlyönnit suunnittelussa tai toteutuksessa ilman, että verkoston virtaus-, lämpö- ja säätötekniinen toiminta ratkaisevasti häiriintyy.

### 2.3 Putkihalkaisijan määräytyminen

Putkihalkaisijan valintaan voidaan käyttää monia eri kriteerejä. Yleisimmin käytetyt kriteerit voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään; taloudelliseen optimointiin sekä ääni- ja tasapainotustekniseen optimointiin perustuviin kriteereihin. (Laiho 1991, 88)

Taloudellisessa optimoinnissa putkihalkaisija määritetään siten, että jokaiselle putkikoolle valitaan suurin kuljetettava ainevirta tai teho. Putkihalkaisija voidaan myös määrittää siten, että jokaiselle putkikoolle valitaan suurin sallittu kitkapainehäviö pituutta kohden. (Laiho 1991, 88)

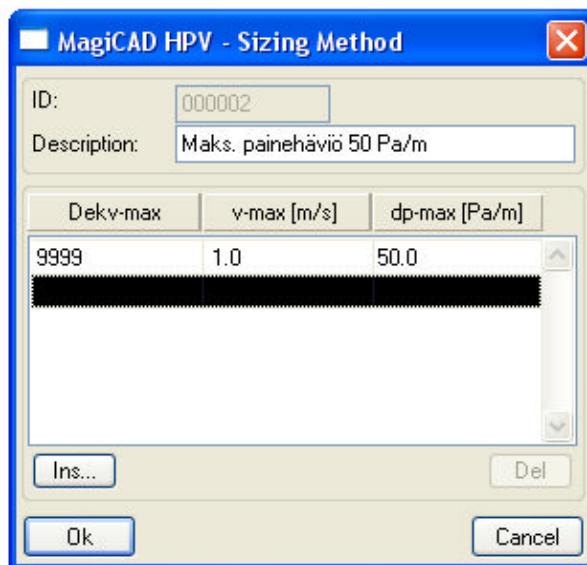
$$(q_{v\max} \text{ tai } \phi_{\max}) \Rightarrow \text{DN}$$

$$(q_v \text{ tai } \phi \text{ ja } R_{\max}) \Rightarrow \text{DN}$$

Ääni- ja tasapainotusteknisessä optimoinnissa putkihalkaisija määritetään siten, että jokaiselle putkikoolle valitaan suurin sallittu virtausnopeus. (Laiho 1991, 89)

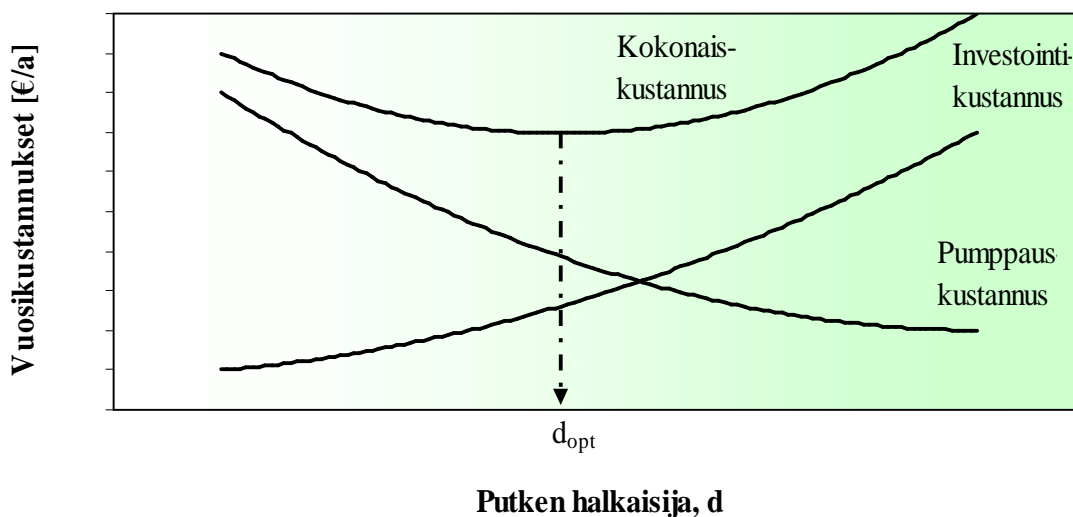
$$(q_v \text{ ja } v_{\max}) \Rightarrow \text{DN}$$

Tuotemallipohjaisissa suunnitteluohjelmissa putkihalkaisija määrätään kriteerillä suurin sallittu kitkapainehäviö putkimetriä kohden ja/tai suurimman sallitun virtausnopeuden perusteella. Nämä kriteerit voidaan vapaasti valita jokaiselle putkikoolle. Kuvassa 2 on esitetty mitoituskriteerien luonti MagiCAD:ssä.



Kuva 2 Mitoituskriteerien luonti MagiCAD:ssä. (MagiCAD 2006.5)

Käyttötarkoitukseen sopivan mitoituskriteerin valitseminen pohjautuu aina osaltaan investointi- ja pumppauskustannusten optimointiin. Taloudellisesti paras putkikoko saavutetaan silloin, kun putkiston investointi- ja pumppauskustannusten summa saavuttaa minimin (Karvonen ym 1970, 17). Investointikustannus kasvaa putkihalkaisijan mukana ja samalla tietyn vesivirran pumppauskustannus pienenee nopeuden pienentyessä (Kuva 3) (Seppänen 2001, 147).



Kuva 3 Investointi- ja pumppauskustannuksiltaan optimaalisen putkikoon periaatteellinen määräytyminen. (Seppänen 2001, 147)



Optimoidun putkikoon laskemisessa täytyy huomioida, että putkihalkaisijoita on olemassa vain tietyt standardikoot. Putkikokoa ei voida kuitenkaan valita pelkästään investointi- ja pumppauskustannusten optimoinnin perusteella, sillä kuten edellä todettiin, mitoituskriteerin valinnan täytyy perustua kokonaistaloudellisuuteen. Valinnassa tulee huomioida myös erilaisten rakennusten ja käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset. Esimerkiksi virtausnopeuden kasvaminen liiaksi lisää eroosiokorroosion vaaraa sekä melunkehitystä. Näiden lisäksi tulee varmistua siitä, että erityisesti verkoston toiminnan kannalta tärkeät säätötekhniset suoritusarvot täyttyvät.

Toisaalta putkien ylimitoittamisesta ei yleensä ole muuta haittaa kuin turhat investointikustannukset. Joissakin tapauksissa tilankäytön kanssa, esimerkiksi ahtaissa konehuoneissa, voi tulla ongelmia. Ylimitoituksen merkittävimpanä etuna voidaan pitää järjestelmien muuntelu- ja laajennusmahdollisuuksia. Tarkasti mitoitettuja putkistoja ei voida lisärakentamisessa hyödyntää yhtä helposti ja halvalla kuin ylimitoitettuja. Putkistojen ylimitoitus vaikuttaa käyttökustannuksiin pienentävästi. Koska painehäviöt jäävät pieniksi, voidaan valita vähemmän sähköä kuluttava ja myös investoinneiltaan pienempi pumppu kuin tarkasti mitoitettuun kohteeseen. Lisäksi virtausnopeudet jäävät pieniksi. Tämä puolestaan vähentää äänihaittoja ja kulumista. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 1989, 27)

#### 2.4 Putkistojen investointi- ja pumppauskustannusten optimointi

Putkistojen investointi- ja pumppauskustannusten optimoimiseksi on alan kirjallisuudessa julkaistu kaksi erilaista menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä, joka on ehkä yleisempi, esitetään putken vuosikustannus putkihalkaisijan funktiona ja asetetaan sen ensimmäinen derivaatta halkaisijan suhteen nolaksi. Menetelmän heikkous on se, ettei ole käytettävissä mitä tahansa putkihalkaisijoita, eikä tuloksesta ilmene kumpaan suuntaan pyöristys pitäisi tehdä. Joskus on unohdettu myös se, että pumppauskustannuksia laskettaessa on käytettävä pumpun vesivirtaa eikä kyseisen putken omaa vesivirtaa. (Karvonen ym 1970, 17)

Toisessa menetelmässä merkitään kahden eri putkikoon vuosikustannukset yhtä suureksi, jolloin voidaan ratkaista kyseisten putkien taloudellisen vesivirran raja-arvo. Menetelmällä pystytään etsimään ne vesivirran raja-arvot, joiden sisällä kunkin put-

kilaadun käyttäminen on investointi- ja pumppauskustannuksiltaan edullisinta. (Karvonen ym 1970, 17)

#### 2.4.1 Menetelmä 1

Kun lausutaan putken vuosikustannus putkihalkaisijan funktiona ja asetetaan sen ensimmäinen derivaatta halkaisijan suhteen nolllaksi, saadaan vuotuiset kustannukset minimoiva halkaisija (Karvonen ym 1970, 17). Kaavat 8 ja 9 perustuvat osittain lähteen (Karvonen & Syrjälä 1993, 19) kaavoihin. Kaavoja on korjailtu niissä ilmenneiden virheiden vuoksi ja kaavoihin on tehty pieniä lisäyksiä. Kaavat 8 – 14 on johdettu liitteessä 1 yksikötarkasteluineen, jotta varmistuttiin niiden oikeellisuudesta.

Pumppaus aiheuttaa vuosikustannuksen (Kaava 8), merkinnät kaavan 10 jälkeen:

$$H_1(d) = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L \quad (8)$$

Putken hankinnasta aiheutuva vuosikustannus (Kaava 9), merkinnät kaavan 10 jälkeen:

$$H_2(d) = \left( \frac{i * (1+i)^n}{(i+1)^n - 1} \right) * f * \pi * d * \rho_l * k_l * L * \left( \frac{d * p_1 * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p_1 * 10^5} * \frac{1}{v} \right) \quad (9)$$

Kokonaisuudessa putkiston hankinta aiheuttaa vuosikustannuksen  $H = H_1 + H_2$ , jolle saadaan minimiarvo kaavasta 10:

$$\frac{dH}{dd} = \frac{dH_1}{dd} + \frac{dH_2}{dd} = 0 \quad (10)$$

$d$  = vuotuiset kustannukset minimoiva halkaisija, m

$l$  = putkiosuuden pituus, m

$\lambda$	= putken kitkavastuskerroin
$\xi$	= kertavastuskerroin
$q_m$	= massavirta, kg/s
$\tau$	= vuotuinen käyttöaika, vrk/a
$k_e$	= sähkön hinta, €/kWh
$n$	= kuoletusaika, a
$i$	= laskentakorko, %/100
$f$	= työkustannuskerroin, 1/m
$\rho_t$	= putken seinämän tiheys, kg/m <sup>3</sup>
$\rho$	= pumpattavan nesteen tiheys, kg/m <sup>3</sup>
$k_t$	= putken kilohinta, €/kg
$\eta$	= pumpun hyötysuhde, %/100
$p_1$	= paine putkessa, bar
$\sigma_1$	= laskentalujuus, N/mm <sup>2</sup>
$n_1$	= varmuuskerroin
$v$	= hitsausliitoskerroin

Toisaalta, jos laskelmissa halutaan ottaa huomioon energian odotettavissa oleva hinnan nousu, voidaan edellä olevat yhtälöt esittää nykyarvomenetelmällä, jolloin käytöstä aiheutuvat kustannukset muunnetaan investointihetkeen.

Pumppaus aiheuttaa kustannuksen (Kaavat 11 ja 12):

$$H_1(d) = K_e * \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\xi}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L \quad (11)$$

$$K_e = \frac{1}{(i - p)} * \frac{(1 + (i - p))^n - 1}{(1 + (i - p))^n} \quad (12)$$

Jos laskentakorko ja odotettavissa oleva energian hinnan nousu on sama ( $i = p$ ) (Kaava 13):

$$K_e = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (13)$$

Putken hankinnasta aiheutuva kustannus (Kaava 14):

$$H_2(d) = f \cdot \pi \cdot d \cdot \rho_t \cdot k_t \cdot L \cdot \left( \frac{d \cdot p_1 \cdot 10^5}{2 \cdot \frac{\sigma_1 \cdot 10^6}{n_1} - p_1 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{v} \right) \quad (14)$$

$p$  = odotettavissa oleva energian hinnan nousu %/100

Tätä menetelmää sovelletaan etenkin teollisuusputkistoja suunniteltaessa. Tarvittavat materiaaleja koskevat kertoimet saadaan joko Suomen standardisoimisliiton standardeista tai tuotevalmistajien RT-tuotekorteista. Työkustannuskertoimen arvioinnissa apuna voi käyttää erillisiä normitunteja, jotka määritellään LVI-toimialan suorituspalkkaustöiden työehtosopimuksessa.

#### 2.4.2 Menetelmä 2

Seuraavaksi lasketaan helpommalla ja käyttökelpoisemmalla tavalla investointi- ja pumppauskustannuksien perusteella optimoidut putkikoot. Optimiputkikokojen laskeminen aloitetaan etsimällä ne vesivirran raja-arvot, joiden sisällä kunkin putkikoon käyttäminen on taloudellisinta (Karvonen ym 1970, 17).

Menetelmä koskee vain vaikeimman kiertopiirin mitoitusta. Muiden virtauspiirien, eli sivuvirtauspiirin mitoituksessa lähdetään siitä paine-erosta, joka vallitsee haaroituspisteessä. Sivuvirtauspiireissä voidaan käyttää suurempia R:n arvoja kuin päävirtauspiirissä. Se, millä tavalla käytettävissä oleva paine-ero tulisi jakaa eri putkikokojen kesken, ei ole helposti osoitettavissa. Vaikeimman kiertopiirin ja sivuvirtauspiirin osalta voidaan kuitenkin todeta, että paine-eroa kannattaa säästää pienissä ja halvoissa putkissa ja kuluttaa sitä suurissa ja kalliissa putkissa. (Karvonen ym 1970, 19)

Alkuperäiset kaavat on lähteestä (Karvonen ym 1970, 17). Kaavoja on kuitenkin edelleen paranneltu tätä työtä varten. Kaavojen yksikkötarkastelut löytyvät liitteestä 2.

Putkiosuuden vuosikustannus lasketaan kaavalla 15:

$$K = \left( \frac{i * (1+i)^n}{(i+1)^n - 1} \right) * B * L + \frac{\dot{V}_p}{1000} * S * L * R_o * \left( \frac{\dot{V}}{\dot{V}_o} \right)^2 * \frac{1}{\eta} * \frac{E}{1000} * t_k * 24 \quad (15)$$

$K$  = putkiosuuden vuosikustannukset, €/a

$n$  = kuoletusaika, a

$i$  = laskentakorko, %/100

$B$  = putken hinta asennettuna ja eristettynä, €/m

$L$  = putkiosuuden pituus, m

$\dot{V}$  = putken läpi kulkeva tilavuusvirta, l/s

$\dot{V}_p$  = pumpun kokonaisvesivirta, l/s

$t_k$  = pumpun käyntiaika, vrk/a

$E$  = sähköenergian hinta, €/kWh

$\eta$  = pumpun hyötysuhde, %/100

$R$  = kitkapainehäviö, Pa/m

$\dot{V}_o$  = mielivaltainen tilavuusvirta, l/s

$R_o$  =  $\dot{V}_o$  vastaava R:n arvo, Pa/m

$S$  = 1 + (kertavastusten määrä % kitkapainehäviöistä)/100

Taloudellisimman vesivirran raja-arvo saadaan merkitsemällä kahden putkikoon vuosikustannukset (Kaava 15) yhtä suuriksi ja ratkaisemalla  $\dot{V}$  (Kaava 16). Kuvassa 4 on havainnollistettu taloudellisimman vesivirran raja-arvon muodostumista. Mielivaltaisesti valittu tilavuusvirta ja sitä vastaava kitkapainehäviö vaikuttavat paraabelin jyrkkyyteen (Kuva 4).

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{\left(\frac{i*(1+i)^n}{(i+1)^n - 1}\right) * (B_1 - B)}{\frac{\dot{V}_p}{1000} * S * \frac{E}{1000} * t_k * \frac{1}{\eta} * 24 * \left(\frac{R_o}{\left(\frac{\dot{V}_o}{1000}\right)^2} - \frac{R_{o1}}{\left(\frac{\dot{V}_{o1}}{1000}\right)^2}\right)}}} * 1000 \quad (16)$$

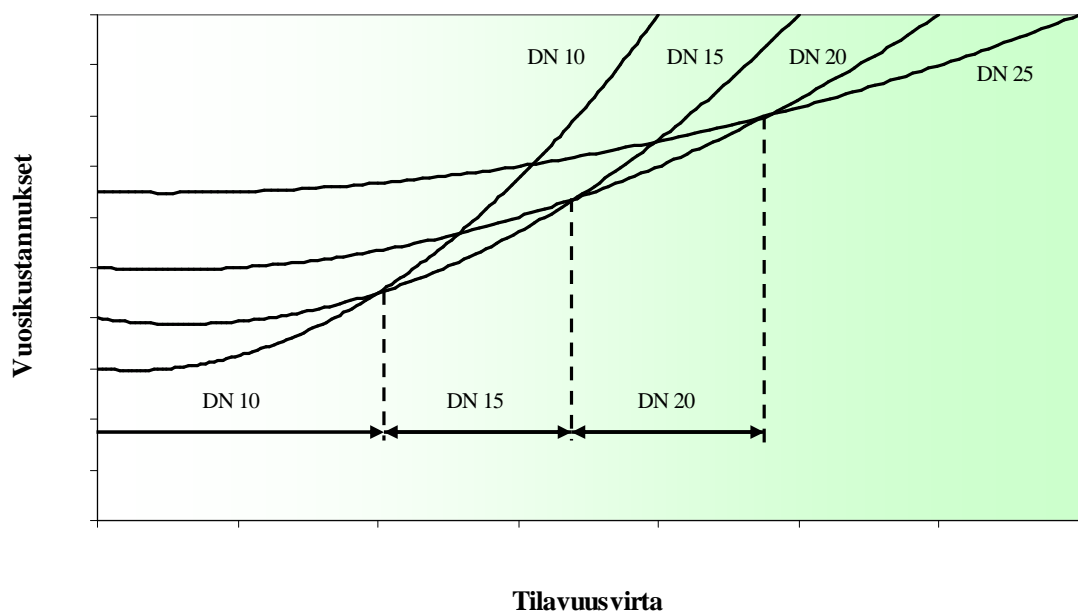
Nykyarvomenetelmällä taloudellisimman vesivirran raja-arvo saadaan vastaavasti kaavalla 17:

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{(B_1 - B)}{K_e * \frac{\dot{V}_p}{1000} * S * \frac{E}{1000} * t_k * \frac{1}{\eta} * 24 * \left(\frac{R_o}{\left(\frac{\dot{V}_o}{1000}\right)^2} - \frac{R_{o1}}{\left(\frac{\dot{V}_{o1}}{1000}\right)^2}\right)}}} * 1000 \quad (17)$$

$B_1$  = suuremman putkikoon hinta asennettuna ja eristettynä, €/m

$\dot{V}_{o1}$  = suuremman putkikoon mielivaltainen tilavuusvirta, l/s

$R_{o1}$  =  $\dot{V}_{o1}$  vastaava R:n arvo, Pa/m



Kuva 4 Taloudellisen vesivirran raja-arvot. (Karvonen ym 1970, 18)

### 2.4.3 Lähtöarvot ja Excel-laskentaohjelma

Laskettaessa kummalla tahansa menetelmällä kannattaa varsinaiset laskelmat suorittaa taulukkolaskentaohjelmalla kaavojen mutkikkuuden vuoksi. Taulukkolaskentaohjelmalla voidaan myös laskea suoran putken kitkapainehäviö, jolloin välttyään hitaalta diagrammien käytöltä. Painehäviölaskelmissa ei voida välttyä iteroinnilta, mutta tämä onnistuu helposti Excelin VBA-ohjelmointikielen avulla (Visual Basic for Applications). Taloudellisimpien putkikokojen laskemiseksi tätä opinnäytetyötä varten on laadittu Excel-laskentaohjelma, joka laskee taloudellisimmat putkikoot syötettyjen alkuarvojen perusteella kummallakin menetelmällä. Excel-laskentaohjelmassa on myös pikamitoitustoiminto, jolla voidaan nopeasti laskea suoran putken kitkapainehäviö.

Pumpun vesivirtaa ja vuotuista käyttöaikaa mietittäessä on tarkemmissa laskelmissa huomioitava, että joissakin järjestelmissä varsin harvoin tarvitaan maksimi- eli mitoitusvirtaamaa. Esimerkiksi jäähdytyspalkkiverkostoissa, joissa palkeilla on kaksitieventtiilit ja pumppu on varustettu taajuusmuuttajalla, mitoitusvirtaamaa tarvitaan hyvin harvoin.

Vesivirran ja käyttöajan tarkassa määrittämisessä apuna voidaan käyttää kuormituksen pysyvyyskäyriä, jotka samalla esittävät myös vesivirran pysyvyyskäyriä. Vesivirran muuttuessa pumpun hyötysuhde muuttuu riippuen säätötavasta. Tämäkin voidaan ottaa huomioon, sillä pumpun hyötysuhdekäyrän ja vesimäärän pysyvyyskäyrän avulla voidaan laatia pumpun hyötysuhdekäyrä ajan funktiona. (Vuorelainen 1980, 127)

Putkiston investointi- ja pumppauskustannusten optimoimiseksi mahdollisimman tarkasti putkien hinnat (alv. 22 %) on laskettu asennettuna ja eristettynä noudattamalla LVI-toimialan työehtosopimuksen mukaista putkialan urakkahinnoittelua sekä putkieristysalan urakkahinnoittelua. Materiaalien hinnat on otettu LVI-Dahl Oy:n 2.7.2007 julkaistusta hinnastosta. Varsinainen laskenta on tehty ATK-Paja Oy:n Xpaja-ohjelmistolla, jossa laskentaparametreina on käytetty taulukossa 1 olevia parametreja. (Xpaja 2007) (LVI-Dahl Oy Hinnasto 2007) (LVI-toimialan työehtosopimus 2007)

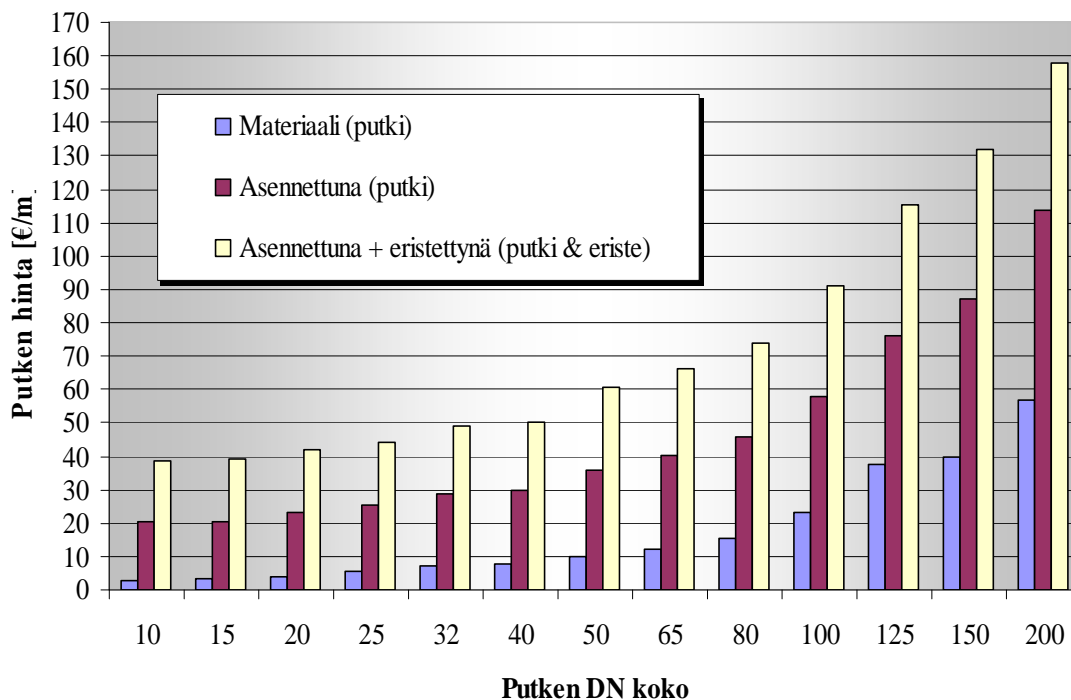
Taulukon 1 osaprocentilla pyritään kattamaan tarjouslaskennassa sellaiset yksittäiset kustannukset, joita ei pystytä tarkasti laskemaan kuten tarvittavat putkenosat ja kanaketarvikkeet. Osaprocentti lisätään putken hintaan, osaprocentin käyttö nopeuttaa tarjouslaskentatyötä. Taulukossa 1 on esitetty tuntien ja kulukorvauksien osalta normituntikertoimet (€/nh). Urakkasumma saadaan kertomalla normituntien summa normituntikertoimella. Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimuksessa on määritelty eri LVI-tarvikkeiden asentamiseen käytettävät normityöajat.

Taulukko 1 Tarjouslaskentaohjelmassa käytetyt laskentaparametrit.

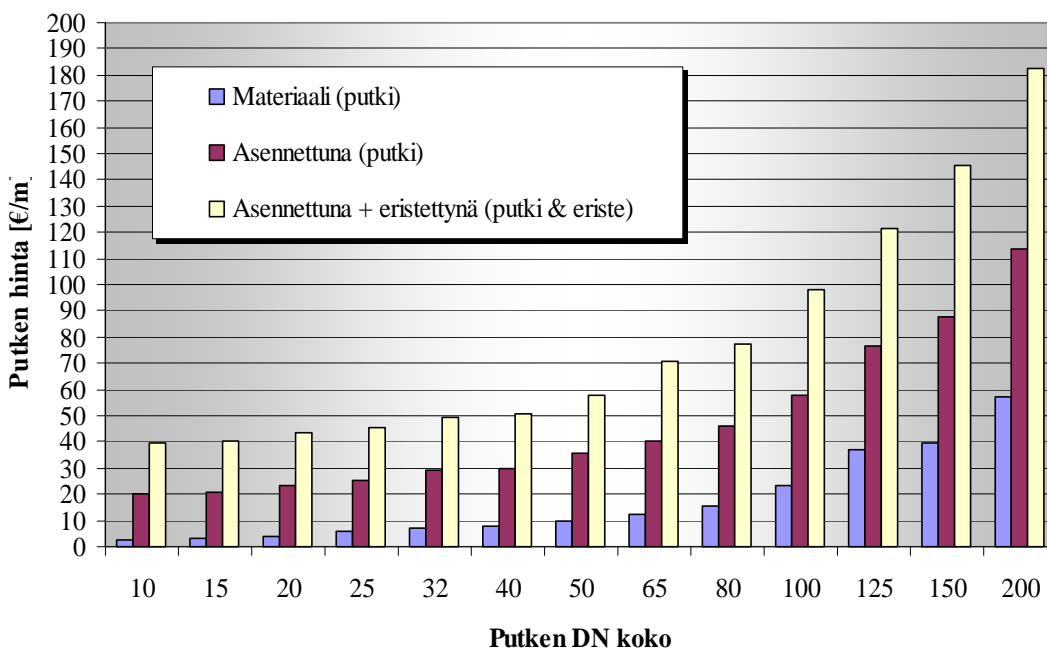
<u>Katteet</u>		<u>Yksikkö</u>
Tarvikekate	10	%
Työkate	10	%
<u>Työn tuntuksia</u>		
Olosuhteellisia	7	%
<u>Tunnit ja kulukorvaukset</u>		
Palkka	13,3	€/nh
Matkatunnit	13,3	€/nh
Päivärahat	7,5	€/nh
Matkarahat	3,36	€/nh
<u>Työn kustannuksien lisät</u>		
Työnjohto/toimisto	5	%
Kärkimieslisä	5,3	%
Sosiaalikulut	75	%
<u>Osaprocentti</u>		
Teräsputki	40	%
Ruostumaton teräsputki	40	%
Kupariputki	40	%
Komposiittiputki	100	%

Kuvissa 5 – 11 on esitetty eri putkikokojen hinnat materiaaleittain. Kuvissa on eritelty pelkän materiaalin hinta, putken hinta asennettuna sekä putken hinta asennettuna ja eristettynä. Eristysvahvuuksien määrittämisessä on käytetty vuoden 2002 LVI-ohjekortin 50-10345 sivun 2 mukaisia eristesarjoja.

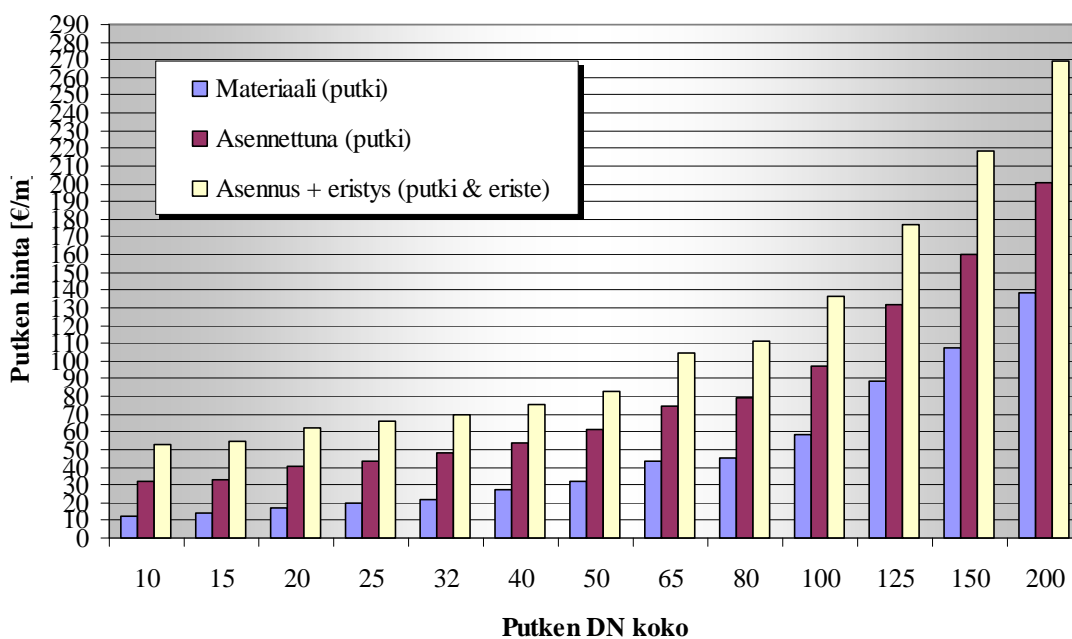




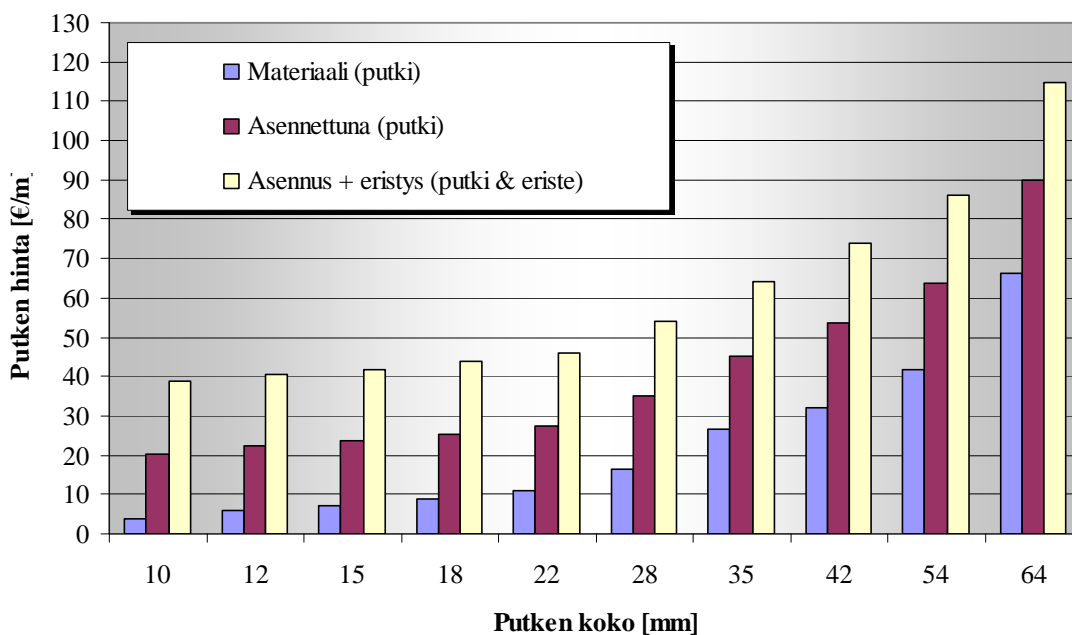
Kuva 5 Teräsputken hankintakustannukset nimelliskoottain, eristeenä alumiinipintainen mineraalivilakouru, koot DN 10-40 ovat keskiraskasta kierteitettävää putkea ja koot DN 50-200 ovat hitsattavaa teräsputkea.



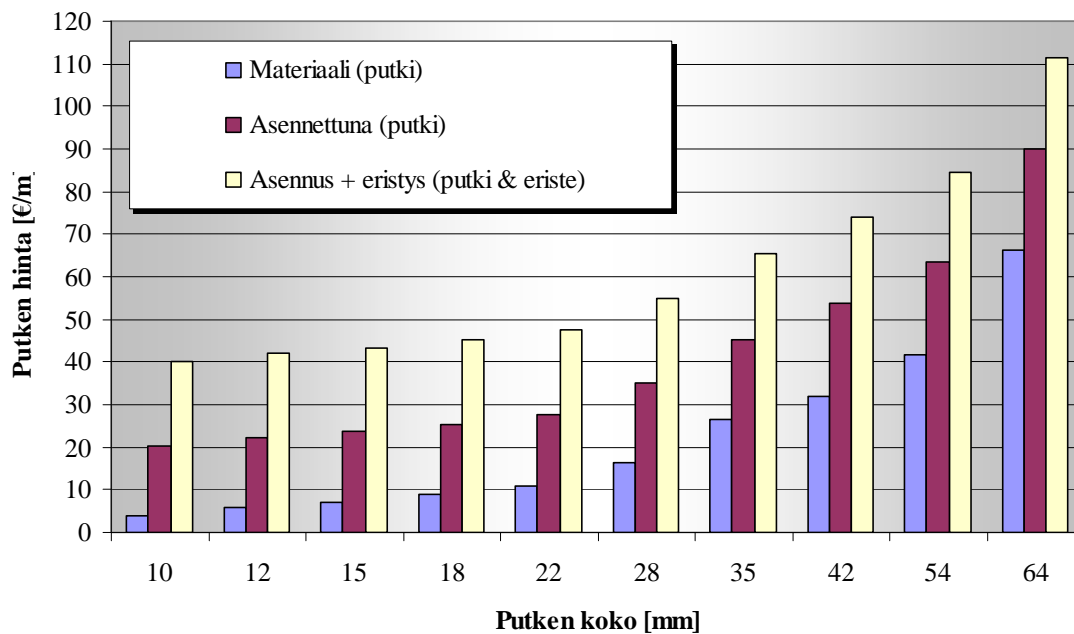
Kuva 6 Teräsputken hankintakustannukset nimelliskoottain kuten edellä mutta eristeenä solukumi.



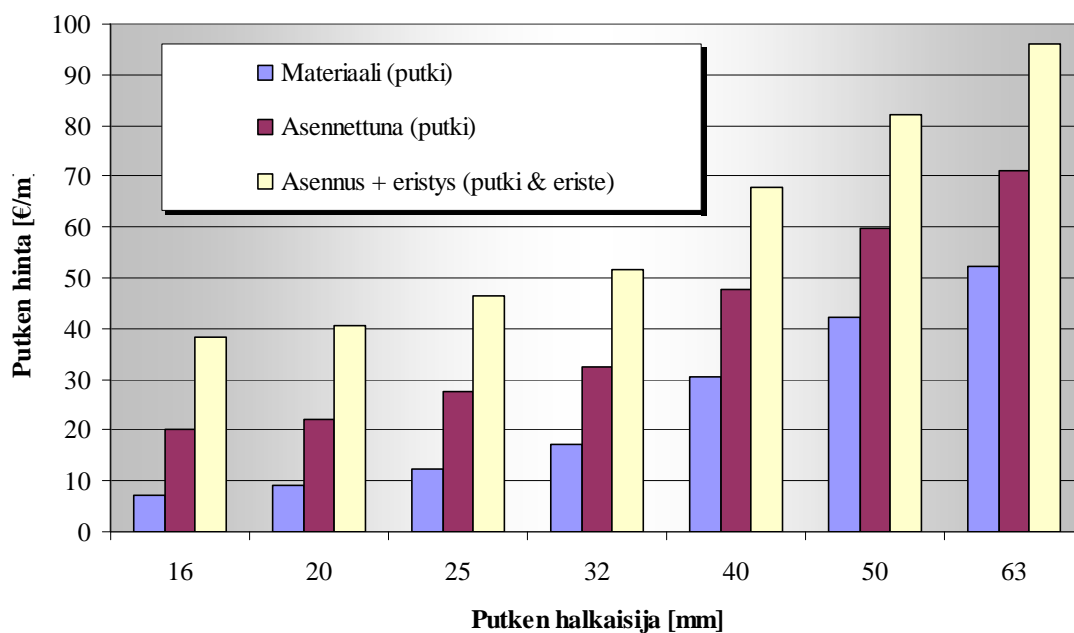
Kuva 7 Ruostumattoman teräsputken hankintakustannukset nimelliskooittain, eristeenä solukumi.



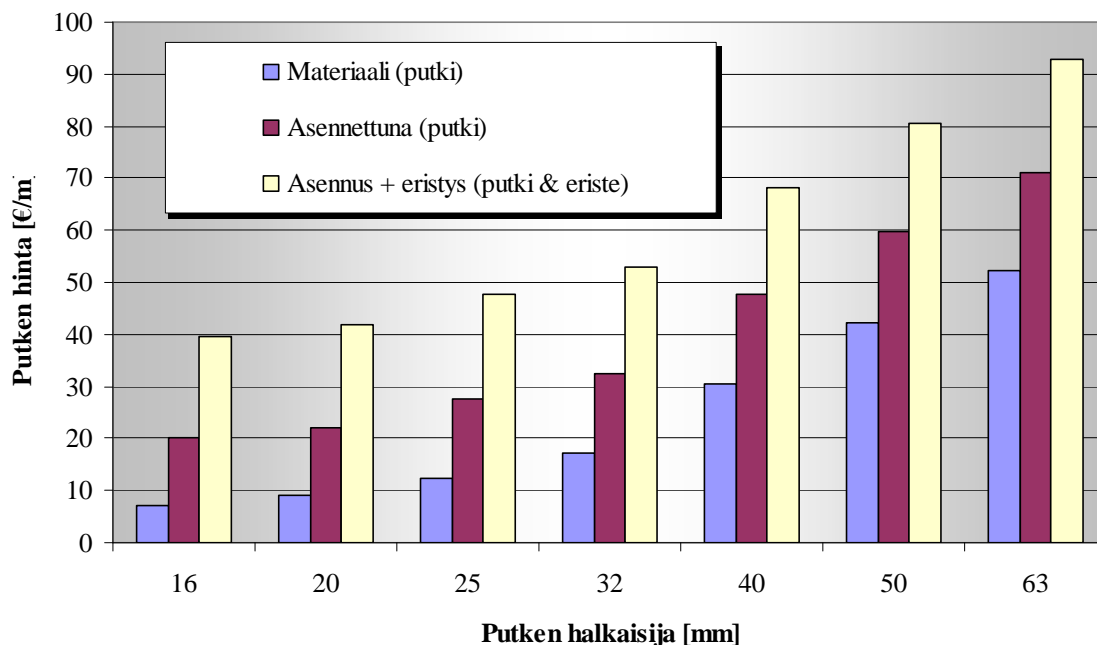
Kuva 8 Kupariputken hankintakustannukset halkaisijoittain, eristeenä alumiinipintainen mineraalivil-lakouru.



Kuva 9 Kupariputken hankintakustannukset halkaisijoittain, eristeenä solukumi.



Kuva 10 Komposiittiputken hankintakustannukset halkaisijoittain, eristeenä mineraalivillakouru.



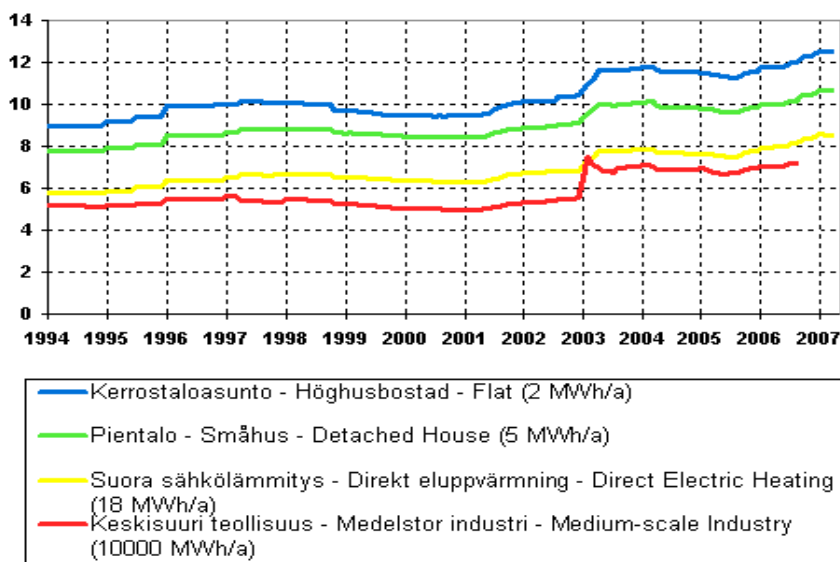
Kuva 11 Komposiittiputken hankintakustannukset halkaisijoittain, eristeenä solukumi.

Taulukkoon 2 on kerätty eri putkien sisäpinnan karheuksia, joita tarvitaan suoran putken kitkapainehäviön laskemisessa.

Taulukko 2 Putkijohtojen sisäpinnan karheuksia (Laiho 1991, Liite 6).

Putkityyppi	Sisäpinnan laatu	Karheus, [mm]	
		Raja-arvot	Laskelmissa ohjearvona
Vedetyt putket, (messinki, alumiini, kupari)	uusi, sileä	0,001...0,002	0,005
	sisältää kerrostuman		0,15
kupariputket Teräsputket	uusi, sileä	0,02...0,10	0,045
	ruostunut	0,5...1,0	
	hyvin ruostunut	1,0...3,0	
Kuumasinkitty	uusi, sileä	0,10...0,16	
	sisältää kerrostuman		1
Valurautaputki	uusi, sileä	0,2...0,6	0,3
	bitumoitu	0,1...0,3	0,2
Muoviputket	uusi, sileä	0,0015...0,0070	0,005
Komposiittiputket	uusi, sileä		0,0004

Kuvassa 12 esitetään sähkön hinta kuluttajatyypeittäin aikavälillä 1994 - 2007, tämän tarkoituksena on havainnollistaa sähköhinnan kehitystä. Tähän mennessä toteutunutta hinnankehitystä voidaan käyttää apuna arvioitaessa odotettavissa olevaa energian hinnan nousua.



Kuva 12 Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin 1994 – 2007, c/kWh (Tilastokeskus, Lähde: Energiamarkkinavirasto).

Kuvassa 13 on Excel-laskentaohjelman menetelmän 1 mukainen laskenta. Painehäviölaskennassa ohjelma käyttää kaavoja 1, 2 ja 3. Investointi- ja pumppauskustannuksiltaan edullisimman putkikoon ohjelma ratkaisee kaavoilla 8, 9 ja 10. Kuvan 14 laskentaan on valittu tarkoituksella esimerkinomaiset alkuarvot, joilla saadaan vuotuiset kustannukset minimoivaksi halkaisijaksi 107 mm. Tällöin kokonaisvuosikustannus jakautuu investointi- ja pumppauskustannusten suhteen. Investointikustannusten osuus kokonaisvuosikustannuksista on 431 € (70 %) ja pumppauskustannusten osuus on 181 € (30 %).

Kuvassa 14 on Excel-laskentaohjelman menetelmän 2 mukainen laskenta. Painehäviölaskennassa käytetään samoja kaavoja kuin menetelmässä 1. Taloudellisimman vesivirran raja-arvon ohjelma ratkaisee kaavalla 17. Myös kuvan 14 laskentaan on valittu esimerkin omaiset alkuarvot, joilla saadaan kuvan 15 kaltaiset vesivirran raja-arvot. Kuvan 15 tuloksista nähdään se mitä edellä todettiin; paine-eroa kannattaa säästää pienissä ja halvoissa putkissa ja kuluttaa sitä suurissa ja kalliissa putkissa.

$$H_1(d) = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$H_2(d) = \left( \frac{i * (1+i)^n}{(i+1)^n - 1} \right) * f * \pi * d * \rho_t * k_t * L * \left( \frac{d * p * 10^5}{2 * \sigma_1 * 10^6 - p * 10^5} * \frac{1}{n_1} \right)^v$$

$$\frac{dH}{dd} = \frac{dH_1}{dd} + \frac{dH_2}{dd} = 0$$

**Lähtöarvot:****Painehäviölaskenta**

Pumpattavan nesteen tiheys  $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>  
 Pumpattavan nesteen kinem.viskos., m<sup>2</sup>/s  
 Putken karheus, mm

986  
 5,10E-07  
 0,045

**Annuiteettitekijä**

Laskentakorko  $i$ , %/100  
 Laskentajakson pituus  $n$ , a

0,05  
 40

**Tarvittava putken seinämävahvuus**

Paine  $p$ , bar  
 Varmuuskerroin  $n_1$   
 Laskentalujuus  $\sigma_1$ , N/mm<sup>2</sup>  
 Hitsausliitoskerroin  $v$

59  
 1,5  
 125  
 1

**Käyttökustannus**

Putkijohdon pituus  $l$ , m  
 Kertavastukset  $\sum \zeta$   
 Massavirta  $m$ , kg/s  
 Vuotuinen käyttöaika  $\tau$ , vrk  
 Sähkönhinta  $k_e$ , €/kWh  
 Pumpun hyötysuhde  $\eta$ , %/100

100  
 5  
 10  
 270  
 0,1  
 0,5

**Investointikustannus**

Putken kilohinta  $k_t$ , €/kg  
 Putken tiheys  $\rho_t$ , kg/m<sup>3</sup>  
 Työkustannuskerroin  $f$

4  
 7000  
 2

**Tulokset:**

Tarvittava putken seinämävahvuus

m mm  
 0,003929 3,9

Kokonaiskustannukset minimoiva halkaisija  $d$

0,107054 107

Kokonaispainehäviö, kPa

19,8

Virtausnopeus, m/s

1,31

Kitkapainehäviö, Pa/m

155

Putken hinta €/m

74

Pumppauksesta aiheutuva vuosikustannus, €

181

Putken hankinnasta aiheutuva vuosikustannus, €

431

**Siirry**

Alkuun

Pikamitoitukseen

Menetelmään 2

Laske

Kuva 13 Excel-laskentaohjelman menetelmän 1 mukainen laskenta.

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{(B_1 - B)}{K_e \cdot \frac{\dot{V}_p}{1000} \cdot S \cdot \frac{E}{1000} \cdot t_k \cdot \frac{1}{\eta} \cdot 24 \cdot \left( \frac{R_0}{\left(\frac{\dot{V}_0}{1000}\right)^2} - \frac{R_{01}}{\left(\frac{\dot{V}_{01}}{1000}\right)^2} \right)}} \cdot 1000$$

$$K_e = \frac{1}{(i-p)} \cdot \frac{(1+(i-p))^n - 1}{(1+(i-p))^n}$$

$$K_e = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

**Lähtöarvot:****Painehäviölaskenta**Pumpattavan nesteen tiheys  $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>

986

Pumpattavan nesteen kinem.viskos., m<sup>2</sup>/s

5,10E-07

Putken karheus, mm

0,045

**Nykyarvo**Odotettavissa oleva energian hinnan nousu  $p$ , %/100

0,04

Laskentakorko  $i$ , %/100

0,05

Laskentajakson pituus  $n$ , a

40

**Käyttökustannus**Pumpun kokonaisvesivirta  $V_p$ , l/s

9,0

Pumpun käyntiaika  $t_k$ , vrk

270

Sähköenergian hinta  $E$ , €/kWh

0,1

Pumpun hyötysuhde  $\eta$ , %/100

0,7

Kertavastusten osuus kitkapainehäviöistä  $S$ , 1+(%/100)

1,2

**Valittu putkisarja:** Saumaton teräsputki DN 40-200 + (alumiinipintainen mineraalivillakouru)**Investointi kustannus**

Ohje: Ennen laskemista valitse jokin alla olevista putkisarjoista tai luo oma sarja.

**Putkisarja**

Ulkoalkaisija

Seinämävahvuus

Hinta asennettuna ja eristettynä

[mm]

[mm]

[€/m]

48,3	2,6	51,1
60,3	2,9	56,9
76,1	2,9	66,6
88,9	3,2	77,5
114,3	3,6	93,1
139,7	4,0	113,0
168,3	4,0	131,6
219,1	4,5	158,2

Kupariputkisarja asennettuna
Kupariputkisarja asennettuna & eristettynä (alumiinipintainen mineraalivillakouru)
Keskiraskas kierteytettävä teräsputki DN 10-40 asennettuna
Keskiraskas kierteytettävä teräsputki DN 10-40 asennettuna & eristettynä (alumiinipintainen mineraalivillakouru)
Saumaton teräsputki DN 40-200 asennettuna
Saumaton teräsputki DN 40-200 asennettuna & eristettynä (alumiinipintainen mineraalivillakouru)
Ruostumaton teräsputki DN 40-200 asennettuna
Ruostumaton teräsputki DN 40-200 asennettuna & eristettynä (solukumi)
Komposiittiputkisarja asennettuna
Komposiittiputkisarja asennettuna & eristettynä (alumiinipintainen mineraalivillakouru)
Oma putkisarja

Lask

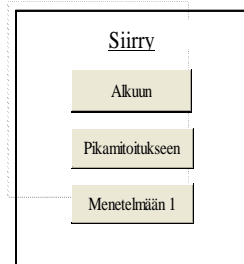
**Tulokset:**

	Alaraja	↔	Yläaraja
DN 40	0	↔	0,4201
	0	↔	26
	0	↔	0,29
DN 50	0,4201	↔	1,0272
	8	↔	42
	0,18	↔	0,44
DN 65	1,0272	↔	2,4719
	12	↔	60
	0,26	↔	0,64
DN 80	2,4719	↔	3,9500
	27	↔	65
	0,46	↔	0,74
DN 100	3,9500	↔	9,5361
	18	↔	94
	0,44	↔	1,06
DN 125	9,5361	↔	
	33	↔	
	0,70	↔	
DN 150		↔	
		↔	
		↔	
DN 200		↔	
		↔	
		↔	

Virtaama l/s
Painehäviö Pa/m
Virtausnopeus m/s

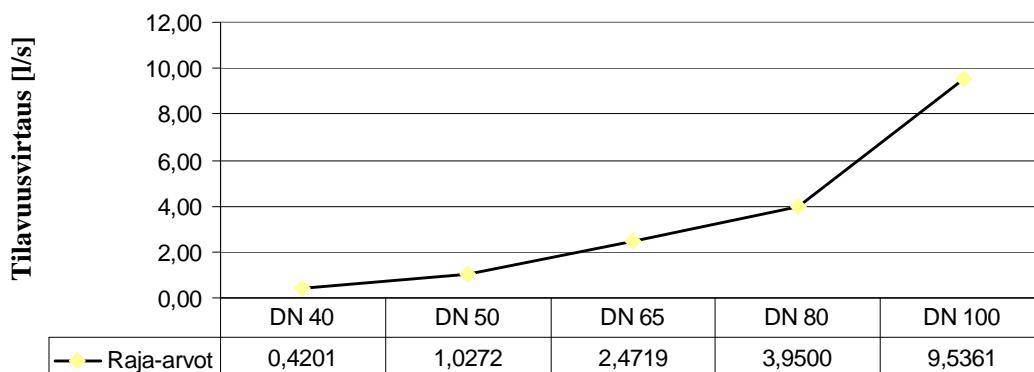
**Diagrammin tulostus:**

Esikatselu

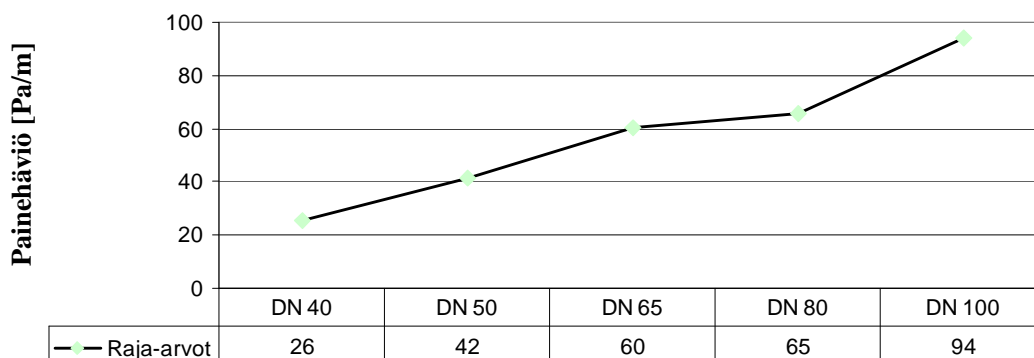


Kuva 14 Excel-laskentaohjelman menetelmän 2 mukainen laskenta.

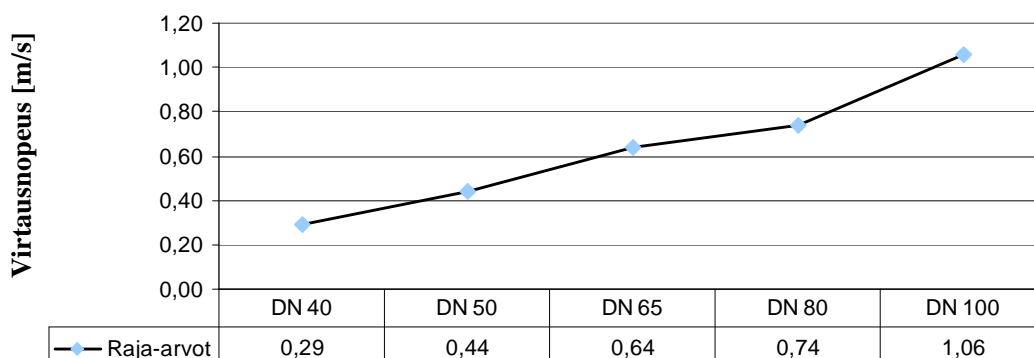
### Taloudellisen vesivirran raja-arvot



### Painehäviö taloudellisen vesivirran raja-arvoissa



### Virtausnopeus taloudellisen vesivirran raja-arvoissa



Kuva 15 Excel-laskentaohjelman menetelmän 2 mukainen diagrammi laskentatuloksista kuvan 14 lähtöarvoilla.



## 3 SÄÄDETTÄVYYS JA ÄÄNITEKNIikka

### 3.1 Putkiverkoston perussäädettävyys

Kokonaistaloudellisen mitoitusajattelun perusteella suljetun putkiverkoston tulee olla helposti perussäädettävissä. Esimerkiksi asuinrakentamisessa säätämisen avulla kiinteistön omistaja ja vuokralaiset saavat sellaisen sisäilmaston, josta he ovat maksaneet. Kiinteistön omistaja välttyy lisäksi valituksilta. Nämä ovat ehkä säätämisen tärkeimmät edut. (Petitjean, Nykom & Sandberg 1990, 51)

Säätäminen vähentää myös energian kulutusta; osaksi suoraan mahdollistamalla lämmityksessä alemman keskilämpötilan rakennuksessa ja korkeamman jäähdytyksessä, osaksi epäsuorasti parantamalla säätimien toimintaolosuhteita. (Petitjean ym. 1990, 51)

Putkiverkostojen perussäätömenetelmiä ovat:

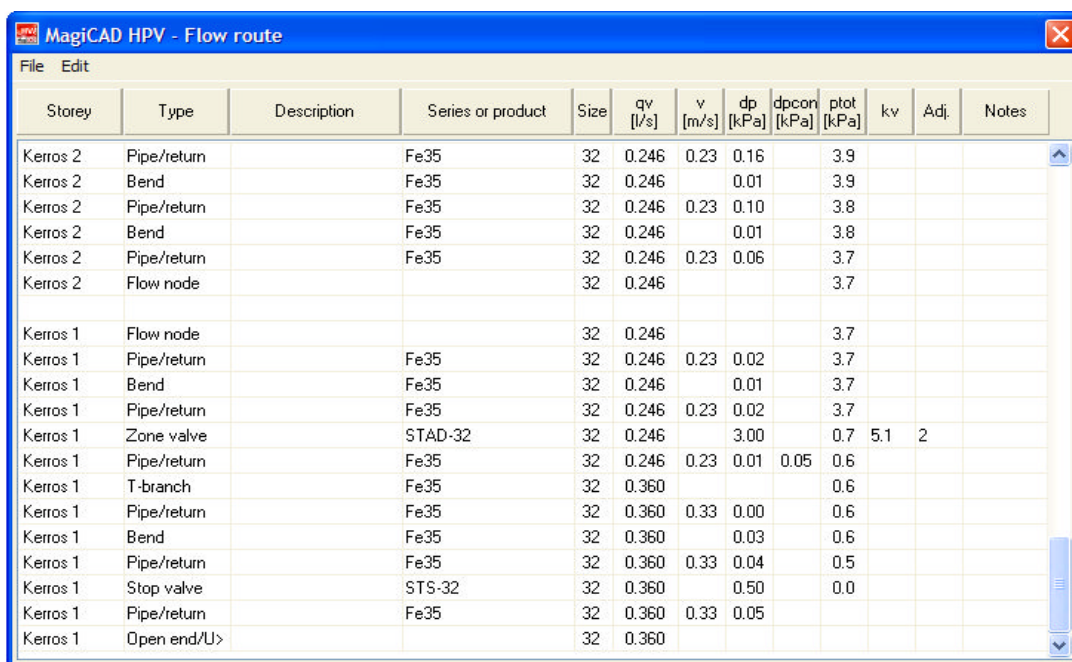
1. esisäätömenetelmä
2. iteratiivinen (toisto-) menetelmä
3. suhteellinen menetelmä
4. kompensointimenetelmä
5. paine-eromenetelmä

#### 3.1.1 Esisäätömenetelmä

Suomessa esisäätömenetelmä on yleisin käytetty menetelmä. Muita säätömenetelmiä (2 – 4) käytetään lähinnä silloin, kun esisäätömenetelmää ei voida syystä tai toisesta käyttää. Käytettäessä esisäätömenetelmää suunnittelija laskee esiasetusarvot eli esisäätöarvot kaikille kertsäätöventtiileille ja ilmoittaa ne piirustuksissa. Tämän etuna on se, että urakoitsija voi esisäätää kaikki venttiilit jo asennuksen yhteydessä huuhdeltuaan verkoston. Esisäätömenetelmän käyttö yksinkertaistaa huomattavasti säätötyötä ja säästää aikaa sekä vaivaa. Minkään muun säätömenetelmän käyttö uusissa

verkostoissa ei ole perusteltua mitoittavien suunnitteluohjelmien käytön myötä, sillä suunnitteluohjelmat laskevat automaattisesti esisäättöarvot ja tuotemallien pohjalta suunnittelija voi lasketta esisäättöarvot minkä tahansa valmistajan venttiileille tai vaihtoehtoisesti käyttää kv-arvoa.

Vaikka esisäättöarvot lasketaan toimistopöydän ääressä ja hyvin harvoin verkosto voidaan rakentaa täysin piirustusten mukaiseksi, silti tarkkaan painehäviölaskentaan perustuvien suunnitteluohjelmien laskemat esisäättöarvot ovat käytännössä lähellä todellisia arvoja, joihin mittauksen ja säädön myötä päädytään. Verkostot suunnitellaan kolmiulotteisesti, jolloin verkostokuvauksesta tulee melko tarkasti samanlainen kuin todellisesta verkostosta. Kuvassa 16 on esitetty MagiCAD-suunnitteluohjelman painehäviölaskenta erään verkoston vaikeimmasta eli mitoittavasta kiertopiiristä.



Storey	Type	Description	Series or product	Size	qv [l/s]	v [m/s]	dp [kPa]	dpcon [kPa]	plot [kPa]	kv	Adj.	Notes
Kerros 2	Pipe/return		Fe35	32	0.246	0.23	0.16		3.9			
Kerros 2	Bend		Fe35	32	0.246		0.01		3.9			
Kerros 2	Pipe/return		Fe35	32	0.246	0.23	0.10		3.8			
Kerros 2	Bend		Fe35	32	0.246		0.01		3.8			
Kerros 2	Pipe/return		Fe35	32	0.246	0.23	0.06		3.7			
Kerros 2	Flow node			32	0.246				3.7			
Kerros 1	Flow node			32	0.246				3.7			
Kerros 1	Pipe/return		Fe35	32	0.246	0.23	0.02		3.7			
Kerros 1	Bend		Fe35	32	0.246		0.01		3.7			
Kerros 1	Pipe/return		Fe35	32	0.246	0.23	0.02		3.7			
Kerros 1	Zone valve		STAD-32	32	0.246		3.00		0.7	5.1	2	
Kerros 1	Pipe/return		Fe35	32	0.246	0.23	0.01	0.05	0.6			
Kerros 1	T-branch		Fe35	32	0.360				0.6			
Kerros 1	Pipe/return		Fe35	32	0.360	0.33	0.00		0.6			
Kerros 1	Bend		Fe35	32	0.360		0.03		0.6			
Kerros 1	Pipe/return		Fe35	32	0.360	0.33	0.04		0.5			
Kerros 1	Stop valve		STS-32	32	0.360		0.50		0.0			
Kerros 1	Pipe/return		Fe35	32	0.360	0.33	0.05					
Kerros 1	Open end/U>			32	0.360							

Kuva 16 Tarkka painehäviölaskenta MagiCAD:ssä. (MagiCAD 2006.5)

### 3.1.2 Iteratiivinen menetelmä

Iteratiivista menetelmää käytetään yleensä silloin kun muita menetelmiä ei voida syystä tai toisesta käyttää. Tyypillisesti iteratiivista menetelmää joudutaan käyttämään verkostoihin, joita ei voida kertosäätöventtiilien puutteen vuoksi jakaa moduuleihin. Iteratiivinen menetelmä on yksinkertainen suorittaa, mutta vaatii paljon aikaa ja vaivaa. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 4)

Iteratiivisessa menetelmässä säätötyö aloitetaan pumppua lähimpänä olevista piireistä, joissa on todennäköisesti ylivirtaamia. Ylivirtaamia kuristetaan ja piirit, joiden venttiileissä on alivirtaamia, jätetään täysin auki. Säätötyötä toistetaan niin kauan, kunnes mitatut virtaamat vastaavat riittävällä tarkkuudella suunniteltuja virtaamia. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 4) Isojen verkostojen säätäminen iteratiivisella menetelmällä on yksinkertaisesti liian työlästä ja aikaa vievää.

### 3.1.3 Suhteellinen menetelmä

Suhteellinen menetelmä perustuu siihen, että piiriin yhteisesti vaikuttavan paine-eron muutokset muuttavat virtaamia piirissä samassa suhteessa. Suhteellisessa menetelmässä tarkastellaan säädettävien piirien mitatun virtaaman ja laskennallisen virtaaman suhdetta. Säätötyö aloitetaan laskemalla kaikkien piirien virtaamasuhteet. Tavoitteena on saada kaikille piireille sama virtaamasuhde, tällöin säädettävien piirien virtaamat muuttuvat samassa suhteessa. Säätötyö etenee haarajohdoista kohti pääjohdtoa. Lopulta verkoston pääventtiiliä säätämällä saadaan kaikille verkoston venttiileille virtaamasuhteeksi 1. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 5)

Menetelmä on työläs ja aikaa vievä, mutta menetelmän hyvänä puolena on se, että perussäädön toteutus onnistuu yhden mittauksen voimin ja teoriassa säätötyö voidaan tehdä ilman esisäätöarvoja. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 5)

### 3.1.4 Kompensointimenetelmä

Kompensointimenetelmä on Tour & Andersson Oy:n (TA) kehittämä. Se on suhteellisesta menetelmästä pidemmälle kehitetty versio. Kompensointimenetelmässä virtaamasuhteet pidetään kokoajan arvossa 1. Virtaamasuhteen pitämiseksi arvossa 1 haarajohdon vaikeimman piirin kertosäätöventtiilistä (vertailuventtiili) mitataan jatkuvasti virtaamaa. Säätötyön edetessä haarajohdossa vertailuventtiilin virtaaman muutokset kompensoidaan haarajohdon pääventtiiliä säätämällä. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 5 – 10)

Kompensointimenetelmän etuja ovat:

1. verkosto voidaan ottaa käyttöön osittain ilman, että koko verkostoa tarvitsee säätää uudelleen sen valmistuttua
2. säätöön käytettävä aika vähenee huomattavasti verrattuna suhteelliseen menetelmään, koska kompensointimenetelmä vaatii vain yhden virtaama-asetuksen venttiiliä kohden
3. pumpun nostokorkeus saadaan minimoitua, sillä pumpun ylimääräinen paine jää menetelmässä verkoston pääventtiilille

Kompensointimenetelmä on menetelmänä paras, jos syystä tai toisesta ei haluta laskea venttiilien esisäätöarvoja. Perussäädön suorittaminen ilman esisäätöarvoja saattaa kuitenkin olla huomattavan paljon työläämpää kuin esisäätöarvojen laskeminen suunnitteluohjelmistolla. Kompensointimenetelmän työvaiheet ovat:

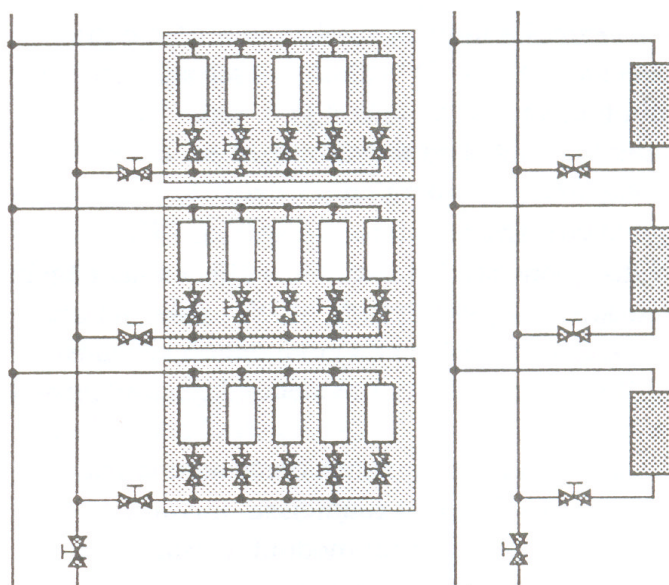
1. verkosto kuvataan moduulien avulla tietokoneelle
2. siirretään verkostokuvaus tietokoneelta vesivirtamittarille
3. mitataan ja säädetään verkosto käyttämällä samanaikaisesti kahta vesivirtamittaria

### 3.1.5 Paine-eromenetelmä

Paine-eromenetelmää käytetään patteriverkoston perussäädössä silloin, kun halutaan tehdä perussäätö mahdollisimman tarkasti. Paine-eromenetelmän käyttö edellyttää suunnittelijan laskemia esisäätöarvoja. Sillä voidaan päästä edulliseen ja tarkkaan perussäätöön, koska paine-ero voidaan mitata huomattavasti tarkemmin kuin vesivirta (LVI-ohjekortti 41-10230 1994, 8). Menetelmä perustuu linjojen paine-eron mittaamiseen.

### 3.1.6 Moduulimaisen verkostorakenteen edut perussäädössä

Teoriassa yhden kertasäätöventtiilin asennus jokaiselle verkoston laitteelle riittää oikean virtaamajakauman saavuttamiseksi. Tällöin kuitenkin perussäätöä tehtäessä muuttuu yhtäkin virtaamaa säädettäessä myös painehäviö kyseisessä virtauspiirissä, mikä edelleen muuttaa paine-eroja muualla verkostossa; laitteissa, venttiileissä ja putkissa. Kertasäätöventtiilin virtaaman säätäminen mitoitusarvoon muuttaa siis myös jo säädettyjen kertasäätöventtiilien virtaamia. Kun verkostossa muutetaan yhtä virtaamaa, muutetaan samalla enemmän tai vähemmän kaikkia muitakin virtaamia. Tarvitaan lukuisia pitkävetisiä korjausmittauksia ja -säätöjä, ennen kuin kaikki virtaamat ovat mitoituksen mukaiset, mikä on käytännössä toivotonta. Tämän vuoksi on verkosto käytännössä jaettava perussäätöä ajatellen moduuleihin (Kuva 17) ja asennettava jokaiselle moduulille yhteinen kertasäätöventtiili, jolla voidaan kompensoida kaikki missä tahansa muualla verkostossa tapahtuvat virtaamamuutokset. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 2)



Kuva 17 Moduulimainen verkostorakenne, oikealla saman runkojohdon haarat muodostavat uuden moduulin. (Lähde Petitjean & Huuhtanen 1994, 5)

Moduuleja voidaan säätää ja mitata toisistaan riippumatta. Venttiilejä voidaan käyttää koko verkostoa koskeviin tai paikallisiin vianetsintöihin. Ne säästävät aikaa ja optimoivat perussäädön sekä minimoivat pumppauskustannukset. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 2)

### 3.1.7 Putkimitoituksen vaikutus säädettävyyteen

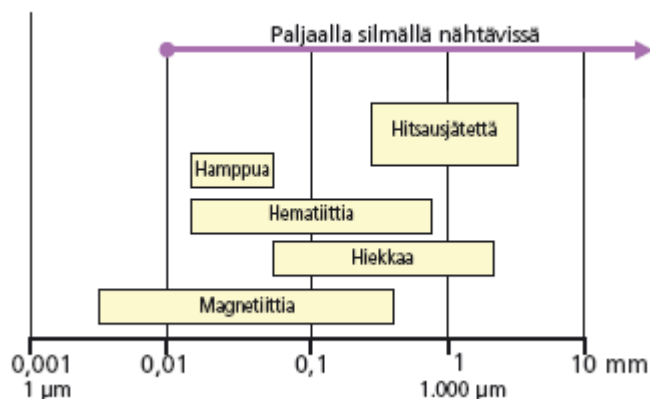
Putkistomitoituksella voidaan vaikuttaa säädettävyyteen epäsuorasti. Mitä väljemmäksi verkosto mitoitetaan ja venttiilit verraten suurelle paine-erolle, niin sitä vähemmän muutokset mallinnetun ja todellisen verkoston välillä vaikuttavat. Kitkavastuksien ja putkenosien painehäviö on tällöin suhteessa niin pieni, etteivät muutokset juuri vaikuta. Toisaalta, jos verkosto mitoitetaan kireäksi ja venttiilien paine-erot pieniksi, silloin muutoksilla on suurempi vaikutus ja mallinnus täytyy ehkä korjata todellisen verkoston kaltaiseksi, jotta lasketut esisäättöarvot vastaisivat riittävällä tarkkuudella niitä arvoja, joihin säädön myötä päädytään.

Vakiopaine-eromitoitukseen päädyttiin osittain siksi, että aiemmin ennen mitoitettavia suunnitteluohjelmia tarkka painehäviölaskenta oli työlästä tehdä käsin ja saattoi siitä syystä jäädä jopa tekemättä, minkä seurauksena perussäättökin saattoi jäädä tekemättä.

### 3.1.8 Toimintalämpötilojen vaikutus säädettävyyteen

Verkoston valitut toimintalämpötilat vaikuttavat säädettävyyteen. Suuri lämpötilaero pienentää putkikokoa, mutta suurentaa lämpöpinta-alaa. Vesivirtojen kannalta suuri lämpötilaero ei ole kuitenkaan eduksi, koska niiden säätö vaikeutuu sitä enemmän, mitä suuremmaksi meno- ja paluueden lämpötilaero kasvaa. Esimerkiksi venttiilien kv-arvon ei tulisi olla pienempi kuin 0,1, mikä vastaa halkaisijaltaan 1,5 mm reikää. Lämmityksessä 30 °C lämpötilaero johtaa helposti tätä pienempiin patteriventtiilien esisäättöarvoihin. Isompien vesivirtojen säätö on helpompaa ja tulevaisuudessa pyrkimys näyttää olevan lämmityksessä lämpötilatason alentamiseen ja lämpötilaeron pienentämiseen meno- ja paluujohdon välillä. Lämpötilaero 60/40 °C tai jopa 55/45 °C näyttää vastaavan nykyistä mitoitusta paremmin uusien energiataloudellisten rakennusten lämmitystarpeita. (Seppänen 2001, 164)

Pieni reikä altistaa venttiilin tukoksille - kuvassa 18 on esitetty verkostoissa esiintyvien likapartikkelien kokoja. Oras Oy:n DN 10 ja DN 15 patteriventtiileissä kv-arvo 0,1 ylittyy vasta esisäädön asetusarvolla 2,5, jolloin kv-arvo on 0,105.



Kuva 18 Suljetuissa putkiverkostoissa esiintyvien likapartikkelien kokoja. (Oy Kolmeks Ab 2007)

### 3.2 Äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus

Suomessa LVI-alalla on - ehkä huonoista kokemuksista johtuen - kiinnitetty poikkeuksellisen paljon huomioita verkostojen ääniongelmiiin. Esimerkiksi äänen sivutietsiirtymää ei missään muualla Euroopassa esitetä samalla tavoin viranomaismääräyksin rajoitettavaksi kuin Suomessa. (Petitjean & Huuhtanen 1994, 1) Äänen sivutietsiirtymällä tarkoitetaan äänen kulkeutumista kiertäen eri rakenteita pitkin. Ääni voi esimerkiksi kulkea putkistoja pitkin huoneistosta toiseen.

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty Suomen rakennusmääräyskokoelman osan C1 LVI-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttamat suurimmat sallitut äänitasot eri rakennuksissa.

Taulukko 3 Rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama suurin sallittu äänitaso asunnossa. (RakMK C1 1998)

Tila	Keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ (dB)	Enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ (dB)
Keittiö	33	38
Muut asuinhuoneet	28	33

HUOM !

- Asuinhuone on huonetila, joka on ensisijaisesti tarkoitettu jatkuvaan asumiskäyttöön. Eteistä, käytävää, kylpyhuonetta tai muuta sellaista huonetilaa ei pidetä asuinhuoneena (RakMK:n osa G1).
- Muiden huonetilojen osalla noudatetaan RakMK:n osassa D2 esitettyjä ohjearvoja.

Taulukko 4 Rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama suurin sallittu äänitaso hotelleissa, hoitolaitoksissa, oppilaitoksissa, päiväkodeissa, toimistoissa ja vastaavissa. (RakMK C1 1998)

	$L_{A,eq,T}$ (dB)	$L_{A,max}$ (dB)
- Potilashuoneissa, lasten lepo- ja vastaavissa tiloissa	28	33
- Luokkahuoneissa, toimistohuoneissa ja vastaavissa tiloissa	33	38

Tavallisesti suljetun putkiverkoston häiritsevimmät virtausäänet syntyvät siellä missä painehäviö aiheutetaan eli venttiileissä. Venttiileissä virtaavan nesteen nopeus on suurimmillaan. Virtaavan nesteen aiheuttama ääniteho on likimain verrannollinen virtausnopeuden kuudenteen potenssiin (Kaava 18), joten melko pienikin virtausnopeuden lisäys lisää äänitehoa tuntuvasti (LVI-ohjekortti 12–10327 2001, 2). Kaavalla 19 on esitetty vastaavasti äänen tehotason riippuvuus virtausnopeudesta (Halme & Seppänen 2002, 52). Jos venttiilien aiheuttama ääni on liian suuri, venttiilit ja putkisto on yleensä mitoitettu liian tiukaksi tai pumppu mitoitettu liian suureksi (LVI-ohjekortti 12–10327 2001, 2).

$$P \sim v^6 \quad (18)$$

$$\Delta L_w \sim 60 * \lg(v) \quad (19)$$

$P$  = ääniteho, W

$\Delta L_w$  = äänen tehotason lisäys, dB

$v$  = virtausnopeus, m/s

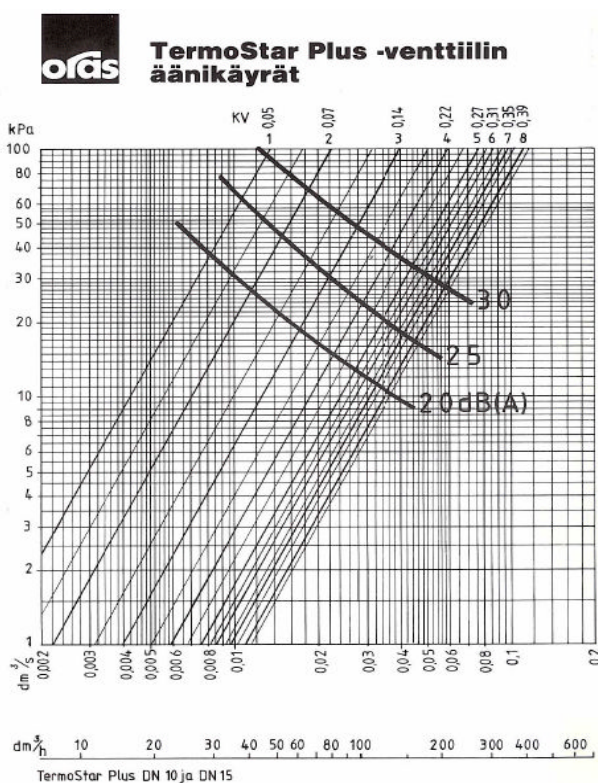
Kaavan 19 perusteella virtausnopeuden kaksinkertaistuksessa, äänen tehotaso nousee noin 18 dB. Jos äänen tehotaso on 20 dB ennen virtausnopeuden kaksinkertaistumista, tällöin virtausnopeuden kaksinkertaistuksessa äänen tehotasoksi tulee noin 38 dB.



Korkeasta paine-erosta aiheutuvat venttiilien virtausäänet ovat hyvin ongelmallisia. Esimerkiksi CEN-standardia (European Committee for Standardisation; EFTA- ja EU-maiden standardisoimisjärjestöjen yhteistyöelin) laadittaessa ei päästy yksimielisyyteen termostaattisten patteriventtiilien äänimittausten standardisoinnista. Tästä syystä valmistajat eivät yleensä esitä käyrästöissään äänitasoja. (Petitjean & Huuhanen 1994, 1-2)

Venttiilien äänentasoja on kuitenkin aiemmin jonkin verran mitattu. Esimerkiksi Oras Oy:n vanhasta TermoStar Plus-patteriventtiilistä on esitetty mitatut äänentasokäyrät (Kuva 19). TermoStar Plus-patteriventtiilin mittaukset on aikoinaan tehnyt Lappeenrannan TKK soveltaen Nordtestin mittausohjetta. (Vehanen 2007)

Nordtest on Pohjoismaiden ministerineuvoston alainen laitos, joka toimii pohjoismaisena yhteistyöelimenä vaatimustenmukaisuuden arvioinnin (Conformity Assessment) alalla. Se on lähes 30 vuoden aikana tukenut yhteisten tutkimusmenetelmien kehitystä Pohjoismaissa ja julkaissut useita arviointimenetelmiä. LVI-alan testausmenetelmiä Nordtest on julkaissut pitkälti toista sataa.



Kuva 19 Oraksen vanhan patteriventtiilin (TermoStar Plus) äänikäyrät (A-taajuuspainotettu äänentaso). (Vehanen 2007)

Muidenkin venttiilien kohdalla tilanne on sama kuin patteriventtiilien - ei ole olemassa yhteisiä äänimittausstandardeja. Eri valmistajien venttiilien äänentasokäyrät eivät ole vertailukelpoisia keskenään, koska ne perustuvat erilaisiin mittausjärjestelyihin ja mittaustapoihin.

Venttiilien paine-eron on oltava riittävän suuri, että verkosto voidaan tasapainottaa, mutta toisaalta suurempi venttiilin paine-ero lisää ääniongelmien riskiä. Ääniongelmilta voidaan välttyä mitoittamalla putkisto väljäksi ja varmistamalla, etteivät venttiilien painehäviöt kasva missään verkoston osassa liian suuriksi. Kuvasta 19 voidaan todeta, että kyseiselle patteriventtiilille 10 kPa painehäviö on vielä täysin turvallinen paine-eroalue. Mikäli verkoston äänenkehityksellä on merkitystä, tulee putket mitoittaa siten, että nesteen virtausnopeus on välillä 0,3 – 1,0 m/s (LVI-ohjekortti 12-10327 2001, 2). Yleensä kitkapainehäviö 50 Pa/m vastaa virtausnopeutta < 0,5 m/s (Kohonen, Laitinen & Virtanen 1985, 103). Verkostojen mitoituskriteerejä käsitellään tarkemmin kappaleissa 4.1 ja 4.2.

### 3.3 Toimintaolosuhteiden muutosten vaikutukset

Pelkästään oikealla putkiston mitoituksella ja venttiileillä ei taata verkoston virtausmekanista tasapainoa muuttuvissa kuormitusolosuhteissa. Tällöin on suositeltavaa käyttää automaattisia säätöventtiileitä (ylivirtausventtiileitä tai paine-erosäätimiä), joilla voidaan tehokkaasti ehkäistä häiritsevien virtauksien syntyminen tapauksissa, joissa yksi tai useampi termostaattiventtiili tai toimilaitteikäyttöinen kertasäätöventtiili sulkeutuu ja sulkeutuessaan muuttaa verkoston painesuhteita. Samalla ehkäistään meluongelmien synty. Painevaihteluita voidaan pienentää myös pumpun säädöllä. (Sepänen 2001, 148)

Seuraavia perusteita voidaan käyttää lämmitysjärjestelmissä painesäädön tarpeellisuutta arvioitaessa. Kriteerit riippuvat mm. verkoston mitoituksesta, patteriventtiilien äänenkehityksestä ja patteriventtiilien esisäädöstä. Painesäätöä ei tarvita silloin, kun pumpun maksimipaine on alle 15 kPa ja patteriventtiilien suurin sallittu paine-ero on 10 kPa, tai kun pumpun maksimipaine on alle 32 kPa ja patteriventtiilin suurin sallittu paine-ero on alle 20 kPa. Linjakohtaista painesäätöä voidaan käyttää aina keskitehtyyn painesäädön asemasta. Lisäksi se tarvitaan aina, kun mitoituspaine-ero runkojoh-

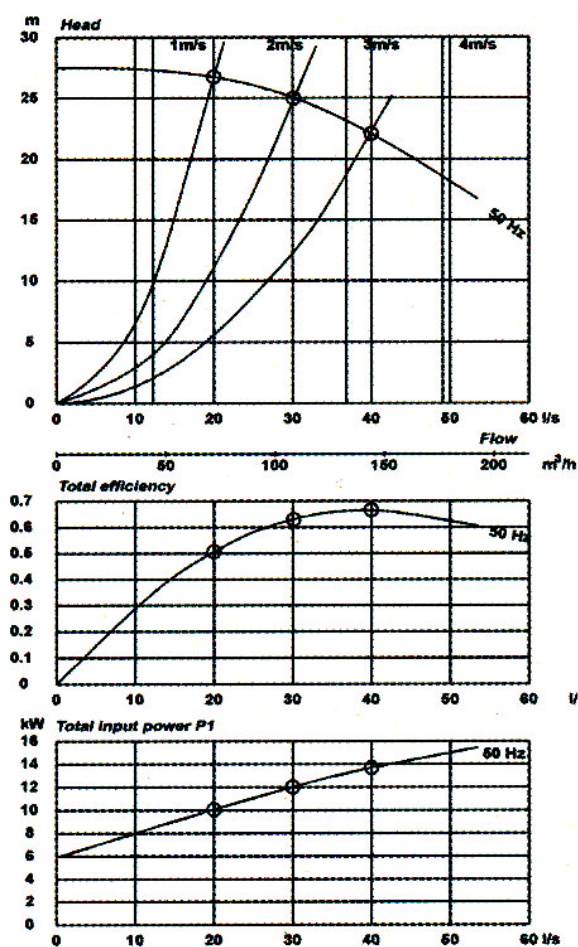
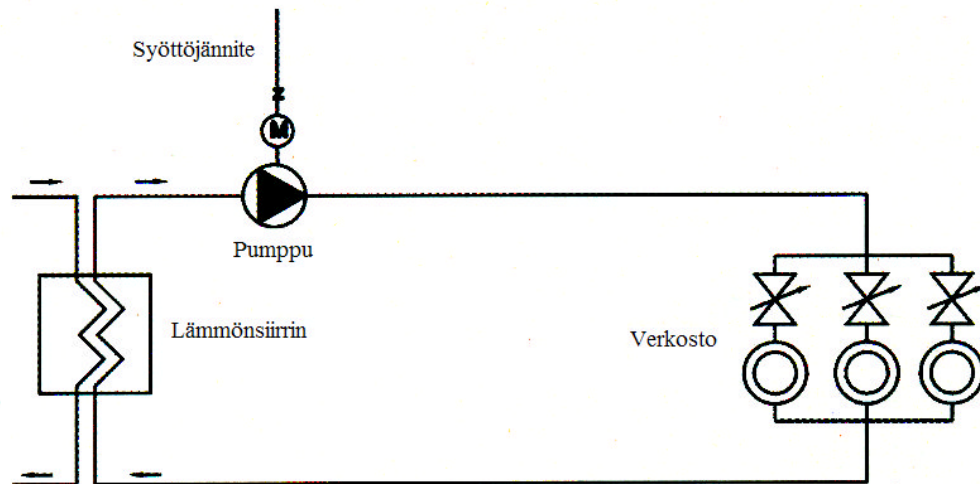
doissa lämmönjakokeskuksessa on yli 12 kPa ja patteriventtiilin suurin sallittu paine-ero on 10 kPa, tai kun mitoituspaine-ero runkojohdoissa on yli 30 kPa ja patteriventtiilin suurin sallittu paine-ero on 20 kPa. (Seppänen 2001, 198)

Taajuusmuuttajien halpenemisen myötä pumpun painesäädöstä on tullut yksi tärkeimmistä säätömuodoista ja keinoista hallita verkostojen virtausteknistä tasapainoa muuttuvissa kuormitusolosuhteissa. Lisäksi pumpun mitoittaminen on helpompaa taajuusmuuttajan ansioista, sillä pyörimisnopeutta muuttamalla löydetään pumpulle optimaalinen toimintapiste ja vältetään esimerkiksi juoksupyörän vaihtamiselta, jos pumppu on yli- tai alimitoitettu.

Pumpun painesäädön etuna verrattaessa automaattisiin paineentasaajaventtiileihin on se, että pumppu sijaitsee teknisessä tilassa, jolloin huolto on helppoa ja toiminta voidaan helposti tarkistaa. Automaattiset paineentasaajaventtiilit sijaitsevat rakennuksessa linjakohtaisesti, ja täten voivat olla piilossa esimerkiksi alaslasketun katon päällä. Automaattisen paineentasaajaventtiilin toimilaitteena on yleensä kalvo. Monimutkaisemman rakenteensa vuoksi sillä on myös suurempi vikaherkkyys kuin tavallisella kertasäätöventtiilillä.

Kuvissa 20 – 22 on esitetty yhden vakionopeuksisen ja kahden vakiopaine-erosäädöllä toimivan pumpun ominaiskäyrät. Kuvat havainnollistavat, miten eri pumpun säätömuodot eroavat toisistaan muuttuvissa kuormitusolosuhteissa. Käyttämällä kuvan 23 vakiopaine-erosäätöä verkoston yli, ääniongelmien riski pienenee ja pumppauskustannuksissa säästetään huomattavasti, varsinkin silloin kun virtaaman vaihtelu on suurta. Pienilläkin virtaaman muutoksilla saadaan säästöä.

Vakiopaine-ero säädöllä verkoston yli saavutetaan suurin hyöty silloin, kun käytetään kaksitieventtiileitä esimerkiksi jäähdytyspalkkiverkostoissa ja tuloilmakoneiden jäähdytysverkostoissa. Suurissa patteriverkostoissa on myös syytä käyttää vakiopaine-erosäätöä, jotta välttyttäisiin ääniongelmilta. Vakionopeuksiset pumput soveltuvat verkostoihin, joissa käytetään kolmitiekytkentää. Tällaisia verkostoja ovat esimerkiksi puhallinkonvektoriverkostot.



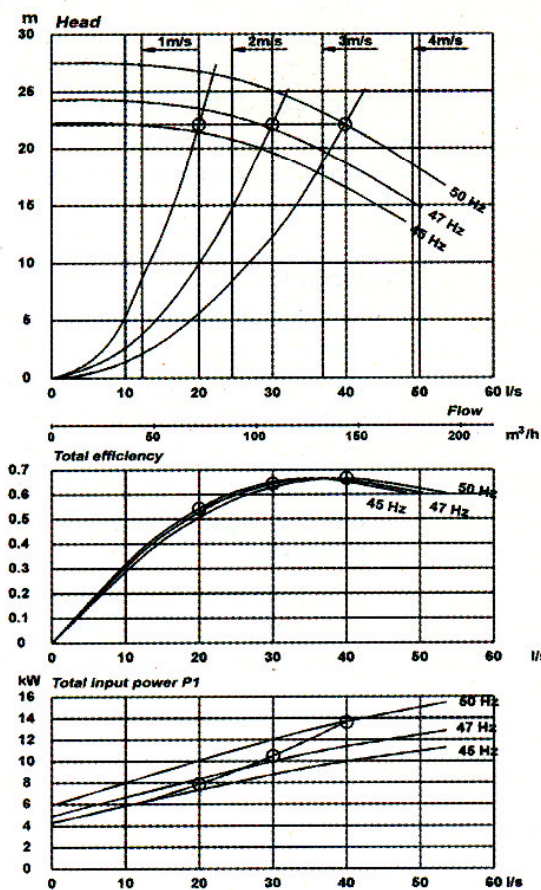
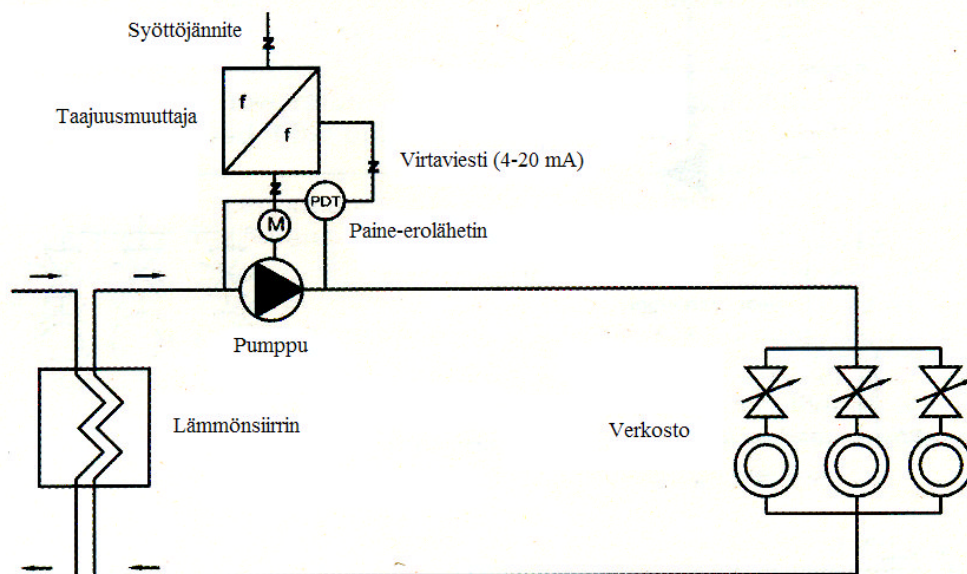
## Etuja:

- Jos virtauksen muutokset ovat pieniä (<10 %) niin energiatehokkuuden kannalta pyörimisnopeuden säätöä ei tarvita (riippuu pumpun koosta)
- Pienet hankintakustannukset
- Luotettava ja yksinkertainen rakenne

## Varjopuolia:

- Jos virtauksen muutokset ovat suuria (<50 %) niin energian kulutus on suurempi kuin pyörimisnopeussäädöllä, esimerkin käyrästä nähdään kun virtaama vaihtelee välillä 20-40 l/s tehontarve vaihtelee 13,7 kW ja 10 kW välillä
- Paine-ero muuttuu virtaaman muuttuessa, tämä saattaa aiheuttaa epätarkkuutta säätöön
- Ääniongelmien riski lisääntyy

Kuva 20 Vakionopeudella pyörivä pumppu (kuvan tekstit on käännetty suomeksi englanninkielisestä lähteestä). (Aittomäki & Kianta 2003, 73)



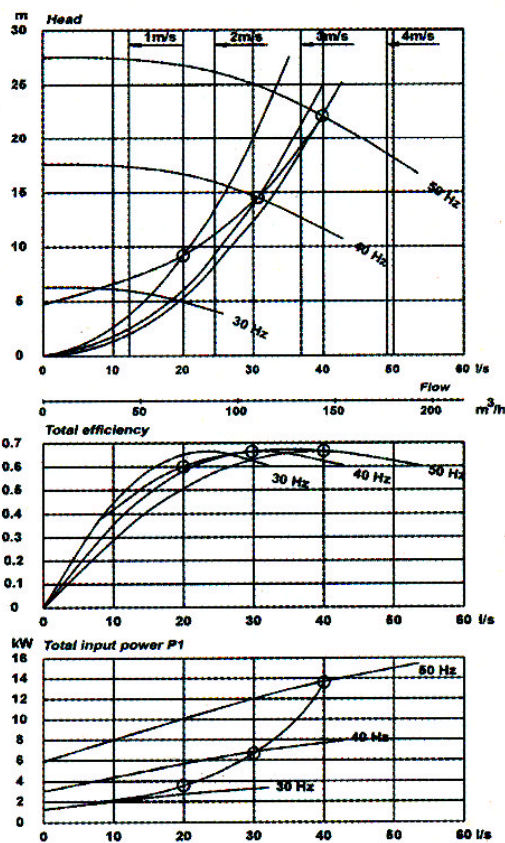
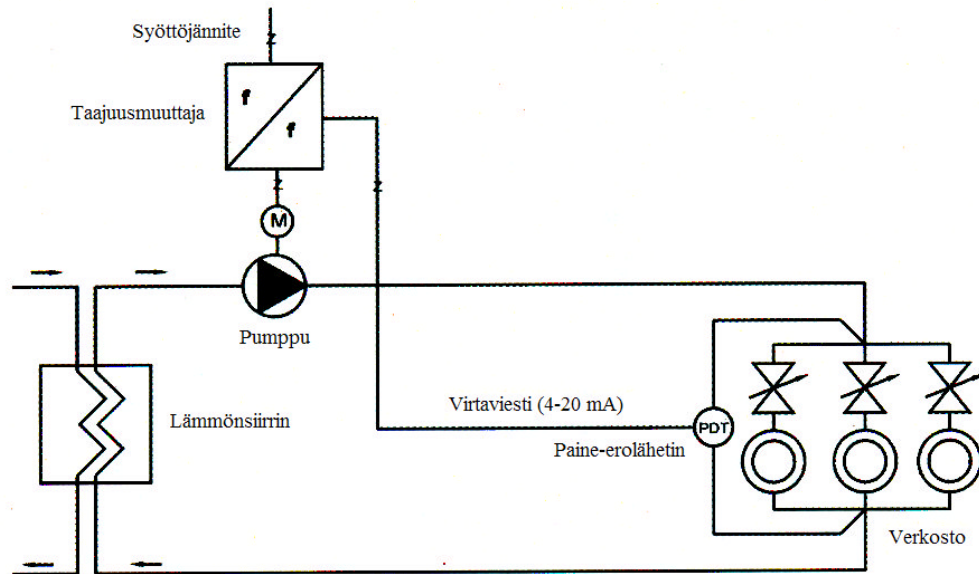
#### Etuja:

- Jos virtaus vaihtelee (>30 %) energiaa säästyy verrattuna vakionopeudella toimivaan pumppuun

#### Varjopuolia:

- Pienillä virtaaman muutoksilla (<10 %) energiankulutus ei ole paljon pienempi kuin vakionopeudella pyörivällä pumpulla, esimerkkinä käyrästä nähdään kun virtaama vaihtelee välillä 40-20 l/s tehontarve vaihtelee 13,7 kW ja 7,9 kW välillä, tällöin taajuus vaihtelee 50 Hz ja 45,5 Hz välillä
- Paine-ero verkoston yli muuttuu vesivirran vaihdellessa
- Säädön epätarkkuus
- Suuremmat investointikustannukset, tehtävä kannattavuuslaskelmat
- Monimutkaisempi rakenne - suurempi vikaherkkyys

Kuva 21 Vakiopaine-erosäätö pumpun yli (kuvan tekstit on käännetty suomeksi englanninkielisestä lähteestä). (Aittomäki & Kianta 2003, 74)



Etuja:

- Jos virtauksen muutokset ovat suuria (>50 %), saavutetaan huomattavia säästöjä energian kulutuksen pienentymisellä kun verrataan vakioyörimisnopeudella toimivaan pumppuun tai pumppuun joka toimii vakio painesäädöllä pumpun yli
- Jopa pienillä virtauksen muutoksilla saadaan säästöä energiankulutuksessa, esimerkin käyrästä nähdään kun virtaama vaihtelee välillä 20-40 l/s tehontarve vaihtelee 13,7 kW ja 3,7 kW välillä, tällöin taajuus vaihtelee 50 Hz ja 34 Hz välillä
- Vakio paine-eron vallitessa verkoston yli saavutetaan oikeat virtaamat verkoston jokaisessa haarassa eri kuormituksilla
- Ääniongelmien riski pienenee
- Käytettäessä isoja pumppuja, energian kulutuksen pienentymisen ansiosta investoinnin takaisinmaksuaika jää lyhyeksi

Varjo puolia:

- Monimutkaisempi rakenne - suurempi vikaherkkyys

Kuva 22 Vakio paine-erosäätö verkoston yli (kuvan tekstit on käännetty suomeksi englanninkielisestä lähteestä). (Aittomäki & Kianta 2003, 75)

## 4 JULKAISTUJA MITOITUSOHJEITA

### 4.1 Lämmitysverkostot

Suomen rakentamismääräyskokoelman 1.1.2008 voimaan tulleen osan D3 määräyksen mukaan lämmitysverkosto on suunniteltava, rakennettava ja esisäädettävä siten, että huonetiloissa saavutetaan mitoituslämpötila samanaikaisesti riittävän tarkasti. Ohjeistuksena lämmitysverkosto jaetaan tarkoituksenmukaisesti ryhmiin ja mitoite-  
taan siten, että painehäviö on vähäinen. (RakMK D3 2007, 6)

Alan kirjallisuudessa on julkaistu ohjeellisia mitoituskriteerejä ja myös tavarantoi-  
mittajat ovat julkaisseet omia tuotekohtaisia mitoitusohjeitaan. Suurin osa mitoi-  
tusohjeista koskee patteriverkostoja. Muiden verkostojen kuten esimerkiksi IV-  
lämpöjohtoverkostojen mitoitusohjeita ei juuri löydy. Mitoituskriteereissä on jonkin  
verran eroja lähteestä riippuen. Lämmitysverkostoihin liittyvät ohjeet on kerätty läh-  
teineen taulukkoon 5.

Taulukko 5 Lämmitysverkostojen mitoituskriteerejä.

Putkitusjärjestelmä	Keskimääräinen painehäviö	Veden vir- tausnopeus	Patteri- venttiilin painehäviö	Linjasäätö- venttiilin painehäviö	Lähde
	[Pa/m]	[m/s]	[kPa]	[kPa]	
2-putkijärjestelmä	50...75, 100*	0,3-1,0	2...5	3...5	LVI-ohjekortti 12-10343
2-putkijärjestelmä	50, 100*	0,3-1,0	≥2	≥3	LVI-ohjekortti 12-10327
2-putkijärjestelmä	50 max	-	4	1...10α	Kohonen, Laitinen & Virtanen 1985
Käännetty paluu	100 max	-	2	1...10α	Kohonen, Laitinen & Virtanen 1985
2-putkijärjestelmä	≤50	0,3...	2...4	1...10α	Seppänen 2001
2-putkijärjestelmä	75, 150 max	1,0 max	-	-	Outokumpu 2008
IV- lämpöjohtoverkosto	50	-	-	-	LVI-ohjekortti 31-10164

\* kytkenäjohtoon painehäviö

α useita pattereita käsittävät vaakalinjat monitasoratkaisuissa tulee varustaa huomattavan suurelle (~10 kPa) paine-erolle mitoitetuilla kertasäätöventtiileillä

Mitoituskriteerien lisäksi on julkaistu mitoitusaulukoita eri putkimateriaaleille. Mitoitusaulukoissa on esitetty suositeltavat mitoitusrajat perustuen optimipainehäviöön ja virtauksen aiheuttamaan korroosioon. Teräsputkilla rajanopeutena on käytetty 0,8 m/s ja kupariputkilla 1,0 m/s. Muovi- ja komposiittiputkilla rajanopeutta ei ole käytetty, vaan mitoitusrajat perustuvat pelkästään optimipainehäviöön. Taulukko 6 on esimerkki teräsputkien mitoitusaulukosta edellä mainituilla kriteereillä. (Sarkki & Sarkki 2007, 41)

Taulukko 6 Mitoitusaulukko, teräsputket. Suositeltu mitoitusraja on esitetty taulukossa murtoviivalla (Sarkki & Sarkki 2008, 41).

Virtaama ja teho [kW] [l/s]	Putkikoko DN ja painehäviö [Pa/m]												
	$\Delta t=20^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=30^{\circ}\text{C}$	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
0,01	0,8	1,2	7	2									
0,03	2,5	3,7	93	27	6								
0,06	5,0	7,5	330	94	22	7							
0,10	8,3	12,4	850	240	54	18	5						
0,15	12,4	18,6		516	110	37	9						
0,25	20,7	31,0			270	92	23	11					
0,30	24,8	37,2			420	134	33	16					
0,40	33,0	49,6				230	56	26	7				
0,50	41,4	62,1				350	84	40	11				
0,60	49,6	74,4					118	56	15				
0,75	62,0	93,0					185	85	23	6			
1,00	82,7	124,0					319	148	40	11	5		
1,50	124,0	186,0						316	84	23	10	3	
2,20	182,0	273,0							170	48	21	6	2
2,90	240,0	360,0							301	80	36	10	3
4,30	356,0	534,0								177	76	20	7
7,20	596,0	894,0									198	57	19
10,80	894,0	1341,0										121	42

Käytännön kokemusten ja tutkimusten perusteella hyvään lopputulokseen tasapainoituksen ja äänitekniikan kannalta päästään, jos putkisto mitoitetaan siten, että kitkainehäviö metriä kohden on enintään 50 Pa/m (Seppänen 2001, 147). Ohjeiden mukaan, jos mitoittettava putkiosuus on lyhyt tai sen osuus putkiston painehäviöistä ei ole merkittävä, voidaan kyseiselle osuudelle sallia keskimääräiseksi painehäviöksi 100 Pa/m (LVI-ohjekortti 12–10327 2001, 5). Käytännössä tätä voidaan soveltaa mitoittamalla jonkin laitteen kytkentäjohto samalla putkikoolla kuin laitteen putkiyhdyt. Tällöin vältetään turhilta putkikoon muutoksilta kytkentäjohtojen ja rungon välil-



lä. Jotta näin voidaan tehdä kytkentäjohto ei saa olla liian pitkä, ettei kytkentäjohtoon painehäviö kasva liikaa.

Ohjeissa on annettu suosituksia veden virtausnopeudelle. Kaasukuplien poiskuljetumisen kannalta vähimmäisnopeuden tulisi olla 0,3 m/s. Suurin virtausnopeus on rajoitettu eroosiokorroosion ja putkivirtauksen melunkehityksen takia. Enimmäisnopeus kupariputkissa on 1,5 m/s eroosiokorroosion vuoksi. Muoviputkissa nopeus voi olla jopa 3,0 m/s liitintyyppistä riippuen. Käytännössä virtausnopeuden yläraja on 1,5 – 3,0 m/s. (Seppänen 2001, 147) Ääniteknisesti suositeltava enimmäisnopeus lämmitysjärjestelmissä on 1,0 m/s (LVI-ohjekortti 12–10327 2001, 5). Teräsputket ja ruostumattomat teräsputket kestävät kuitenkin eroosiokorroosion kannalta huomattavasti suurempiakin virtausnopeuksia.

Mitoittavan kiertopiirin patteriventtiilin ja kertasäätöventtiilin paine-eron valinta tehdään aina tapauskohtaisesti. Määritettäessä mitoittavan kiertopiirin patteriventtiilin paine-eroa, kannattaa tarkistaa, ettei paine-ero kasva liian suureksi virtausteknisesti helpommassa asemassa olevilla patteriventtiileillä. Kaksiputkijärjestelmissä hyvänä oletusarvona patteriventtiilin paine-erolle mitoittavassa kiertopiirissä voidaan pitää 4 kPa (Kohonen, Laitinen & Virtanen 1985, 175). Kertasäätöventtiilin paine-ero mitoittavassa kiertopiirissä on oltava vähintään 3 kPa, jotta virtaamat voitaisiin mitata riittävän tarkasti (Petitjean & Huuhtanen 1994, 1). 3 kPa on sopiva oletusarvo mitoittavan kiertopiirin kertasäätöventtiilin paine-erolle. Kuitenkin monikerroksisten rakennusten vaakalinjojen kertasäätöventtiileille pitäisi varata noin 10 kPa paine-ero, koska vaakalinjojen säätö on vaikeaa (Seppänen 2001, 149).

Käännetyn paluun järjestelmä tasapainottuu rakenteensa (jokaisen patterin kiertopiiri on yhtä pitkä) vuoksi helpommin. Siksi käännetyn paluun järjestelmän putkistomitoituksessa voidaan käyttää suurempaa kitkapainehäviötä metrille (100 Pa/m) ja mitoittavan kiertopiirin patteriventtiileillä voidaan käyttää pienempää painehäviötä (2 kPa). (Seppänen 2001, 149).

IV-lämpöjohtoverkoston koskevat samat mitoitusperiaatteet kuin patteriverkostoakin. Putkistomitoituksessa kitkapainehäviö 50 Pa/m on varman päälle, mutta käytännössä jos verkosto on iso ja virtaamat suuria, joudutaan sallimaan suurempiakin kitka-

painehäviötä putkimetrille, tämä siksi etteivät putkikoot kasvaisi järjettömän suuriksi. IV-lämpöjohtoverkosto on rakenteeltaan yksinkertaisempi kuin patteriverkosto (vähemmän kulutusposteita), joten tasapainotuksen onnistumisen kannalta voidaan suurempi painehäviö sallia. IV-lämpöjohtoverkostoihin voidaan soveltaa samaa ohjetta kuin taulukossa 7 on esitetty jäähdytysverkostojen jakojohdoille. Käytännön kokemusten perusteella isojen verkostojen runkojohdot voidaan mitoittaa siten, että suurin sallittu virtausnopeus on välillä 0,5 – 1,0 m/s (Aittomäki & Kianta 2003, 34). Tällöin verkosto on vielä tasapainotettavissa.

#### 4.2 Jäähdytysverkostot

Jäähdytysverkostojen mitoitusohjeita ei ole juurikaan saatavilla, eikä tutkimuksia jäähdytysverkostojen mitoituksesta ole tehty. Jäähdytysverkostojen mitoituksessa voidaan käyttää samoja mitoituskriteerejä kuin lämmitysverkostojen mitoituksessa, joskin jäähdytysjärjestelmissä käytettävät pienemmät lämpötilaerot johtavat helposti tilanteeseen, jossa putkikoot kasvavat suuriksi. Tästä syystä valitulla mitoituskriteerillä saattaa olla huomattava vaikutus verkoston alkuinvestointikustannuksiin, varsinkin jos putkistomateriaalina käytetään ruostumatonta terästä. Ruostumattomissa teräsputkissa suuremman putkikoon hinnan ero pienempään kokoon on merkittävä, ja vielä merkittävämpi on suuremman putkistovarusteen esimerkiksi venttiilin hinnan ero verrattuna kokoa pienempään venttiiliin. Jäähdytysverkostoihin liittyvät ohjeet on kerätty lähteineen taulukkoon 7.

Taulukko 7 Jäähdytysverkostojen mitoituskriteerejä.

Putkiosuus	Keskimääräinen painehäviö	Virtausnopeus	Lähde
	[Pa/m]	[m/s]	
Jakojohdot	-	0,5-1,0	Aittomäki & Kianta 2003
KytKentäjohdot	-	1,5-3,0	Aittomäki & Kianta 2003
KytKentäjohdot	150 max	1,0 max	Outokumpu 2008

### 4.3 Mitoituskäytännöt ulkomailla

Mitoituskäytännöt eri maiden välillä vaihtelevat merkittävästi. Pohjoismaissa kitkapainehäviön maksimiarvona putkien mitoituksessa käytetään yleensä 100 Pa/m tai alle. Putket mitoitetaan kitkapainehäviön perusteella jolloin virtausnopeuteen ei juuri puututa. Tällainen mitoitus johtaa pieniin virtausnopeuksiin putkissa. (Petitjean 1994, 36)

Ranskassa putket mitoitetaan maksimivirtausnopeuden perusteella taulukon 8 mukaisesti. Asuinhuoneistojen läheisyydessä virtausnopeus pudotetaan 1,5 m/s → 1,2 m/s. (Petitjean 1994, 35)

Taulukko 8 Maksimivirtausnopeudet Ranskassa putkikoosta riippuvana.

Maksimi virtausnopeudet				
DN	di	[m/s]	[l/s]	[Pa/m]
15	16,0	0,55	0,110	332
20	21,6	0,70	0,256	352
25	27,2	0,80	0,464	337
32	35,9	0,90	0,910	296
40	41,8	0,95	1,302	271
50	53,0	1,10	2,425	265
65	70,3	1,30	5,041	256
80	82,5	1,40	7,477	242
100	107,1	1,50	13,501	200
125	131,7	1,50	20,405	156
150	159,3	1,50	29,869	124
200	207,3	1,50	50,581	90
250	260,4	1,50	79,812	68
300	309,7	1,50	112,893	55

Englannissa suositellaan, että putket mitoittaisiin virtausnopeuden perusteella siten, että alle 50 mm putkissa virtausnopeus on 0,75 – 1,5 m/s ja yli 50 mm putkissa virtausnopeus on välillä 1,25 – 3,0 m/s. (Petitjean 1994, 36)

Yhdysvalloissa kitkapainehäviön maksimina käytetään 400 Pa/m. Tämä johtaa verkostoihin, joiden keskimääräiseksi kitkapainehäviöksi tulee 250 Pa/m. Virtausnopeuden minimiarvo alle 50 mm putkissa tulisi olla yli 0,6 m/s ja suurissa putkissa kitka-

painehäviö ei saisi olla pienempi kuin 75 Pa/m. Minimivirtausnopeus on rajoitettu ilman poiskuljettamisen takia. (Petitjean 1994, 36)

Pienet virtausnopeudet putkistossa saattavat aiheuttaa isojen partikkeleiden kerääntymistä. Partikkelien kerääntymisen seurauksena putkistoon voi muodostua tukoksia. Ilman poiskuljettuminen on tehokkaampaa suuremmilla virtausnopeuksilla. Suuremmat virtausnopeudet lisäävät pumppauskustannuksia, ääntä, aiheuttavat suurempia painevaihteluita muuttuvissa kuormitusolosuhteissa ja lisäksi partikkeleiden kulkeutuminen virtauksessa saattaa aiheuttaa ongelmia. (Petitjean 1994, 36)

## 5 SUUNNITTELIJOIDEN JA URAKOITSIJOIDEN KOKEMUKSIA

Verkostojen mitoituksesta kerättiin kokemuksia AX-LVI Oy:n suunnittelijoilta kyselyn muodossa (Liite 3). Kyselyn tarkoituksena oli saada tietoa käytettävistä mitoituskriteereistä ja mitoituskriteerin valintaan vaikuttavista tekijöistä. Toteutuspuolen kokemuksia kerättiin yhdeltä urakoitsijalta erillisellä kyselyllä (Liite 4), jonka tarkoituksena oli selvittää urakoitsijan näkemyksiä rakennetuista verkostoista. Kyselyistä tarkasteltiin vain työn kannalta keskeisimpiä asioita.

### 5.1 Suunnittelijakysely

Kyselyyn vastasi 9 suunnittelijaa. Kysymyksien 1 – 4 tarkoituksena oli selvittää millä mitoituskriteereillä suunnittelijat mitoittavat eri verkostoja. Huomion arvoista on se, että eri suunnittelijat mitoittavat hyvinkin erilaisilla mitoituskriteereillä samantyyppisiä verkostoja:

- patteriverkostot  $R_{\max}$  50 – 100 Pa/m
- IV-lämpöjohtoverkostot  $R_{\max}$  50 – 200 Pa/m
- jäähdytysverkostot (palkki- ja puhallinkonvektoriverkostot)  $R_{\max}$  50 – 150 Pa/m
- IV-jäähdytysverkostot  $R_{\max}$  50 – 200 Pa/m

Kyselyn perusteella lähes kaikki olivat kuulleet, että lämpöjohto- ja jäähdytysverkostoissa on esiintynyt ääniongelmia. Taloudellisesti parhaan putkikoon laskentamenetelmän tunki yli puolet vastanneista. Muuntojoustavuuden huomioimista mitoituksessa kaikki pitivät tärkeänä, varsinkin teollisuudessa. Rakennuksen käyttötarkoituksella oli kaikkien vastanneiden mielestä merkitystä mitoitukseen. Vastanneista yli puolet oli sitä mieltä, että tilan tarve, esimerkiksi ahtaissa konehuoneissa, voi vaikuttaa putkien mitoitukseen. Lähes kaikki suunnittelijat vastasivat osaavansa arvioida, mitä eri putket ja putkistovarusteet suunnilleen maksavat.

## 5.2 Urakoitsijakysely

Urakoitsijoiden kyselyyn vastasi Ari Nuora Putkiliike P. Nuora Oy:stä. Kysymyksien 1 – 9 tarkoituksena oli selvittää rakennettuihin verkostoihin liittyviä ongelmia.

Yleensä ääniongelmia ei ole, jos vesivirtojen säätö onnistuu. Vaikka patteriverkoston vesivirtojen säätö onnistuisikin, huonelämpötiloissa on jonkin verran eroja. Verkostojen ilman aiheuttamilta ongelmilta vältytään, jos käytetään kunnollisia ilmanerotimia tai alipaineilmanpoistimia. Menneinä vuosina suunnitelmista puuttuivat perussäädön kannalta tärkeät esisäätöarvot, mutta nykyään ohjelmien kehityttyä esisäätöarvot löytyvät kuvista melko hyvin, ja jos niitä ei ole, niin ne vaaditaan. Suunniteluohjelmien laskemat esisäätöarvot menevät hyvin lähelle mitattujen ja säädettyjen venttiilien asetusarvojen kanssa.

Jäähdytysverkostoista puuttuu usein kerros-, osasto- tai lohko kohtaisia venttiileitä, joilla voitaisiin huomattavasti helpottaa säätötyötä sekä mahdollisten myöhempien muutosten tekemistä.

Patteriventtiilille (Oras Oy, Tour & Andersson Oy, Oy Danfoss Ab) esisäätöarvo 1 on ehdoton minimi, sillä se ei vielä tukkeudu, mutta alle ykkösellä reikä on niin pieni, että ajan mittaan se voi tukkeutua verkostossa kulkevista epäpuhtauksista.

## 6 MALLIVERKOSTOJEN TARKASTELU

Malliverkostojen tarkastelun ajatuksena on tutkia verkostojen mitoituksen käytännön problematiikkaa, kuten suunnitteluohjelman käyttöä ja ohjelman mitoituslogiikkaa. Samalla nähdään, millä mitoituskriteereillä verkostot on mitoitettu, ja voidaan tarkastella putkimitoituksen vaikutusta putkiverkoston alkuinvestointikustannuksiin. Malliverkostot on suunniteltu MagiCadilla, joten verkostojen tarkastelu tehdään myös samalla ohjelmalla. Esimerkkiverkostoja ovat Satakunnan ammattikorkeakoulun LVI-laboratorion simulointiverkosto ja AX-LVI Oy:n suunnittelemat patteriverkosto ja IV-jäähdytysverkosto. Patteri- ja IV-jäähdytysverkosto sijaitsevat Espoossa Mittatekniikan keskuksessa. Rakennuksen tilaaja ja omistaja on Senaatti-kiinteistöt Oy.

### 6.1 Satakunnan ammattikorkeakoulun LVI-laboratorion simulointiverkosto

LVI-laboratorion simulointiverkosto (Kuva 23) otettiin tarkasteluun mukaan siksi, että sillä on helppo todentaa mittauksiin perustuen tuotemallipohjainen painehäviölaskenta. Tuotemallipohjaisen 3D-suunnitteluohjelman (MagiCad) painehäviölaskennan tarkkuus saadaan tarkastettua tilanteessa, jossa suunnitteluohjelman verkostokuvaus on täsmälleen samanlainen kuin todellinen verkosto.

Verkoston jokainen putkiosuus mitattiin metrimitalla ja mallinnettiin sellaisenaan MagiCadiin. Järjestelmä koostuu seuraavista osista ja putkista:

- putket kierteitettävää keskiraskasta teräspuutkea SFS 3313
- 1 kertasäätöventtiileistä on TA:n STAD ja loput Oraksen 4100-sarjan venttiileitä
- patteriventtiileinä Oraksen TermoStar Plus-patteriventtiilit
- sulkuventtiilit Oras 4000-sarjaa
- pumppu Grundfos UPS 25-40A 180

MagiCadin painehäviölaskennan lähtöarvot:

- laadittu dimensiot putkisarjalle keskiraskaat teräsputket SFS 3313
- putken karheus 0,045 mm
- veden tiheys 998,3 kg/m<sup>3</sup> (veden lämpötila 20 °C)
- kinemaattinen viskositeetti 1,00\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s (veden lämpötila 20 °C)



Kuva 23 LVI-laboratorion simulointiverkosto.

Verkosto mallinnettiin ja mitattiin kahdella eri tavalla. Ensimmäisen kokeen tarkoituksena on simuloida kerrostalon patteriverkostoa. Mitoittavan kiertopiirin patteriventtiilien paine-eroksi valittiin 4 kPa ja mitoittavan kiertopiirin linjasäätöventtiilin paine-eroksi 3 kPa. Kuvasta 23 nähdään, että pattereiden välissä on kertasäätöventtiilit. Niiden avulla voidaan simuloida eri kerrosten välisiä putkiosuuksia pattereiden välillä. Näille kertasäätöventtiileille valittiin 0,5 kPa paine-ero. Patterien vesivirrat (25,0 l/h) valittiin siten, että putkien kitkapainehäviö on alle 50 Pa/m. Verkosto tasapainotetaan MagiCadillä pumpun ominaiskäyrälle sopivaksi. Kokonaisvesivirran avulla saadaan selville pumpun nostokorkeus valitulla pumpun pyörimisnopeudella. Pumpussa on valittavana kolme pyörimisnopeutta.

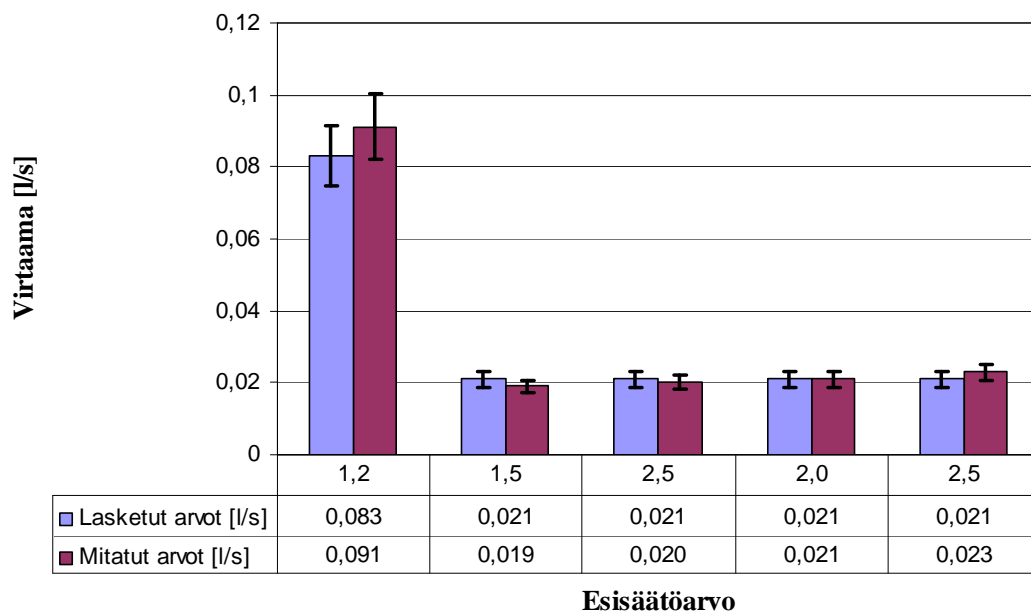


Verkostosta mitattiin ainoastaan linjasäätöventtiilien vesivirrat ja kokonaisvesivirta. Kerrosten väliset kertasäätöventtiilit jätettiin mittaamatta, koska niitä ei saada mitattua riittävän tarkasti pienen paine-eron vuoksi. Kuvassa 24 on käytetty mittausteisto. Verkoston tasopiirustus, MagiCadin painehäviölaskenta, mittauspöytäkirja ja vesivirtamittarin kalibrointitodistus ovat liitteessä 5.



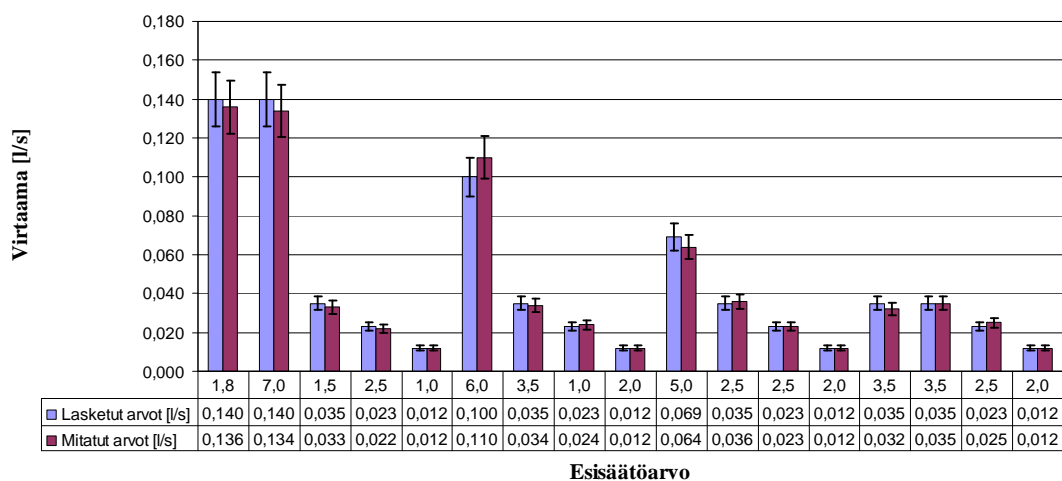
Kuva 24 TA-CMI vesivirtamittari.

Kuvassa 25 on esitetty ensimmäisen kokeen vesivirtojen mittaustulokset. Virherajoina käytetään  $\pm 10\%$ , koska vesivirrat on säädettävä  $\pm 10\%$  tarkkuudella. Vesivirtamittarin (TA-CMI) mittaustarkkuus on  $\pm 1\%$  ( $\Delta p > 20$  kPa) + venttiilin käyrästäön virhe (käytetään  $\pm 5\%$ ). Mitatut vesivirrat ovat  $\pm 10\%$  tarkkuudella samat kuin laskennalliset vesivirrat, ilman että venttiilien asetusarvoja tarvitsee muuttaa.



Kuva 25 Ensimmäisen kokeen mittaustulokset.

Toisessa kokeessa tarkasteltiin vesivirtojen jakautumista patterikohtaisesti. Mitoittavan kiertopiirin patteriventtiilien paine-eroksi valitaan 1 kPa ja kerrosten välisten venttiilien paine-eroksi 3 kPa. Tällöin venttiiliparin auktoriteetti ei kasva liian suureksi, kun tarkoituksena on simuloida patteriverkostoa. Kerrosten välisten venttiilien 3 kPa:n paine-ero mahdollistaa vesivirran mittaamisen jokaisen patterin jälkeen. Mitoittavan kiertopiirin linjasäätöventtiilin paine-eroksi valittiin 3 kPa. Kuvassa 26 on esitetty toisen kokeen vesivirtojen mittaustulokset. Myös toisen kokeen vesivirrat ovat  $\pm 10\%$  tarkkuudella samat kuin laskennalliset vesivirrat.



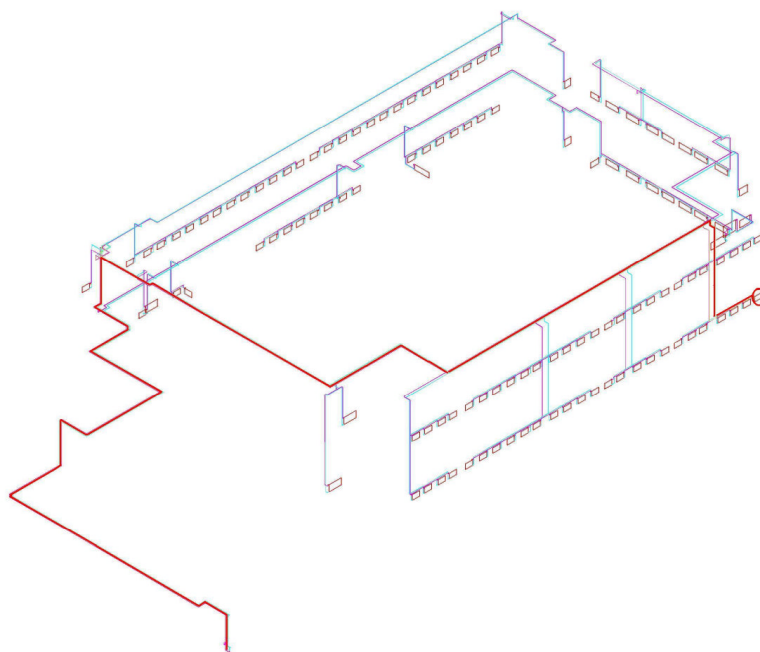
Kuva 26 Toisen kokeen mittaustulokset.

## 6.2 Patteriverkosto

Senaatti-kiinteistöjen uudisrakennuskohteet suunnitellaan tasapainotettavina, eli LVI-verkostot tulee pystyä laskemaan ohjelmalla läpi siten, että verkostot ovat LVI-teknisesti tasapainossa. Kohteen valmistuttua alkuperäisten dwg-tiedostojen mukana toimitetaan Senaatti-kiinteistöille MagiCADin erilliset projektitiedot. (Senaatti-kiinteistöt 2004)

Kuvassa 27 on Mittatekniikan keskuksen patteriverkosto. Patterit sijaitsevat pääasiassa työhuoneissa. Verkoston tekniset tiedot:

- koot DN 10 – 40 keskiraskaita teräsputkia Fe 35 (SFS 3313) ja koot DN 50 – hitsattavia teräsputkia St 35
- patteriventtiileinä Oraksen Stabilat (minimi paine-ero 3 kPa)
- linjasäätöventtiileinä Oraksen 4100-sarjan venttiilit (minimi paine-ero 3 kPa)
- sulkuventtiileinä Oraksen 4000-sarjan venttiilit
- putket mitoitettu mitoituskriteerillä  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$
- toimintalämpötilat 70/40 °C
- mitoittavan kiertopiirin painehäviö 16,3 kPa
- kokonaisvirtaama 0,428 l/s



Kuva 27 Mittatekniikan keskuksen patteriverkosto, punaisella vahvistettu putkisto kuvaa vaikeinta eli mitoittavaa kiertopiiriä.

Patteriverkoston todettiin olevan laskennallisesti tasapainossa Senaatti-kiinteistöjen vaatimusten mukaisesti. Noin 60 % patteriventtiilien esisäätöarvoista on 1 ja loput 40 % on esisäätöarvolla 2. Paine-ero venttiilien yli on välillä 3,0 – 6,1 kPa. Kuten aikaisemmin todettiin, 30 °C lämpötilaero johtaa pieniin venttiilien esisäätöarvoihin. Verkosto käsittää 4 linjasäätöventtiiliä. Ensimmäisellä voidaan mitata kokonaisvesivirta ja loput 3 on sijoitettu jakojohdon haaroihin.

Patteriverkoston osalta ei kannata tehdä putkiston investointi- ja pumppauskustannusten optimointia. Optimointi johtaa kireämpään mitoitukseen ja sitä kautta ääniongelmien riski patteriverkostossa kasvaa. Kuvasta 5 nähdään, että pienien DN 10 – 40 putkikokojen väliset hinnanerot ovat suhteellisen pieniä. Vaikka verkosto mitoitettaisiin kireämmäksi, saavutettu säästö jää investointikustannuksien osalta pieneksi.

Mitoitettaessa väljäksi, verkostosta kannattaa aina tarkastaa suurempien jakojohdon painehäviö. Mitoituskriteeri  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$  saattaa johtaa tilanteeseen, jolloin pienemmällä putkikokoalla kitkapainehäviö olisi 51 Pa/m ja isommalla koolla 10 Pa/m (kappale 2.1.3). Tällaisessa tilanteessa MagiCad kuitenkin valitsee isomman putkikoon mitoituskriteerin mukaisesti. MagiCadissa mitoituskriteeri voidaan muodostaa vain suurimman sallitun kitkapainehäviön tai suurimman sallitun virtausnopeuden perusteella (Kuva 2).

Edellä mainittuja tilanteita varten kappaleessa 2.4.3 esitettyssä Excel-laskentaohjelmassa on erillinen painehäviölaskentaosuus. Ohjelmalla voidaan laskea putkisarjan putkien kitkapainehäviöt halutulla virtaamalla. Eri putkikokojen kitkapainehäviöitä pääsee nopeasti vertailemaan ilman, että suunnittelutyö hidastuu. Suunnitteluohjelmilla vastaavan vertailun tekeminen on hidasta. Myös käyrästä lukeminen on hidasta ja lisää virhemahdollisuuksia. Kuvassa 28 on esitetty laskentaohjelman painehäviölaskentaosuus. Painehäviölaskennassa ohjelma käyttää kaavoja 1, 2 ja 3.



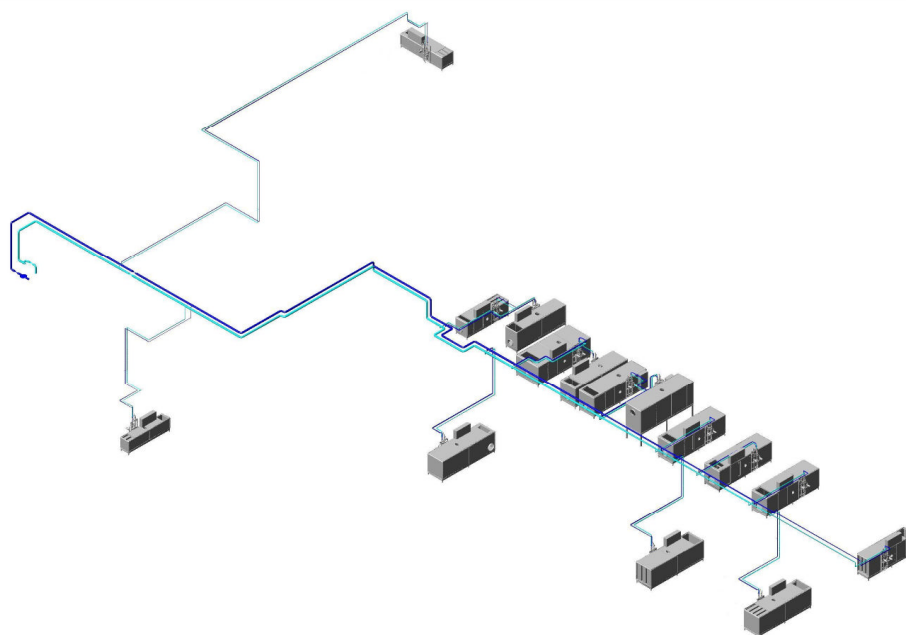
Kuvaan 28 on valittu kuvan 27 patteriverkoston jakojohdon vesivirta. Tuloksista huomataan, että DN 40 putkella kitkapainehäviö on 26,5 Pa/m ja pienemmällä DN 32 putkella 54,7 Pa/m. Mitoituskriteerin mukaan MagiCad on valinnut DN 40 putken. Pienemmällä putkella 50 Pa/m ylittyy niin vähän, että yhtä hyvin voitaisiin valita DN 32 putki. Tosin pienemmällä putkella saavutettu säästö investointikustannuksissa ei ole suuri.

### 6.3 IV-jäähdytysverkosto

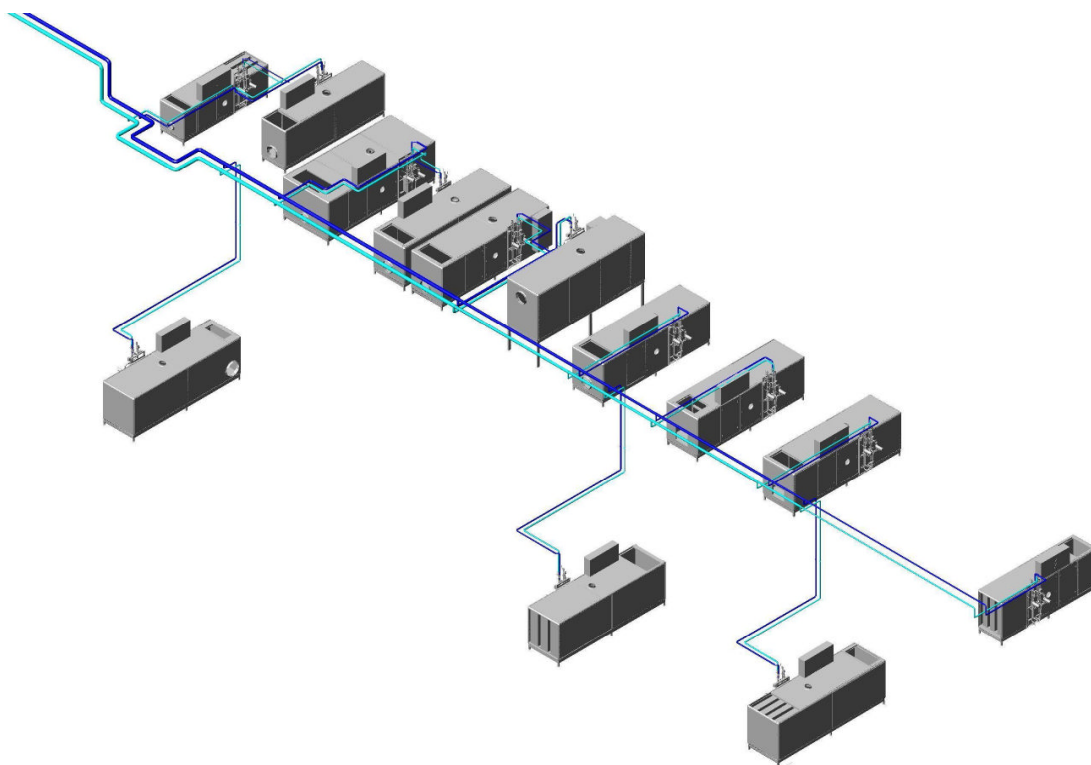
Mittatekniikan keskuksen IV-jäähdytysverkoston avulla tarkastellaan putkiston mitoituksen vaikutusta verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannuksiin.

Kuvassa 29 ja 30 on Mittatekniikan keskuksen IV-jäähdytysverkosto. Verkoston tekniset tiedot:

- putkimateriaalina ruostumaton teräs RFe 725
- sulkuventtiilit DN 10 – 50 Oras 4000, DN 65 – 100 Naval
- kertasäätöventtiilit DN 10 – 50 Oras 4100, DN 65 – 100 Vexve (minimi paine-ero 3 kPa)
- pumpun toimintapiste  $q_v = 4,34$  l/s,  $H = 28,5$  kPa
- toimintalämpötilat 15/10 °C



Kuva 29 Mittatekniikan keskuksen IV-jäähdytysverkosto.



Kuva 30 Mittatekniikan keskuksen IV-jäähdytysverkosto, kiertoilmakoneet.

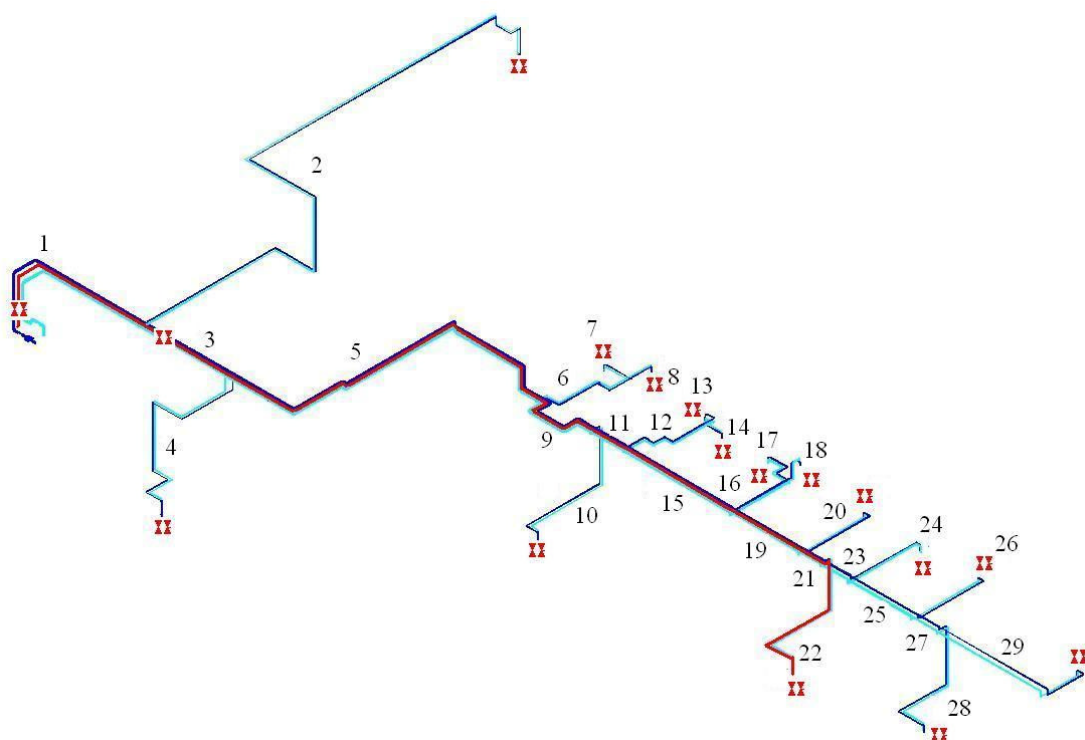
Mittatekniikan keskuksen IV-jäähdytysverkoston kaltaisessa verkostossa, jossa putkikoot ovat suhteellisen suuria ja putkimateriaali kallista, mitoituskriteerin valinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi alkuinvestointikustannuksiin. Mitoituskriteerin valinnassa voidaan käyttää apuna putkiston investointi- ja pumppauskustannusten optimointia. Mitoituskriteerin vaikutusta investointi- ja pumppauskustannuksiin on tutkittu mitoittamalla kuvan 29 IV-jäähdytysverkosto kolmella eri mitoituskriteerillä:

1.  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$
2. AX-Suunnittelun alkuperäinen mitoitus
3. Laskentamenetelmän 2 (Kappale 2.4.2) mukaisilla kitkapainehäviöillä

### 6.3.1 Mitoitus 1

Mitoituskriteerillä  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$  mitoitettua verkostoa voidaan pitää hyvänä lähtökohtana vertailulle, koska se johtaa varmanpäälle mitoitettuun ja suhteellisen väljään verkostoon.

Kuvaan 31 on numeroitu verkoston putkiosuudet ja vastaavasti taulukossa 9 on putkiosuuksien mitoitustiedot.



Kuva 31 Punaisella vahvistettu putkisto kuvaa vaikeinta kiertopiiriä, myös kertsäätöventtiilit on piirretty punaisella.



Taulukko 9 Kuvan 31 putkiosuuksien mitoitus tiedot (Mitoituskriteeri  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$ ).

Putkiosuus No.	Putkikoko DN	Virtaama [l/s]	Kitkapainehäviö [Pa/m]	Virtausnopeus [m/s]	Tila
1	100	4,340	25,2	0,48	ei lukittu
2	20	0,059	17,5	0,13	ei lukittu
3	100	4,281	24,6	0,48	ei lukittu
4	25	0,143	24,3	0,19	ei lukittu
5	100	4,137	23,1	0,46	ei lukittu
6	40	0,245	12,2	0,17	ei lukittu
7	25	0,153	27,2	0,21	ei lukittu
8	20	0,092	37,2	0,20	ei lukittu
9	100	3,893	20,7	0,43	ei lukittu
10	32	0,177	14,1	0,16	ei lukittu
11	100	3,716	25,3	0,41	ei lukittu
12	50	0,860	36,2	0,37	ei lukittu
13	50	0,802	25,1	0,31	ei lukittu
14	20	0,058	15,5	0,13	ei lukittu
15	80	2,856	42,0	0,53	ei lukittu
16	50	1,098	44,0	0,43	ei lukittu
17	32	0,358	48,1	0,33	ei lukittu
18	50	0,740	21,7	0,29	ei lukittu
19	65	1,758	38,0	0,45	ei lukittu
20	32	0,353	47,0	0,32	ei lukittu
21	65	1,405	25,4	0,36	ei lukittu
22	40	0,573	42,8	0,36	ei lukittu
23	50	0,832	34,1	0,36	ei lukittu
24	25	0,135	22,1	0,18	ei lukittu
25	50	0,697	24,9	0,30	ei lukittu
26	25	0,134	21,6	0,18	ei lukittu
27	50	0,563	17,1	0,24	ei lukittu
28	32	0,229	22,0	0,21	ei lukittu
29	32	0,334	42,8	0,31	ei lukittu

Mitoittavan kiertopiirin painehäviöksi tulee 25,8 kPa.

### 6.3.2 Mitoitus 2

AX-Suunnittelun alkuperäinen mitoitus perustuu myös osittain mitoituskriteeriin  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$ . Syy putkiston väljyyteen on muuntojoustavuuden säilyttäminen. MagiCadin mitoituksen jälkeen putkikokoja on käsin muutettu ja koot on lukittu. Mitoitettaessa MagiCad ei muuta lukittujen putkiosuuksien kokoja, vaan suorittaa painehäviölaskennan käyttäjän valitsemilla lukituilla putkillilla. Taulukkoon 10 on koottu kuvaan 31 numeroin merkittyjen putkiosuuksien tiedot. Taulukon 10 perusteella nähdään, että jakojohdo on mitoitettu väljäksi ja osa kytkentäjohdoista sitä vastoin

kireämmäksi. Väljällä jakojohdolla turvataan muuntojoustavuus, jos tulevaisuudessa tulee esimerkiksi tarvetta lisätä kiertoilmakoneita.

Taulukko 10 Kuvan 31 putkiosuukien mitoitus tiedot (AX-Suunnittelun alkuperäinen mitoitus).

Putkiosuus No.	Putkikoko DN	Virtaama [l/s]	Kitkapainehäviö [Pa/m]	Virtausnopeus [m/s]	Tila
1	100	4,340	25,2	0,48	ei lukittu
2	25	0,059	4,7	0,09	lukittu
3	100	4,281	24,6	0,48	ei lukittu
4	20	0,143	112,9	0,37	lukittu
5	100	4,137	23,1	0,46	ei lukittu
6	40	0,245	12,2	0,17	ei lukittu
7	20	0,153	126,5	0,39	lukittu
8	32	0,092	4,6	0,08	lukittu
9	100	3,893	20,7	0,43	ei lukittu
10	32	0,177	14,1	0,16	lukittu
11	100	3,716	25,3	0,41	ei lukittu
12	50	0,860	36,2	0,37	ei lukittu
13	40	0,802	99,8	0,55	lukittu
14	25	0,058	4,6	0,09	lukittu
15	80	2,856	42,0	0,53	ei lukittu
16	65	1,098	16,4	0,28	ei lukittu
17	32	0,358	48,1	0,33	ei lukittu
18	40	0,740	86,3	0,51	lukittu
19	65	1,758	38,0	0,45	ei lukittu
20	32	0,353	47,0	0,32	lukittu
21	65	1,405	25,4	0,36	ei lukittu
22	32	0,573	111,4	0,53	lukittu
23	50	0,832	34,1	0,36	ei lukittu
24	32	0,135	8,8	0,12	ei lukittu
25	50	0,697	24,9	0,30	ei lukittu
26	32	0,134	8,7	0,12	lukittu
27	50	0,563	17,1	0,24	ei lukittu
28	32	0,229	22,0	0,21	lukittu
29	32	0,334	42,8	0,31	ei lukittu

Mitoittavan kiertopiirin painehäviöksi tulee 28,5 kPa.

### 6.3.3 Mitoitus 3

Verkoston mitoittamiseksi laskentamenetelmän 2 mukaisesti, käytetään kappaleessa 2.4.3 esitettyä Excel-laskentaohjelmaa. Mitoittaminen aloitetaan laskemalla putkiston investointi- ja pumppauskustannusten suhteen optimaaliset vesivirran raja-arvot ja niitä vastaavat kitkapainehäviöt. Laskennassa käytetyt lähtöarvot näkyvät taulukossa 11.

Taulukko 11 Excel-laskentaohjelman menetelmän 2 lähtöarvot.

**Lähtöarvot:**

**Painehäviölaskenta**

Pumpattavan nesteen tiheys	999,5 kg/m <sup>3</sup>
Pumpattavan nesteen kinem.viskos.	0,0000013 m <sup>2</sup> /s
Putken karheus	0,045 mm

**Nykyarvo**

Odotettavissa oleva energian hinnan nousu	4 %
Laskentakorko	5 %
Laskentajakson pituus	40 vuotta

**Käyttökustannus**

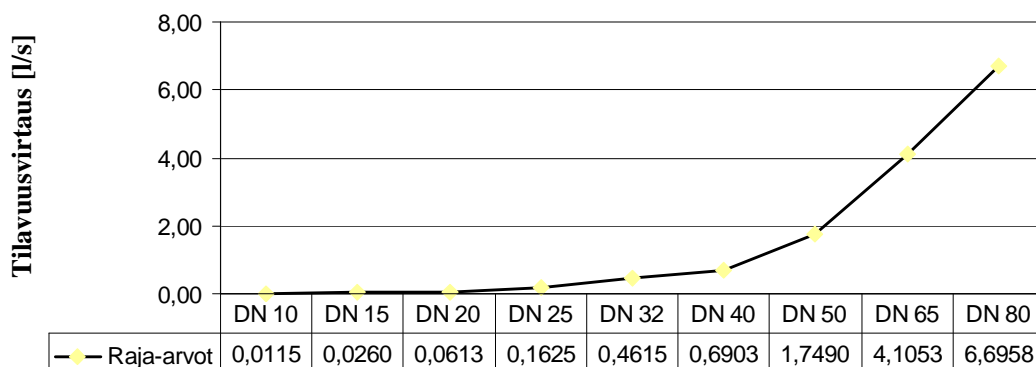
Pumpun kokonaisvesivirta	4,34 l/s
Pumpun käyntiaika	270 vrk
Sähköenergian hinta	0,10 €/kWh
Pumpun hyötysuhde	50 %
Kertavastusten osuus kitkapainehäviöistä	20 %

**Valittu putkisarja:** Ruostumaton teräsputki + solukumi eristys

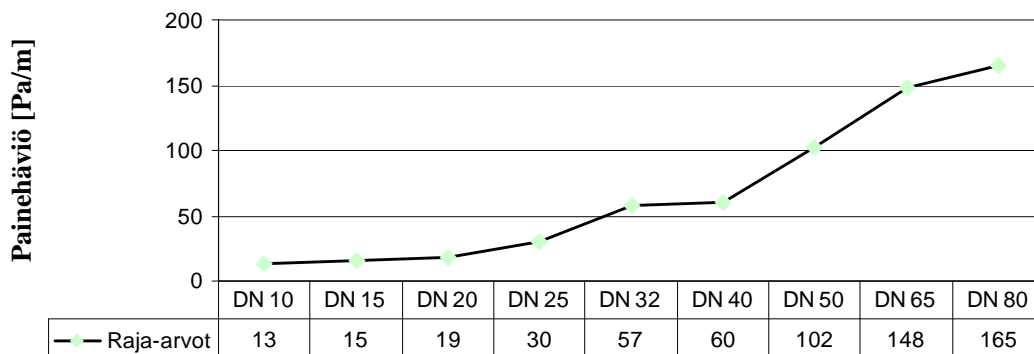
<b>Putkisarja</b>	<b>Investointi kustannus</b>
Ulkohalkaisija mm	Hinta asennettuna ja eristettynä €/m
17,2	55,6
21,3	57,6
26,9	60,0
33,7	62,9
42,4	67,6
48,3	73,8
60,3	82,8
76,1	98,5
88,9	116,4
114,3	142,7

Menetelmän 2 mukainen Excel-laskentaohjelma antaa kuvan 32 kaltaiset vesivirran raja-arvot ja niitä vastaavat kitkapainehäviöt. Kitkapainehäviöiden avulla saadaan muodostettua mitoituskriteeri MagiCadiin, kuva 33.

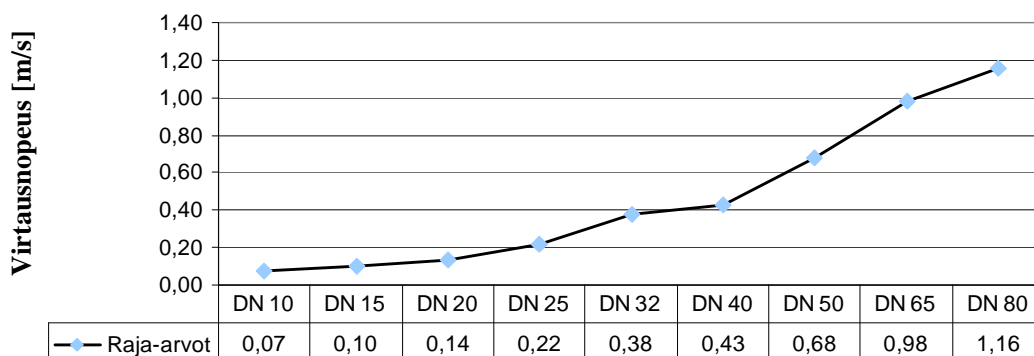
### Taloudellisen vesivirran raja-arvot



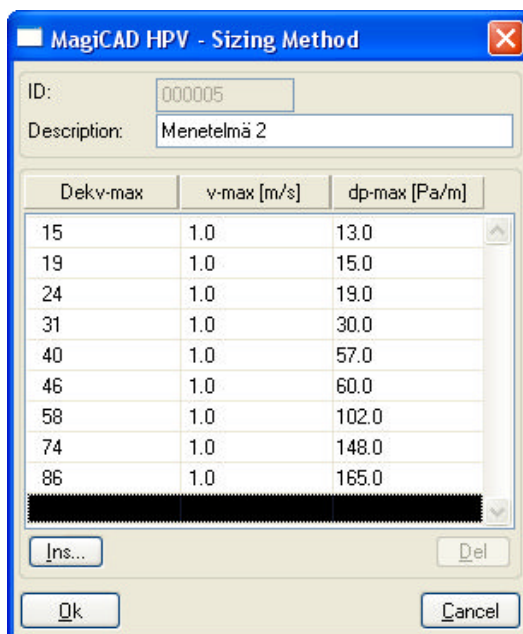
### Painehäviö taloudellisen vesivirran raja-arvoissa



### Virtausnopeus taloudellisen vesivirran raja-arvoissa



Kuva 32 Menetelmän 2 mukaiset vesivirran raja-arvot, kitkapainehäviöt ja virtausnopeudet.



Kuva 33 Menetelmän 2 mukainen mitoituskriteeri MagiCadissä. (MagiCAD 2006.5)

Taulukossa 12 on kuvan 33 mitoituskriteerillä mitoitettujen verkoston putkiosuuksien mitoitustiedot.

Taulukko 12 Kuvan 31 putkiosuukien mitoitustiedot (menetelmän 2 mukainen mitoitus).

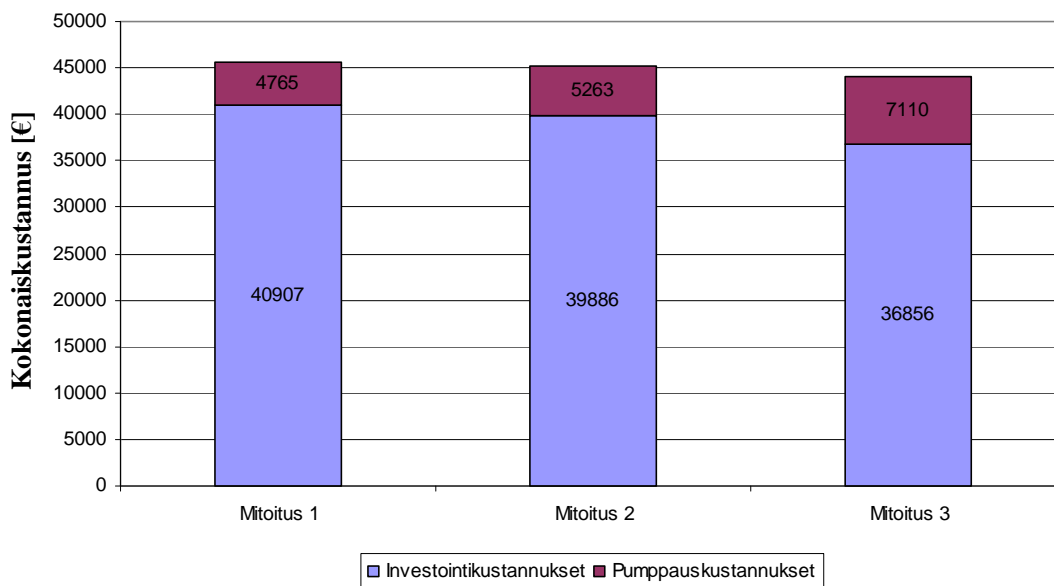
Putkiosuus No.	Putkikoko DN	Virtaama [l/s]	Kitkapainehäviö [Pa/m]	Virtausnopeus [m/s]	Tila
1	80	4,340	73,9	0,75	ei lukittu
2	20	0,059	17,5	0,13	ei lukittu
3	80	4,281	72,1	0,74	ei lukittu
4	25	0,143	24,3	0,19	ei lukittu
5	80	4,137	67,7	0,71	ei lukittu
6	32	0,245	18,8	0,20	ei lukittu
7	25	0,153	27,2	0,21	ei lukittu
8	25	0,092	11,3	0,12	ei lukittu
9	65	3,893	133,8	0,93	ei lukittu
10	32	0,177	14,1	0,16	ei lukittu
11	65	3,716	122,8	0,89	ei lukittu
12	50	0,860	36,2	0,37	ei lukittu
13	50	0,802	25,1	0,31	ei lukittu
14	20	0,058	15,5	0,13	ei lukittu
15	65	2,856	75,8	0,68	ei lukittu
16	50	1,098	44,0	0,43	ei lukittu
17	32	0,358	48,1	0,33	ei lukittu
18	50	0,740	21,7	0,29	ei lukittu
19	65	1,758	38,0	0,45	ei lukittu
20	32	0,353	47,0	0,32	ei lukittu
21	50	1,405	68,6	0,54	ei lukittu
22	40	0,573	42,8	0,36	ei lukittu
23	50	0,832	34,1	0,36	ei lukittu
24	25	0,135	22,1	0,18	ei lukittu
25	50	0,697	24,9	0,30	ei lukittu
26	25	0,134	21,6	0,18	ei lukittu
27	40	0,563	41,6	0,35	ei lukittu
28	32	0,229	22,0	0,21	ei lukittu
29	32	0,334	42,8	0,31	ei lukittu

Mitoittavan kiertopiirin painehäviöksi tulee 38,5 kPa.

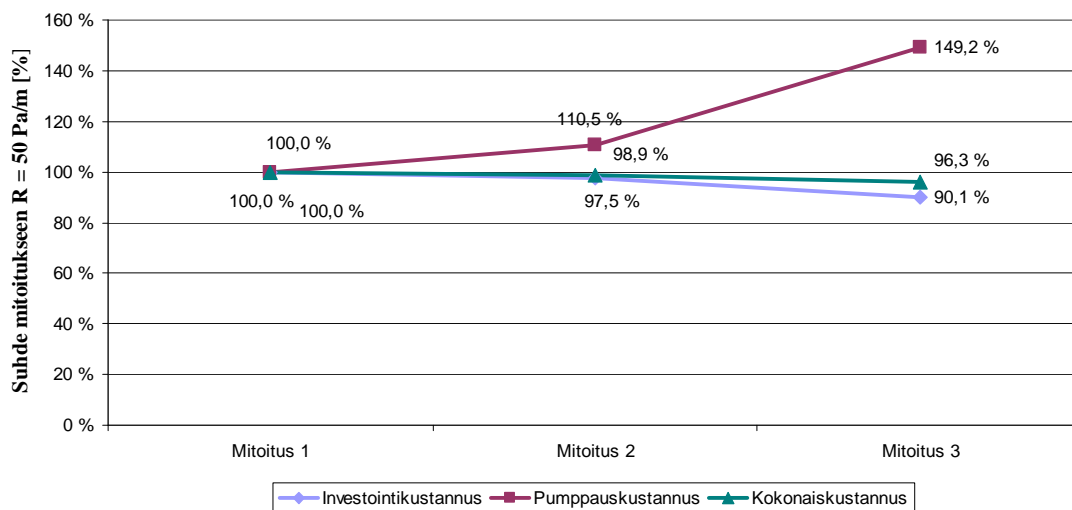
#### 6.3.4 Kustannusten vertailu

Kuvassa 34 on esitetty verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannukset mitoituskriteereillä 1 – 3 mitoitettuna. Laskennan lähtöarvoina on käytetty taulukon 11 arvoja ja kappaleessa 2.4.3 olevia laskentaparametreja. Liitteissä 6, 7 ja 8 on mitoitusten 1 – 3 massaluettelot ja painehäviölaskelmat vaikeimmista eli mitoitavista kiertopiireistä.

Kuvassa 35 tuloksia verrataan suhteessa mitoituskriteeriin 1, koska kuten edellä todettiin mitoituskriteeri  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$  johtaa varmanpäälle mitoitettuun ja suhteellisen väljään verkostoon.

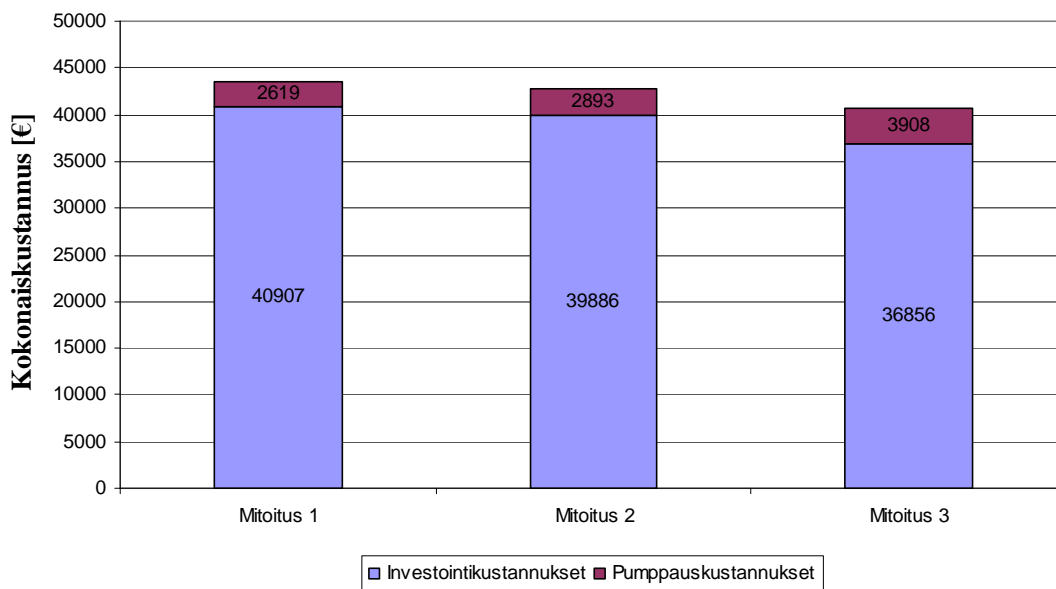


Kuva 34 Verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannukset (mitoituskriteereillä 1-3) 40 vuoden laskentajaksolla.

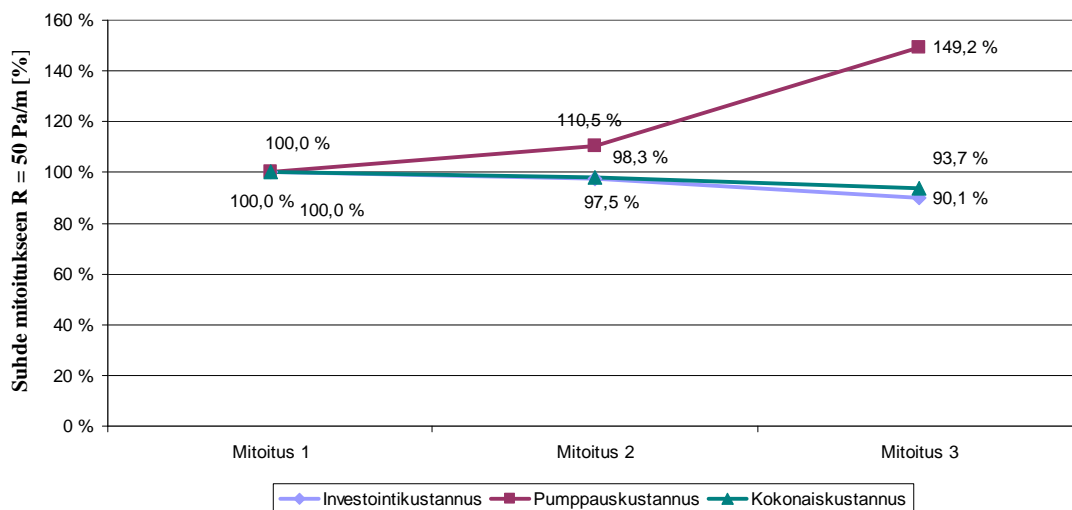


Kuva 35 Verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannuksien muutokset suhteessa mitoitukseen 1 40 vuoden laskentajaksolla.

Kuvissa 36 ja 37 on esitetty vastaavat investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannukset kuten edellä, mutta 20 vuoden laskentajaksolla.



Kuva 36 Verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannukset (mitoituskriteereillä 1-3) 20 vuoden laskentajaksolla.



Kuva 37 Verkoston investointi-, pumppaus- ja kokonaiskustannuksien muutokset suhteessa mitoitukseen 1 20 vuoden laskentajaksolla.



Kuvien 34 – 37 perusteella voidaan todeta, että mitoittamalla verkosto mitoituskriteerillä 3 säästetään investointikustannuksissa 4051 € (~10 %) ja 40 vuoden laskentajaksolla mitoitus 3 on kokonaiskustannuksiltaan 3,7 % edullisempi kuin mitoituksella 1. Tarkasteltaessa 20 vuoden laskentajaksolla mitoitus 3 on kokonaiskustannuksiltaan 6,3 % edullisempi kuin mitoitus 1.

Mitoituksilla 1 ja 2 ei juuri ole eroa investointi- ja kokonaiskustannuksissa. Tämä johtuu siitä, että mitoituskriteereillä 1 ja 2 mitoitetuissa verkostoissa isot runkoputket ovat samankokoisia. Vaikka mitoituksessa 2 jakojohdot on valittu kireämmäksi kuin mitoituksessa 1, kokonaiskustannukset ovat suunnilleen samat. Tämä vahvistaa sen, että isompien putkien mitoituksella on hintaan huomattavasti suurempi vaikutus kuin pienien putkikokojen mitoituksella.

Mitoituksella 3 olisi saavutettu kokonaiskustannuksissa vieläkin suurempia säästöjä 20 vuoden laskentajaksolla, jos taloudellisen vesivirran raja-arvot olisi laskettu uudelleen 20 vuoden laskentajaksolle. Tosin taloudellisen vesivirran raja-arvoja laskiessa täytyy huomioida, etteivät virtausnopeudet putkissa kasva liian suuriksi. Säästöt olisivat myöskin suuremmat, jos verkostossa olisi enemmän venttiileitä ja kokonaisvirtaama olisi suurempi.

Tuloksena mitoituskriteerien vertaamiselle voidaan todeta, että jos verkosto halutaan mitoittaa kireämmin, mitoitusta ei välttämättä kannata tehdä mitoittamalla kaikkia putkia samalla mitoituskriteerillä esimerkiksi  $R_{\max} = 150 \text{ Pa/m}$ . Ennemmin kannattaa laatia mitoituskriteerisarja, esimerkiksi kuvan 33 kaltainen. Tällöin, mitoittamalla halvemmat pienet putket väljemmiksi, saavutetaan pienempi verkoston kokonaispainehäviö, jolloin säästetään pumppauskustannuksissa. Säästö pumppauskustannuksissa johtaa pidemmällä aikavälillä pienempiin kokonaiskustannuksiin.

## 7 MITOITUSTAULUKOIDEN LAADINTA

### 7.1 Lämmitysjärjestelmät

Taulukkoon 13 on kerätty suositeltavat mitoituskriteerit asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennuksille. Taulukkoa 11 voidaan myös soveltaa teollisuuteen, sillä jos verkosto on pieni, ei kireämmällä mitoituksella juuri säästetä investointikustannuksissa. Kuvasta 6 nähdään, että pienten putkien DN 10 – 40 hinnan ero on pieni. Jos verkosto on iso, voidaan siihen soveltaa Excel-laskentaohjelmaa.

Taulukko 13 Suositeltavat mitoituskriteerit patteriverkostoille.

Rakennustyyppi	Putkitusjärjestelmä	Mitoituskriteeri $R_{\max}$	Patteri- venttiilin painehäviö	Linjasäätö- venttiilin painehäviö
		[Pa/m]	[kPa]	[kPa]
Asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennukset	2-putkijärjestelmä	50	4	3...10
Asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennukset	Käännetty paluu	100	2	3...10

Patteriverkoston putkistomateriaalia valittaessa kannattaa huomioida, että pienemmät kupariputkikoot ovat suunnilleen samanhintaisia kierteitetävän keskiraskaan teräsputken kanssa (Kuvat 6 ja 9). Toisinaan voi olla järkevää käyttää kuparia kytkentäjohtona hankalissa paikoissa, kuten esimerkiksi IV-konehuoneiden patteriverkosto on monesti järkevää tehdä kuparista.

IV-lämpöjohtoverkostoille (Taulukko 14) suositeltu mitoituskriteeri 50 – 150 Pa/m perustuu siihen, että esimerkiksi asuinkerrostalossa tuloilmakoneiden virtaamat ovat pieniä, jolloin kokonaiskustannuksiltaan edullisin mitoitus saavutetaan väljällä mitoituksella. Isommissa verkostoissa ja teollisuudessa voidaan soveltaa Excel-laskentaohjelmaa. Virtausnopeuden ei kuitenkaan tulisi ylittää 1 m/s, mikäli ääniongelmilta halutaan välttyä.

Taulukko 14 Suositeltavat mitoituskriteerit IV-lämpöjohtoverkostoille.

Rakennustyyppi	Mitoituskriteeri $R_{\max}$	Virtausnopeus	Kertasäätö- venttiilin painehäviö
	[Pa/m]	[m/s]	[kPa]
Asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennukset	50 - 150	0,3 - 1,0	3

## 7.2 Jäähdytysjärjestelmät

Jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektoriverkoston mitoittaminen kokonaistaloudellisesti on vaativa tehtävä, sillä lämpötilaerot ovat pieniä ja vesivirrat muodostuvat suhteellisen suuriksi. Jos putkisto halutaan tehdä ruostumattomasta teräksestä, ylimitoittaminen tulee kalliiksi.

Jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektoriverkostot ovat myös herkkiä ääniongelmille varsinkin silloin, jos perussäätö ei onnistu kunnolla. Perussäädön epäonnistuminen voi aiheutua siitä, että verkostossa on vain laitekohtaiset kertasäätöventtiilit, jolloin verkostoa ei voida jakaa moduuleihin. Jos esisäätöarvoja ei ole käytettävissä, joudutaan perussäätö suorittamaan iteratiiviselle menetelmällä (Kappale 3.1.2).

Jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektoriverkostot ovat usein niin laajoja, että iteratiivisella menetelmällä ei saada verkostoja tyydyttävästi perussäädettyä. Perussäätämättömässä verkostossa venttiilien paine-erot voivat kasvaa niin suuriksi, että venttiileistä aiheutuu ääniongelmia. Toimistoympäristössä äännet aiheuttavat välittömästi valituksia ja tyytymättömyyttä.

Taulukossa 15 on määritelty kitkapainehäviön ja nopeuden rajat, joiden sisällä pitäisi vielä välttyä ääniongelmilta. Isommissa kohteissa kannattaa soveltaa Excel-laskentaohjelmaa.

Taulukko 15 Suositeltavat mitoituskriteerit jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektoriverkostoille.

Rakennustyyppi	Mitoituskriteeri $R_{\max}$	Virtausnopeus	Kertasäätö- venttiilin painehäviö
	[Pa/m]	[m/s]	[kPa]
Asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennukset	50 - 150	- 1,0	3...10

Jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektoriverkoston putkistomateriaalia valittaessa kannattaa huomioida, että jos verkosto tehdään ruostumattomasta teräksestä, verkoston loppupää kannattaa vaihtaa kupariin, sillä 42 mm:n kupariputki on suunnilleen saman hintaista kuin DN 40 ruostumaton teräsputki. Alkaen 42 mm alaspäin kupariputket ovat hinnaltaan halvempia kuin ruostumattomat teräsputket (Kuvat 7 ja 9).

IV-jäähdytysverkoston osalta suositellaan samoja mitoituskriteerejä kuin IV-lämpöjohtoverkostoissakin (Taulukko 16).

Taulukko 16 Suositeltavat mitoituskriteerit IV-jäähdytysverkostoille ja vedenjäähdyttimen kytkennöille.

Rakennustyyppi	Mitoituskriteeri $R_{\max}$	Virtausnopeus	Kertasäätö- venttiilin painehäviö
	[Pa/m]	[m/s]	[kPa]
Asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennukset	50 - 150	0,3 - 1,0	3

### 7.3 MagiCadin käyttö

Putkiverkostoja suunniteltaessa MagiCad on ehkä yksi monipuolisimmista ja tehokkaimmista suunnitteluohjelmista silloin, kun sen kaikkia ominaisuuksia osataan hyödyntää sataprosenttisesti.

MagiCadillä työskentely aloitetaan aina perustamalla projekti. Uuden projektin pohjana käytetään vanhaa tai MagiCadin mukana tulevaa malliprojektia. Projektin perustamisen jälkeen siihen valitaan halutut järjestelmät ja niihin tarvittavat tuotteet. Pro-

jektitiedoissa eri järjestelmille määrätään esimerkiksi sopiva mitoituskriteeri, toimintalämpötilat ja säätöventtiilien minimipainehäviöt.

MagiCadin mukana tuleva projekti on lähinnä malli. Käytännössä insinööritoimiston kannattaa laatia valmiita projektipohjia erilaisia kohteita varten. Pohjissa on valmiiksi olemassa yleisimmin käytetyt putkisarjat ja tuotteet. Niissä on myös yleisimmät mitoituskriteerit, järjestelmät ja mittatekstit. Valmiiden projektipohjien käytöllä säädetään aikaa, tuottavuus paranee ja se yhtenäistää toimiston käytäntöjä, kun kaikki käyttävät esimerkiksi samanlaisia mittatekstejä.

Putkiverkostojen mitoittamisen kannalta tärkeimpiä projektitietoja ovat:

1. käytettävät putkisarjat ja venttiilit
2. virtaavan nesteen tiedot
3. mitoituskriteerit
4. järjestelmämääritykset

### 7.3.1 Käytettävät putkisarjat ja venttiilit

Putkisarjojen määrityksillä saattaa olla yllättävänkin suuri vaikutus mitoittamiseen. Ajatellaan esimerkiksi tilannetta, jossa suunnittelija mitoittaa ruostumattomasta teräksestä tehtävän verkoston hitsattavilla (mustilla) teräsputkilla. DN 100 hitsattavan teräsputken sisähalkaisija on 107 mm (3,6 mm seinämä) ja ruostumattoman teräsputken sisähalkaisija on 111 mm (1,5 mm seinämä). Kitkapainehäviö virtaamalla 5 l/s on noin 20 Pa/m (20 %) pienempi ruostumattomalla teräsputkella kuin hitsattavalla teräsputkella. Tämä saattaa vaikuttaa mitoitukseen siten, että ohjelma valitsee suuremman putkikoon, jos valittu  $R_{\max}$  ylittyy. Tästä syystä tulisi käyttää valmiita projekteja, joissa putkisarjat on valmiiksi määriteltä. Putkisarjat määritellään MagiCadissa kuvan 38 kaltaisesti.

MagiCAD HPV - Pipe Series

General

ID: 000002 Name: Teräsputki Fe-35

k (heating) 0.04500 UserCode: |

k (water) 1.00000 National code: |

Flexible pipe Material: |

Sizes

Size	Din	Dout	Valve	Bend R/D	Fit-on Len
20	22.3	26.7	20	1.0	5
25	28.5	33.7	25	1.0	5
32	37.2	42.4	32	1.0	5
40	43.1	48.3	40	1.0	5
50	54.5	60.3	50	1.0	5
65	70.3	76.1	65	1.0	5
80	82.5	88.9	80	1.0	5
100	107.1	114.3	100	1.0	5
125	130.7	139.7	125	1.0	5
150	159.3	168.3	150	1.0	5

Ins... Del

Ok Cancel

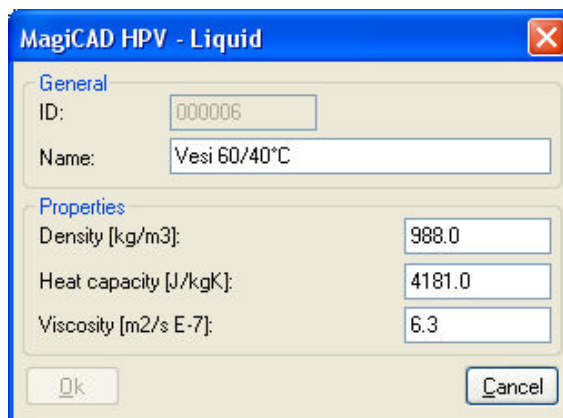
Kuva 38 Putkisarjojen määrittäminen MagiCadissa. (MagiCAD 2006.5)

Perussäädön kannalta on tärkeää, että suunnitelluista venttiileistä on riittävästi tietoa piirustuksissa. Linjasäätöventtiilien mittatekstissä tulisi olla venttiilin koko, virtaama, paine-ero, kv-arvo ja esisäätöarvo. Venttiilin kv-arvon avulla voidaan selvittää, mitä venttiiliä suunnittelija on piirustuksissa tarkoittanut, jos asiasta on epäselvyyttä. Kv-arvosta on myös silloin hyötyä, jos halutaan käyttää jonkun toisen valmistajan venttiileitä kuin on suunniteltu. Piirustuksissa annettujen venttiilien paine-erojen perusteella perussäädön suorittaja voi päätellä, mikä on perussäädettävän verkoston vaikein kiertopiiri. Tästä on hyötyä perussäätöä tehtäessä.

MagiCadissa saadaan helposti määriteltyä mittateksti, joka sisältää edellä mainitut asiat. Harmillisesti TA:n linjasäätöventtiilien osalta MagiCad pyöristää venttiilien esisäätöarvot puolikkaisiin, vaikka TA:n venttiileissä esisäätöarvo voidaan asettaa yhden desimaalin tarkkuudella. Nykyaikainen vesivirtamittari osaa kuitenkin laskea venttiilin tyyppin, koon, virtaaman ja paine-eron perusteella venttiilille tarkan esisäätöarvon.

### 7.3.2 Virtaavan nesteen tiedot

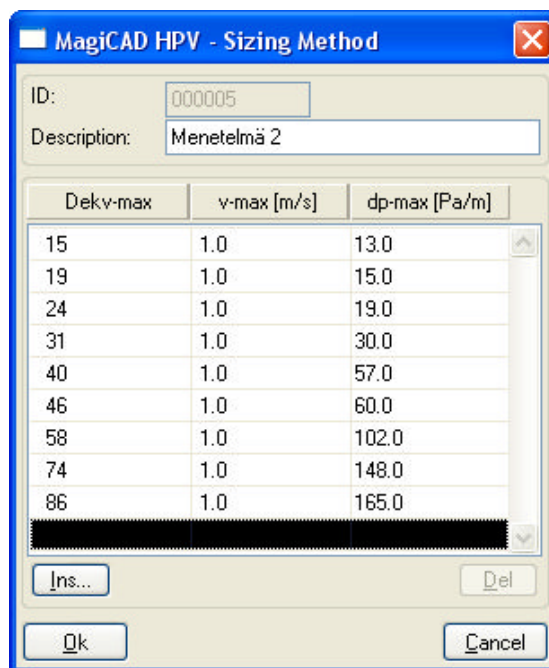
MagiCadin painehäviölaskennan kannalta on oleellista, että virtaavan nesteen tiheys, ominaislämpökapasiteetti ja kinemaattinen viskositeetti vastaavat todellisessa verkostossa virtaavan nesteen arvoja. Virtaavan nesteen tiedot määritellään MagiCadissä kuvan 39 kaltaisesti.



Kuva 39 Virtaavan nesteen tiheyden, ominaislämpökapasiteetin ja kinemaattisen viskositeetin määrittäminen MagiCadissä. (MagiCAD 2006.5)

### 7.3.3 Mitoituskriteerit

Mitoituskriteerin tekeminen MagiCadissä on helppoa. Kuvan 40 mitoituskriteeri mittaava putket siten, että putkikokoon 15 mm (sisähalkaisija) asti nopeus saa olla maksimissaan 1,0 m/s ja kitkapainehäviö saa olla maksimissaan 13,0 Pa/m. Putkikoosta 15 mm ylöspäin 19 mm asti nopeus saa olla maksimissaan 1 m/s ja kitkapainehäviö 15,0 Pa/m. Mitoituskriteeri jatkuu samalla periaatteella putkikokoon 86 mm asti.



Kuva 40 Mitoituskriteerin tekeminen MagiCadissä. (MagiCAD 2006.5)

#### 7.3.4 Järjestelmämääritykset

Järjestelmän määrityksissä valitaan käytettävä mitoituskriteeri, virtaava neste, menojen ja paluuvien lämpötilat. Lisäksi määritetään patteri- ja linjasäätöventtiilien minimipaine-erot (vaikein kiertopiiri). Niille voidaan asettaa tasapainotuksessa käytettävä varoitusraja, joka on kätevä esimerkiksi patteriverkostoissa. Varoitusrajaa käyttämällä saadaan varoitus esimerkiksi tilanteessa, jossa patteriventtiilin paine-ero kasvaa yli 20 kPa (20 kPa asetusarvo esimerkissä). Korkeaa patteriventtiilin paine-eroa ei välttämättä huomattaisi ilman varoitusrajan käyttöä. Varoitusrajan käytön ansiosta ehkä välttyttäisiin ääniongelmilta. Verkosto voidaan valita tasapainotettavaksi minimipaineelle tai jollekin tietylle pumpun nostokorkeudelle. Kuvassa 41 on esitetty järjestelmän määritysten tekeminen MagiCadissä.



Kuva 41 Järjestelmän muokkaus. (MagiCAD 2006.5)

Varsinainen verkoston mitoitus tapahtuu MagiCadissä kolmella toisistaan riippumattomalla toiminnolla:

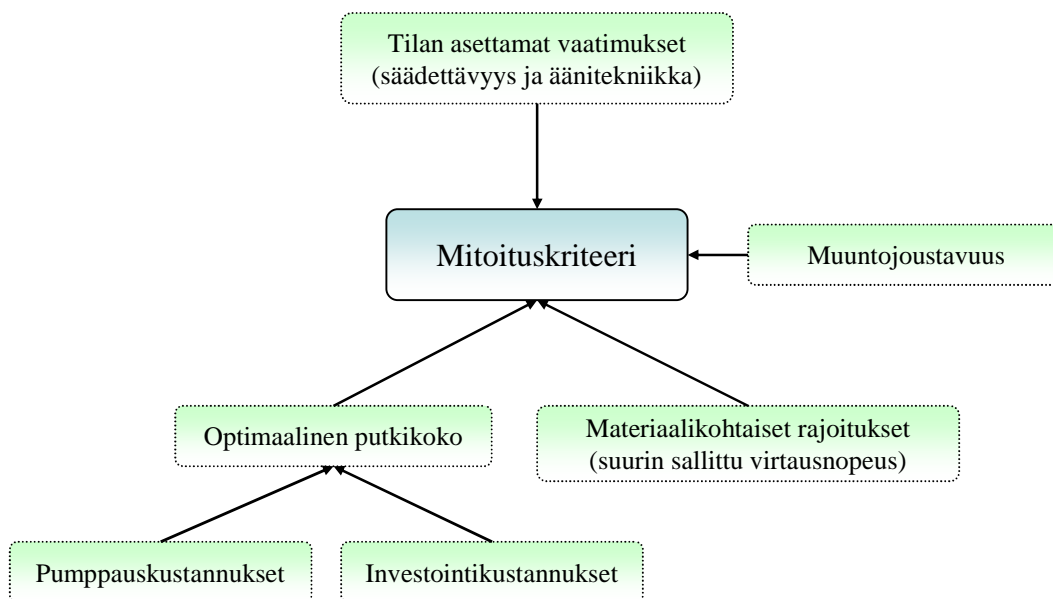
1. virtaamien summauksella
2. virtaamien summauksella ja putkien mitoituksella
3. virtaamien summauksella ja verkoston tasapainotuksella

Tämä on kätevää esimerkiksi tilanteessa, jossa verkostoon joudutaan tekemään jälkeenpäin muutoksia. Tällöin verkosto voidaan pelkästään tasapainottaa uudestaan ilman, että kaikki putkikoot muuttuvat.

Kaikki mahdolliset virheilmoitukset MagiCadin mitoitustoimintoja käytettäessä tulee ottaa vakavasti ja selvittää virheilmoituksen syy. Verkoston ei voida olettaa olevan tasapainossa, jos mitoitustoiminto ei mene läpi ilman virheilmoituksia.

## 8 TUTKIMUKSEN TULOKSET

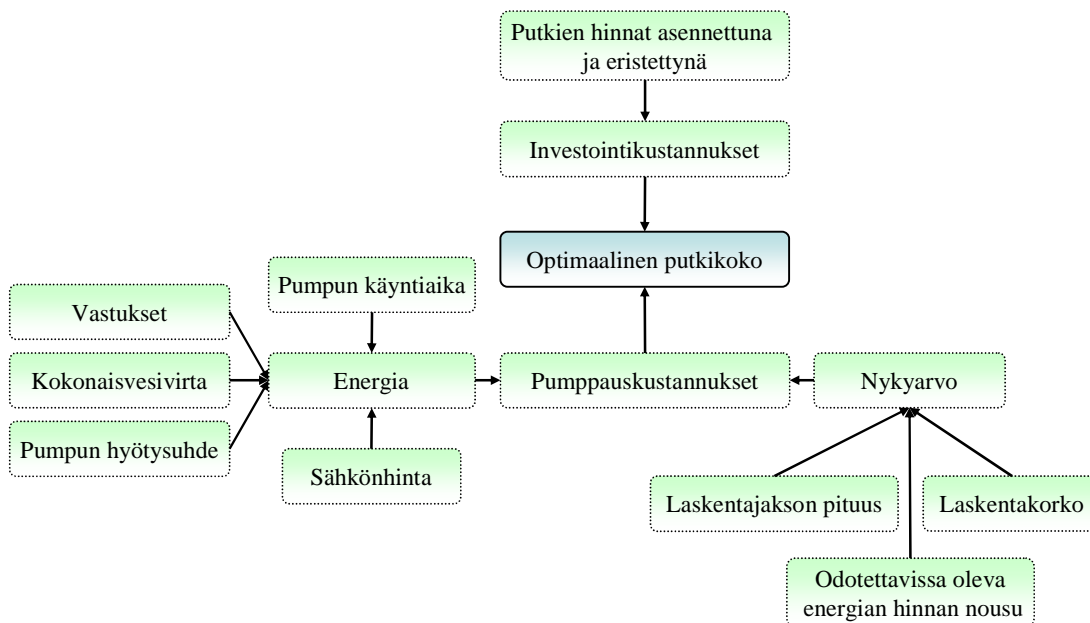
Kokonaistaloudellisessa mitoittamisessa mitoituskriteerin muodostamiseen vaikuttavat tilan asettamat vaatimukset, kuten äänitekniikka ja perussäädettävyys. Putkiston tulee olla kuitenkin taloudellisesti mitoitettu, muuntojoustavuutta unohtamatta ja materiaalikohtaiset rajoituksetkin pitää ottaa huomioon (Kuva 42).



Kuva 42 Mitoituskriteeriin vaikuttavat tekijät.

Tutkimuksessa onnistuttiin esittämään laskentamenetelmät verkostojen investointi- ja pumppauskustannusten optimoimiseksi. Vaivaa nähtiin erityisesti mahdollisimman tarkkojen alkuarvojen määrittämiseksi. Laskentamenetelmien käyttöarvoa lisää myös huomattavasti niiden pohjalta laadittu Excel-laskentaohjelma.

Laskentaohjelmasta huolimatta putkiston mitoittaminen, perustuessaan pumppaus- ja investointikustannusten optimointiin, on melko työlästä ja kannattamatonta pienille putkistoille ja virtaamille. Periaatteessa jokaiselle eri verkostolle on laskettavissa oma optimaalinen mitoitus. Optimaalisen mitoittamisen pumppaus- ja investointikustannusten riippuvuussuhteet on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43 Investointi- ja pumppauskustannuksien riippuvuussuhteet.

Optimaalisen putkikoon laskeminen on matemaattisesti helppoa, mutta oikeiden alkuarvojen määrittäminen on vaikeaa. Luvussa 6.3 osoitetaan, että investointi- ja pumppauskustannuksia optimoimalla voidaan säästää merkittävästi investointikustannuksissa, tosin muuntojoustavuuden kustannuksella. Putkiverkostoja ei kannata kuitenkaan kaikissa tapauksissa ylivoimata. Ylivoimata on helppo perustella muuntojoustavuuden säilyttämisellä ja suunnittelija voi turvata selustansa hieman ylivoimataamalla. Putkiverkostojen kokonaistaloudellinen mitoitus on huomattavasti haastavampaa. Investointi- ja pumppauskustannuksien optimointiin perustuvaa mitoitusta käytettäessä tulee kuitenkin aina huomioida säädettävyys ja äänitekniikka.

Verkostojen perussäädettävyuden osalta tutkimuksessa osoitettiin mittauksin (LVI-laboratorion simulointiverkosto), että väljästi mitoitettu verkostossa suunnitteluohjelman laskemilla esisäätöarvoilla päästään hyvin lähelle suunniteltuja vesivirtoja ( $\pm 10\%$  tarkkuudella). Väljästi mitoitettujen verkostojen perussäätö on helppoa, ja vaikka rakennettu verkosto olisikin hieman erilainen kuin suunniteltu verkosto, niin se ei ratkaisevasti vaikuta esisäätöarvoihin.

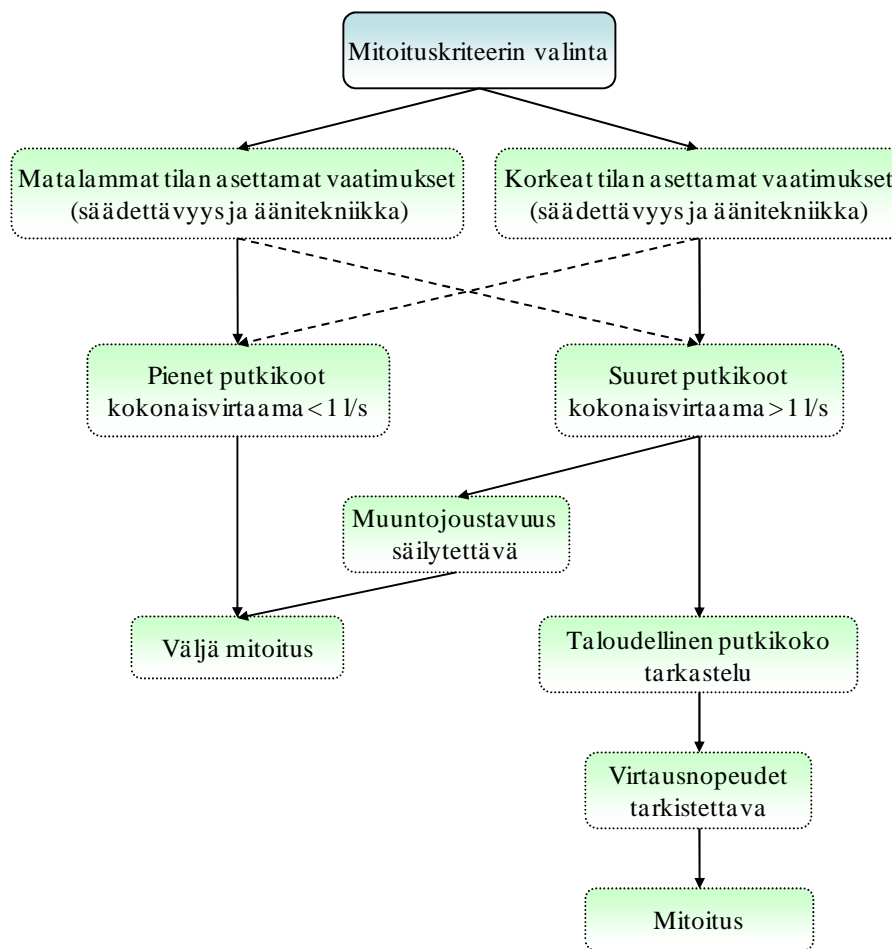
Valitettavasti kirjallisuudesta ei löydy riittävästi tietoa ääniasioista siinä mielessä, että olisi mahdollista määrittää tarkkaan, millä kitkainehäviöllä tai virtausnopeudella virtausäänet kasvavat liian suuriksi. Kirjallisuuden perusteella  $1,0\text{ m/s}$  pidetään virtausnopeuden rajana, jota ei tulisi ylittää. Opinnäytetyöntekijä on sitä mieltä, usei-

ta patteri-, IV-lämpöjohto-, IV-jäähdytys-, jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektori-verkostoja perussäätäneenä, että suurin osa verkostojen ääniongelmista johtuu ongelmista perussäädön yhteydessä. Perussäädön onnistumisen edellytyksenä on, että esisäätöarvot on oikein laskettu ja säätöventtiileitä on riittävästi siten, että luvussa 3.1.6 esitetty moduulimainen verkostorakenne toteutuu.

Tutkimuksessa tehdyn kyselyn perusteella eri suunnittelijat mitoittavat eri mitoituskriteereillä samantyyppisiä verkostoja. Tämä vahvistaa tutkimuksen taustanakin olutta ajatusta siitä, että verkostoja mitoitetaan osittain oman tuntuman perusteella. Tutkimusta tehdessä havaittiin, että alan kirjallisuudessa on melko vähän julkaistu ohjeellisia mitoituskriteerejä eri verkostoille ja niistäkin suurin osa koskee patteri-verkostojen mitoitusta.

Tutkimuksen tavoitteena oli laatia mitoitustaulukot eri järjestelmille, jotka ottavat huomioon säädettävyyden ja äänitekniikan. Tutkimuksessa esitettiin eri järjestelmille kitkapainehäviöiden ja virtausnopeuksien osalta raja-arvot. Verkostojen investointi- ja pumppauskustannuksien suhteen optimaalisinta mitoitusta voidaan erikseen arvioida Excel-laskentaohjelmalla.

Ehdotettu mitoituskriteerin valinta – prosessin kulku on esitetty kuvattu kuvassa 44. Patteriverkostojen lisäksi jäähdytyspalkki- ja puhallinkonvektori-verkostot sijaitsevat yleensä tiloissa, joita pidetään säädettävyyden ja äänitekniikan näkökulmasta vaativina. Vähemmän vaativina voidaan tietysti tapauskohtaisesti pitää konehuoneissa ja teollisuuskohteissa olevia verkostoja.



Kuva 44 Ehdotettu mitoituskriteerin valintaprosessi.

## 9 SUUNNITTELUSUOSITUKSET

Verkostojen mitoittamiseen tullaan varmasti tulevaisuudessa kiinnittämään enemmän huomioita sekä jatkuvasti kallistuvien putkimateriaalien myötä että energianäkökulmasta. Jo nykyäänkin tilaajat ovat määritelleet insinööritoimistoille omia mitoituskriteerejä, joilla tilaajan putkiverkostot pitää mitoittaa. Tutkimuksen perusteella verkostojen mitoittamiseen esitetään seuraavanlaisia suosituksia:

- Asuin-, toimisto-, liike- ja julkisrakennusten patteriverkostoja pidetään perussäädettävyyden ja äänitekniikan näkökulmasta vaativina, joten verkostot tulisi mitoittaa aina väljiksi  $R_{\max} = 50 \text{ Pa/m}$ .
- Patteriverkostojen osalta on mietittävä lämpötilaeron pienentämistä meno- ja paluujohdon välillä varsinkin huonekohtaisten lämmitystehontarpeiden pienentyessä.
- Moduulimaiseen verkostorakenteeseen on pyrittävä kaikissa verkostoissa.
- Venttiilien esisäätöarvot on laskettava ja mahdollisesti tarkistettava verkoston valmistuessa varsinkin silloin, jos rakennettu verkosto on erilainen kuin mallinnettu.
- Pumpun vakioaine-erosäätöä verkoston yli on käytettävä kaksitieventtiilien kanssa sekä isoissa patteriverkostoissa muuttuvien kuormitusolosuhteiden hallitsemiseksi.
- Isoihin ja investointikustannuksiltaan merkittäviin verkostoihin kannattaisi soveltaa investointi- ja pumppauskustannuksien optimointia, kuitenkin siten, että kappaleessa 7 esitetyt rajat eivät ylity.

## LÄHTEET

Aittomäki, A. & Kianta, J. 2003. Indirect refrigeration systems design guide book. Tampere University of Technology, Institute of Energy and Process Engineering. Raportti 173. Tampere. 237 s.

ATK-Paja Oy. 2007. Xpaja.

Bohl, W. 1988. Teknillinen virtausoppi. 2. painos. Tampere. Sonator. 266 s.

Halme, A. & Seppänen, O. 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy. 157 s.

Karvinen, R. & Syrjälä, S. 1993. Pumppujen ja putkiston virtaustekniikka 1. jakso Pumppaustekniikan perusteet 30. – 31.3.93. Edutech.

Karvonen, M., Pirttimaa, T., Koskela, R., Santanen, S., Westerholm, V., Vuorelainen, O., Ponsi, J. & Mäkelä, E. 1970. Lämpötekniikka II. Helsinki. Lämpö- ja vesijohtoteknillinen yhdistys ry. 186 s.

Kauppa- ja teollisuusministeriö. energiaosasto. 1989 LVI-Laitteiden ylimitoituksen haittojen välttäminen. sarja D:170. Helsinki. Valtion painatuskeskus. 86 s.

Kohonen, R., Laitinen, R. & Virtanen, M. 1985. Vesiradiaattoriverkon virtaus- ja lämpötekniikka. Espoo. Valtion painatuskeskus. 185 s.

Laiho, E-M. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkeli. MTOL. 98 s.

LVI-Dahl Oy. Hinnasto 2.7.2007.

Outokumpu Oy. 2008. Kupariputkien mitoitus, [www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com).

Oy Kolmeks Ab. 2007. Spirovent Dirt esite.

Penttilä, T. 2002. Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö. LVI-ohjekortti 50-10345. Rakennustieto Oy. 12 s.

Petitjean, R. 1994. Total Hydronic Balancing. Borås. Tour & Andersson AB. 485 s.

Petitjean, R. & Huuhtanen, R. 1994. Tasapainotusmoduulit. Tour & Andersson Oy. 6 s.

Petitjean, R., Nykom, N. & Sandberg, S. 1990. Täydellinen säätö. Göteborg. Novum Grafiska AB. 130 s.

Progman Oy. 2007. MagiCAD 2006.5.

Projekti-Insinöörit Oy. 1990. Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysverkoston perussäätö. Tiedonjyväkortti LVI 31-10164. Rakennustieto Oy. 3 s.

Sarkki, J. & Sarkki, Y. 2008. LVI kalenteri 2008. Suomen Kalenterit Oy. 62 s.

Senaatti-kiinteistöt Oy. 2004. Digitaalisten loppudokumenttien muotovaatimukset, Sovelluskohtainen liite: MagiCAD 2002.5 (versio 1.0). 13 s.

Senewa Oy. 1994. Lämmitysverkoston säätö. LVI-ohjekortti 41-10230. Rakennustieto Oy. 8 s.

Senewa Oy. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. LVI-ohjekortti 12-10343. Rakennustieto Oy. 11 s.

Sevewa Oy. 2001. Vesikeskuslämmityksen äänitekniinen suunnittelu ja äänen-  
vaimennus. LVI-ohjekortti 12-10327. Rakennustieto Oy. 8 s.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. päivitetty painos. Jyväskylä. Gummerus kirjapaino Oy. 444 s.



Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C1, Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet. 1998. Helsinki. 9 s.

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3, Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2007. Helsinki. 14 s.

Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2007-2008. LVI-Tekniset Urakoitsijat LVI-TU ry & Rakennusliitto ry. 160 s.

Vehanen, M. Oras Oy. 17.8.2007. Sähköposti.

Vuorelainen, O. 1980. LVI-tekniikka Lämmönjakelu. 2. painos. Espoo. Otapaino. 248 s.

## MENETELMÄ 1 VUOSIKUSTANNUKSINA

Painehäviö pituusyksikköä kohden [Pa/m]:

$$\frac{\Delta p_h}{L} = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \left( \frac{1}{2} * \rho * v^2 \right) = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \left( \frac{\frac{1}{2} * \rho * q_m^2}{\rho^2 * \pi^2 * \frac{d^4}{16}} \right) = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^2}{\rho * \pi^2 * d^4}$$

Yksikötarkastelu:

$$\frac{Pa}{m} = \left( \frac{1}{m} + \frac{1}{m} \right) * \frac{\left( \frac{kg}{s} \right)^2}{\frac{kg}{m^3} * m^4}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{1}{m} * \frac{kg^2}{s^2 * kg * m}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{kg^2}{kg * m * m * s^2}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{kg}{m^2 * s^2}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{kg * m}{m^3 * s^2}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{kg * \frac{m}{s^2}}{m^3}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{N}{m^3}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{\frac{N}{m^2}}{m}$$

$$\frac{Pa}{m} = \frac{Pa}{m}$$

Pumppauksen aiheuttama vuosikustannus (tekstissä kaava 8):

$$H_1(d) = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

Yksikkötarkastelu:

$$H_1(d) = \left( \frac{1}{m} \right) * \frac{\left( \frac{kg}{s} \right)^3}{\left( \frac{kg}{m^3} \right)^2 * m^4} * \frac{vrk}{a} * \frac{h}{vrk} * \frac{\text{€}}{1000} * m$$

$$H_1(d) = \left( \frac{1}{m} \right) * \frac{\left( \frac{kg}{s} \right)^3}{\left( \frac{kg}{m^3} \right)^2 * m^4} * \frac{vrk}{a} * \frac{h}{vrk} * \frac{\text{€}}{Wh} * m$$

$$H_1(d) = \frac{1}{m} * \frac{\frac{kg^3}{s^3}}{\frac{kg^2}{m^6} * m^4} * \frac{h}{a} * \frac{\text{€}}{Wh} * m$$

$$H_1(d) = \frac{1}{m} * \frac{\frac{kg^3}{s^3}}{\frac{kg^2}{m^2}} * \frac{h}{a} * \frac{\text{€}}{Wh} * m$$

$$H_1(d) = \frac{kg^3 * h * \text{€} * m^3}{m * kg^2 * a * Wh * s^3}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{a * W * s^3}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{a * \frac{J}{s} * s^3}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{a * J * s^2}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{a * Nm * s^2}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \epsilon * m}{a * kg * \frac{m}{s^2} * s^2}$$

$$H_1(d) = \frac{\epsilon}{a}$$

Putken hankinnasta aiheutuva vuosikustannus (tekstissä kaava 9):

$$H_2(d) = \left( \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) * f * \pi * d * \rho_t * k_t * L * \left( \frac{d * p * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p * 10^5} * \frac{1}{\nu} \right)$$

Yksikkötarkastelu:

$$H_2(d) = \frac{1}{a} * m * \frac{kg}{m^3} * \frac{\epsilon}{kg} * m * \left( \frac{m * bar * 10^5}{\frac{N}{mm^2} * 10^6 - bar * 10^5} \right)$$

$$H_2(d) = \frac{1}{a} * \frac{1}{m^2} * \epsilon * m * \left( \frac{m * Pa}{\frac{N}{m^2} - Pa} \right)$$

$$H_2(d) = \frac{1}{a} * \frac{1}{m^2} * \epsilon * m * \left( \frac{m * \frac{N}{m^2}}{\frac{N}{m^2} - \frac{N}{m^2}} \right)$$

$$H_2(d) = \frac{1}{a} * \frac{1}{m^2} * \epsilon * m^2$$

$$H_2(d) = \frac{1}{a} * \epsilon$$

$$H_2(d) = \frac{\epsilon}{a}$$

Kokonaisuudessa putkiston hankinta aiheuttaa vuosikustannuksen  $H = H_1 + H_2$ , jolle saadaan minimiarvo yhtälöstä (tekstissä kaava 10):

$$\frac{dH}{dd} = \frac{dH_1}{dd} + \frac{dH_2}{dd} = 0$$

$$H_1(d) = \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$H_1(d) = \lambda * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^5} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L + \frac{\zeta}{L} * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$H_1(d) = \frac{1}{d^5} * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L + \frac{1}{d^4} * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$H_1(d) = d^{-5} * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L + d^{-4} * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$\frac{dH_1}{dd} = -5 * d^{-5-1} * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L - 4 * d^{-4-1} * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$\frac{dH_1}{dd} = -5 * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{d^6 * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L - 4 * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{d^5 * L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

$$H_2(d) = \left( \frac{i * (1+i)^n}{(i+1)^n - 1} \right) * f * \pi * d * \rho_t * k_t * L * \left( \frac{d * p * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p * 10^5} * \frac{1}{v} \right)$$

$$\frac{dH_2}{dd} = 2 * \left( \frac{i * (1+i)^n}{(i+1)^n - 1} \right) * f * \pi * d * \rho_t * k_t * L * \left( \frac{p * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p * 10^5} * \frac{1}{v} \right)$$

## MENETELMÄ 1 NYKYARVONA

Pumppauksen aiheuttama kokonaiskustannus muunnettuna nykyhetkeen (tekstissä kaava 11):

$$H_1(d) = K_e * \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{1000}{\eta} * L$$

Yksikötarkastelu:

$$H_1(d) = a * \left( \frac{1}{m} \right) * \frac{\left( \frac{kg}{s} \right)^3}{\left( \frac{kg}{m^3} \right)^2 * m^4} * \frac{vrk}{a} * \frac{h}{vrk} * \frac{\text{€}}{1000} * m$$

$$H_1(d) = a * \left( \frac{1}{m} \right) * \frac{\left( \frac{kg}{s} \right)^3}{\left( \frac{kg}{m^3} \right)^2 * m^4} * \frac{vrk}{a} * \frac{h}{vrk} * \frac{\text{€}}{Wh} * m$$

$$H_1(d) = a * \frac{1}{m} * \frac{\frac{kg^3}{s^3}}{\frac{kg^2}{m^6} * m^4} * \frac{h}{a} * \frac{\text{€}}{Wh} * m$$

$$H_1(d) = a * \frac{1}{m} * \frac{\frac{kg^3}{s^3}}{\frac{kg^2}{m^2}} * \frac{h}{a} * \frac{\text{€}}{Wh} * m$$

$$H_1(d) = \frac{kg^3 * h * \text{€} * m^3}{m * kg^2 * Wh * s^3}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{W * s^3}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{\frac{J}{s} * s^3}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \text{€} * m^2}{J * s^2}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \epsilon * m^2}{Nm * s^2}$$

$$H_1(d) = \frac{kg * \epsilon * m}{kg * \frac{m}{s^2} * s^2}$$

$$H_1(d) = \epsilon$$

Putken hankinnasta aiheutuva kustannus (tekstissä kaava 14):

$$H_2(d) = f * \pi * d * \rho_t * k_t * L * \left( \frac{d * p * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p * 10^5} * \frac{1}{\nu} \right)$$

Yksikkötarkastelu:

$$H_2(d) = m * \frac{kg}{m^3} * \frac{\epsilon}{kg} * m * \left( \frac{m * bar * 10^5}{\frac{N}{mm^2} * 10^6 - bar * 10^5} \right)$$

$$H_2(d) = \frac{1}{m^2} * \epsilon * m * \left( \frac{m * Pa}{\frac{N}{m^2} - Pa} \right)$$

$$H_2(d) = \frac{1}{m^2} * \epsilon * m * \left( \frac{m * \frac{N}{m^2}}{\frac{N}{m^2} - \frac{N}{m^2}} \right)$$

$$H_2(d) = \frac{1}{m^2} * \epsilon * m^2$$

$$H_2(d) = \epsilon$$

Kokonaisuudessa putkiston hankinta aiheuttaa kustannuksen  $H = H_1 + H_2$ , jolle saadaan minimiarvo yhtälöstä (tekstissä kaava 10):

$$\frac{dH}{dd} = \frac{dH_1}{dd} + \frac{dH_2}{dd} = 0$$

$$H_1(d) = K_e * \left( \frac{\lambda}{d} + \frac{\zeta}{L} \right) * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L$$

$$H_1(d) = \lambda * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^5} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e + \frac{\zeta}{L} * \frac{8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2 * d^4} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e$$

$$H_1(d) = \frac{1}{d^5} * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e + \frac{1}{d^4} * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e$$

$$H_1(d) = d^{-5} * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e + d^{-4} * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e$$

$$\frac{dH_1}{dd} = -5 * d^{-5-1} * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{\rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e - 4 * d^{-4-1} * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e$$

$$\frac{dH_1}{dd} = -5 * \frac{\lambda * 8 * q_m^3}{d^6 * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e - 4 * \frac{\zeta * 8 * q_m^3}{d^5 * L * \rho^2 * \pi^2} * \tau * 24 * \frac{k_e}{\eta} * L * K_e$$

$$H_2(d) = f * \pi * d * \rho_i * k_i * L * \left( \frac{d * p * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p * 10^5} * \frac{1}{v} \right)$$

$$\frac{dH_2}{dd} = 2 * f * \pi * d * \rho_i * k_i * L * \left( \frac{p * 10^5}{2 * \frac{\sigma_1 * 10^6}{n_1} - p * 10^5} * \frac{1}{v} \right)$$



## MENETELMÄ 2 VUOSIKUSTANNUKSINA

Putkiosuuden vuosikustannus (tekstissä kaava 15):

$$K = \left( \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \cdot B \cdot L + \frac{\dot{V}_P}{1000} \cdot S \cdot L \cdot R_o \cdot \left( \frac{\dot{V}}{\dot{V}_o} \right)^2 \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{E}{1000} \cdot t_k \cdot 24$$

Yksikkötarkastelu:

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a \cdot m} \cdot m + \frac{\frac{l}{s}}{1000} \cdot m \cdot \frac{Pa}{m} \cdot \frac{\text{€/kWh}}{1000} \cdot \frac{\text{vrk}}{a} \cdot 24 \cdot \frac{h}{\text{vrk}}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m^3}{s} \cdot m \cdot \frac{Pa}{m} \cdot \frac{\text{€}}{\text{Wh}} \cdot \frac{h}{a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m^3}{s} \cdot Pa \cdot \frac{\text{€}}{W} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m^3}{s} \cdot \frac{N}{m^2} \cdot \frac{\text{€}}{W} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m}{s} \cdot N \cdot \frac{\text{€}}{W} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m}{s} \cdot N \cdot \frac{\text{€}}{\frac{J}{s}} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m}{s} \cdot N \cdot \frac{\text{€} \cdot s}{Nm} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{m \cdot N \cdot \text{€} \cdot s}{s \cdot N \cdot m \cdot a}$$

$$\frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a} + \frac{\text{€}}{a} = \frac{\text{€}}{a}$$

Taloudellisimman vesivirran raja-arvo (tekstissä kaava 16):

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{\left(\frac{i*(1+i)^n}{(i+1)^n - 1}\right) * (B_1 - B)}{\frac{\dot{V}_p}{1000} * S * \frac{E}{1000} * t_k * \frac{1}{\eta} * 24 * \left(\frac{R_o}{\left(\frac{\dot{V}_o}{1000}\right)^2} - \frac{R_{o1}}{\left(\frac{\dot{V}_{o1}}{1000}\right)^2}\right)}} * 1000$$

Yksikötarkastelu:

$$\frac{l}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\epsilon}{a * m}}{\frac{\frac{l}{s} * \frac{\epsilon}{kWh} * \frac{vrk}{a} * 24 * \frac{h}{vrk}} * \left(\frac{\frac{Pa}{m}}{\left(\frac{l}{s}\right)^2} - \frac{\frac{Pa}{m}}{\left(\frac{l}{s}\right)^2}\right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\epsilon}{a * m}}{\frac{\frac{m^3}{s} * \frac{\epsilon}{Wh} * \frac{h}{a}} * \left(\frac{\frac{Pa}{m}}{\left(\frac{m^3}{s}\right)^2} - \frac{\frac{Pa}{m}}{\left(\frac{m^3}{s}\right)^2}\right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\epsilon}{a * m}}{\frac{\frac{m^3}{s} * \frac{\epsilon}{W * a}} * \left(\frac{\frac{Pa}{m}}{\left(\frac{m^3}{s}\right)^2}\right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\epsilon}{a * m}}{\frac{m^3}{s} * \frac{\epsilon}{W * a} * \left(\frac{Pa * s^2}{m^6 * m}\right)}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\epsilon}{a * m}}{\frac{\epsilon}{W * a} * \frac{Pa * s}{m^4}}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\epsilon * W * a * m^4}{\epsilon * Pa * s * m * a}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{W * m^3}{Pa * s}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{J}{s} * m^3}{\frac{N}{m^2} * s}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{N * m * m^3 * m^2}{N * s * s}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{m^6}{s^2}} = \frac{m^3}{s}$$

## MENETELMÄ 2 NYKYARVONA

Putkiosuuden kokonaiskustannus muutettuna nykyhetkeen:

$$K = B * L + K_e * \frac{\dot{V}_P}{1000} * S * L * R_o * \left( \frac{\dot{V}}{\dot{V}_o} \right)^2 * \frac{1}{\eta} * \frac{E}{1000} * t_k * 24 * K_e$$

Yksikkötarkastelu:

$$\text{€} = \frac{\text{€}}{m} * m + \frac{l}{s} * m * \frac{Pa}{m} * \frac{\text{€/kWh}}{1000} * \frac{vrk}{a} * 24 \frac{h}{vrk} * a$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m^3}{s} * m * \frac{Pa}{m} * \frac{\text{€}}{Wh} * h$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m^3}{s} * Pa * \frac{\text{€}}{W}$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m^3}{s} * \frac{N}{m^2} * \frac{\text{€}}{W}$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m}{s} * N * \frac{\text{€}}{W}$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m}{s} * N * \frac{\text{€}}{\frac{J}{s}}$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m}{s} * N * \frac{\text{€} * s}{Nm}$$

$$\text{€} = \text{€} + \frac{m * N * \text{€} * s}{s * N * m}$$

$$\text{€} = \text{€} + \text{€} = \text{€}$$

Taloudellisimman vesivirran raja-arvo (tekstissä kaava 17):

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{(B_1 - B)}{K_e * \frac{\dot{V}_p}{1000} * S * \frac{E}{1000} * t_k * \frac{1}{\eta} * 24 * \left( \frac{R_o}{\left(\frac{\dot{V}_o}{1000}\right)^2} - \frac{R_{o1}}{\left(\frac{\dot{V}_{o1}}{1000}\right)^2} \right)}} * 1000$$

Yksikötarkastelu:

$$\frac{l}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\text{€}}{m}}{a * \frac{l}{s} * \frac{\text{€}}{1000} * \frac{\text{vrk}}{a} * 24 * \frac{h}{\text{vrk}} * \left( \frac{\frac{\text{Pa}}{m}}{\left(\frac{l}{s}\right)^2} - \frac{\frac{\text{Pa}}{m}}{\left(\frac{l}{s}\right)^2} \right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\text{€}}{m}}{\frac{m^3}{s} * \frac{\text{€}}{\text{Wh}} * h * \left( \frac{\frac{\text{Pa}}{m}}{\left(\frac{m^3}{s}\right)^2} - \frac{\frac{\text{Pa}}{m}}{\left(\frac{m^3}{s}\right)^2} \right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\text{€}}{m}}{\frac{m^3}{s} * \frac{\text{€}}{W} * \left( \frac{\frac{\text{Pa}}{m}}{\left(\frac{m^3}{s}\right)^2} \right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\text{€}}{m}}{\frac{m^3}{s} * \frac{\text{€}}{W} * \left( \frac{\text{Pa} * s^2}{m^6 * m} \right)}} * 1000$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{\epsilon}{m}}{\frac{\epsilon}{W} * \frac{Pa * s}{m^4}}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\epsilon * W * m^4}{\epsilon * Pa * s * m}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{W * m^3}{Pa * s}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{\frac{J}{s} * m^3}{\frac{N}{m^2} * s}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{N * m * m^3 * m^2}{N * s * s}}$$

$$\frac{m^3}{s} = \sqrt{\frac{m^6}{s^2}} = \frac{m^3}{s}$$

*Suljettujen putkiverkostojen mitoitusperusteiden tarkastelu ja soveltaminen erilaisiin käyttökohteisiin - opinnäytetyöhön liittyvä kysely.*

Nimi: \_\_\_\_\_

Toimenkuva: \_\_\_\_\_

### Kysymykset

1. Millä mitoituskriteerillä mitoitat MagiCad-suunnitteluohjelmalla lämmitysverkostot?  
(Oletusarvona MagiCad:ssä 50 Pa/m)

---

---

2. Millä mitoituskriteerillä mitoitat MagiCad-suunnitteluohjelmalla IV-lämpöjohtoverkostot?

---

---

3. Millä mitoituskriteerillä mitoitat MagiCad-suunnitteluohjelmalla jäähdytysverkostot (palkki- ja puhallinkonvektoriverkostot)? (Oletusarvona MagiCad:ssä 100 Pa/m)

---

---

4. Millä mitoituskriteerillä mitoitat MagiCad-suunnitteluohjelmalla IV-jäähdytysverkostot?

---

---

5. Lukitsetko putkikokoja MagiCad-mitoituksen jälkeen ja lasketatko MagiCadillä verkoston uudelleen?

---

---

6. Onko taloudellisella toteutuksella ja käytöllä vaikutusta verkostojen mitoitukseen?  
(Esimerkiksi mitoitetaan verkosto kireämmäksi, päästään pienemmillä putkikoilla)

---

---

7. Voiko tilantarpeella olla vaikutusta putkiston mitoitukseen esimerkiksi ahtaissa konehuoneissa?

---

---

8. Oletko kuullut, että lämpöjohto- tai jäähdytysverkostoissa olisi esiintynyt ääniongelmia?

---

---

9. Tunnetko taloudellisesti parhaan putkikoon laskentamenetelmän? (Taloudellisesti paras putkikoko saavutetaan silloin, kun putkiston pääomakustannusten ja pumppauskustannusten summa saavuttaa minimin)

---

---

10. Onko rakennuksen käyttötarkoituksella vaikutusta mitoitukseen? (Esimerkki mitoitetaan toimistorakennuksen jäähdytyspalkkiverkosto väljäksi, jotta välttyttäisiin ääniongelmilta)

---

---

11. Jos rakennuksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon muuntojoustavuus, mitoitetaanko putkisto tällöin väljemmin?

---

---

12. Osaatko arvioida suunnilleen mitä eri putket maksavat asennus- ja eristystöineen?

---

---

13. Osaatko arvioida suunnilleen mitä eri putkistovarusteet maksavat? (Venttiilit jne)

---

---



*Suljettujen putkiverkostojen mitoitusperusteiden tarkastelu ja soveltaminen erilaisiin käyttökohteisiin - opinnäytetyöhön liittyvä kysely.*

Nimi: \_\_\_\_\_

Toimenkuva: \_\_\_\_\_

### Kysymykset

1. Onko lämpö- tai jäähdytysverkostoissa esiintynyt ääniongelmia, millaisia?

---

---

2. Onko lämpö- tai jäähdytysverkostojen perussäädössä ilmennyt ongelmia, millaisia?

---

---

3. Onko verkostojen ilmaamisessa ilmennyt ongelmia?

---

---

4. Onko suunnitelmista puuttunut perussäädön kannalta tärkeitä tietoja, kuten venttiilien esisäätöarvoja, virtaamia jne.?

---

---

5. Miten lähelle lasketut esisäätöarvot menevät mitattujen ja säädettyjen kanssa?

---

---

6. Löytyykö suunnitelmista riittävästi linjasäätöventtiileitä perussäätötyön suorittamiseksi?

---

---

7. Onko eri valmistajien patteriventtiileissä merkittäviä eroja äänenkehityksen kannalta?

---

---

8. Onko eri valmistajien linjasäätöventtiileissä merkittäviä eroja säädettävyyden ja säätötyön kannalta?

---

---

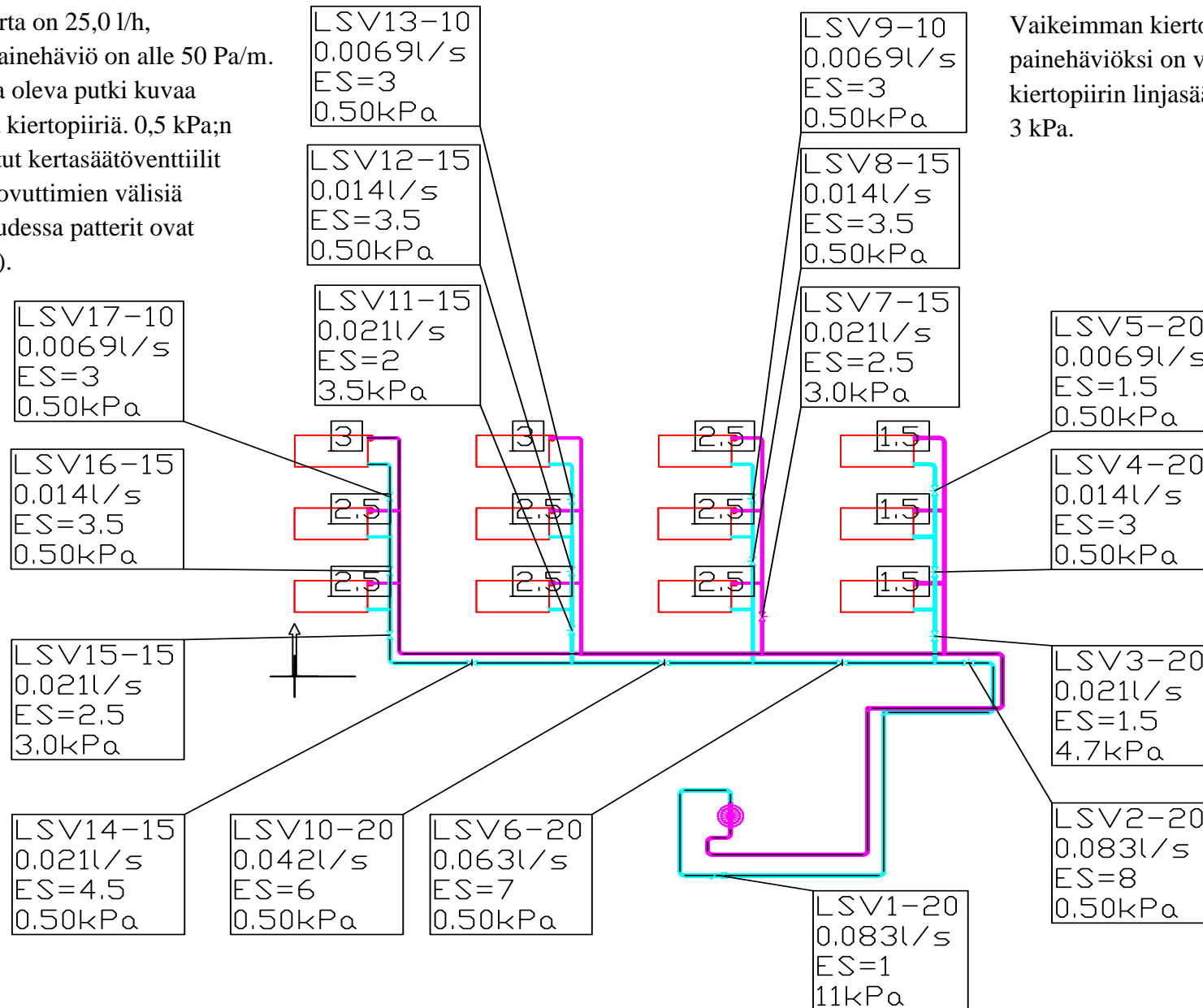
9. Miten herkästi patteriventtiili tukkeutuu esisäätöarvon ollessa 1?

---

---

**Kiitos osallistumisestasi kyselyyn!**

Yhden patterin vesivirta on 25,0 l/h, tällöin putkien kitkapainehäviö on alle 50 Pa/m. Mustalla keskiviivalla oleva putki kuvaa verkoston mitoittavaa kiertopiiriä. 0,5 kPa;n painehäviölle mitoitetut kertasäätöventtiilit simuloivat lämmönluoventtimien välisiä etäisyyksiä (todellisuudessa patterit ovat kauempana toisistaan).



Vaikeimman kiertopiirin patteriventtiilin painehäviöksi on valittu 4 kPa ja vaikeimman kiertopiirin linjasäätöventtiilin painehäviöksi 3 kPa.

Tapaus 1.

Painehäviölaskenta (vaikein kiertopiiri)

MagiCAD HPV - Flow route

Date: 23.10.2007

Range: Route of system L1 Lämmitys 1

Storey	Type	Series or product	Size	qv[l/s]	v[m/s]	dp[kPa]	dpcon[kPa]	ptot[kPa]	kv	Adj.
Kerros 1	Open end/Unspec.		20 L	0.083				22.5		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23			22.5		
Kerros 1	Other pipe component	PUMPPU-20	20	0.083				22.5		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.00		22.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.5		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.01		22.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.5		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.00		22.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.4		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.06		22.4		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.4		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.06		22.3		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.3		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.09		22.2		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.2		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.05		22.1		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.1		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.02		22.1		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		22.1		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.02		22.1		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.083				22.1		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.063	0.17	0.04		22.0		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.063				22.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.042	0.11	0.02		22.0		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.042				22.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	15 L	0.021	0.10	0.02	0.00	22.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	15 L	0.021		0.00		22.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	15 L	0.021	0.10	0.01		22.0		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.021				22.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	15 L	0.014	0.07	0.01		22.0		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.014				22.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	10 L	0.007	0.06	0.01		22.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	10 L	0.007		0.00		22.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	10 L	0.007	0.06	0.00		22.0		
Kerros 1	Radiator valve	STABILA-10	10 L	0.007		4.00		18.0	0.13	3
Kerros 1	Heating radiator	PC11-300-600	10 L	0.007				18.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	10 L	0.007	0.06	0.00		18.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	10 L	0.007		0.00		18.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	10 L	0.007	0.06	0.00		18.0		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-10	10 L	0.007		0.50		17.5	0.35	3
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	10 L	0.007	0.06	0.00		17.5		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.014				17.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.014	0.07	0.00		17.5		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-15	15 L	0.014		0.50		17.0	0.71	3.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.014	0.07	0.00		17.0		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.021				17.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.021	0.10	0.00		16.9		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-15	15 L	0.021		3.00		13.9	0.43	2.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.021	0.10	0.00		13.9		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	15 L	0.021		0.00		13.9		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.021	0.10	0.01		13.9		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-15	15 L	0.021	0.10	0.01	0.00	13.4	1.1	4.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.021	0.10	0.01		13.4		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.042				13.4		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.042	0.11	0.01		13.4		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-20	20 L	0.042		0.50		12.9	2.1	6
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.042	0.11	0.01		12.9		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.063				12.9		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.063	0.17	0.02		12.9		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-20	20 L	0.063		0.50		12.4	3.2	7
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.063	0.17	0.02		12.4		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.083				12.4		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.01		12.4		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-20	20 L	0.083		0.50		11.9	4.2	8
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.01		11.9		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		11.8		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.02		11.8		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		11.8		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.04		11.8		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		11.8		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.09		11.7		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		11.6		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.07		11.6		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		11.6		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.06		11.5		
Kerros 1	Zone valve	STAD-20	20	0.083		11.40		0.1	0.89	1
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.01		0.1		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		0.1		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.03		0.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.083		0.01		0.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.02		0.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20	0.083		0.01		0.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.083	0.23	0.00		0.0		
Kerros 1	Open end/Unspec.		20	0.083						

Mittajat: Harri Nuora ja Liisa Jokinen

Pvm: 5.10.2007

Mittalaite: TA-CMI, kalibroitu 14.11.2006

Suoritusperusteet:

- verkosto ilmattu
- verkostossa esisäädetyt patteriventtiilit
- verkostossa esisäädetyt linjasäätöventtiilit
- pumppu korjattu vastaamaan uusia olosuhteita

Verkoston vaikeimman kiertopiirin painehäviö 22,5 kPa

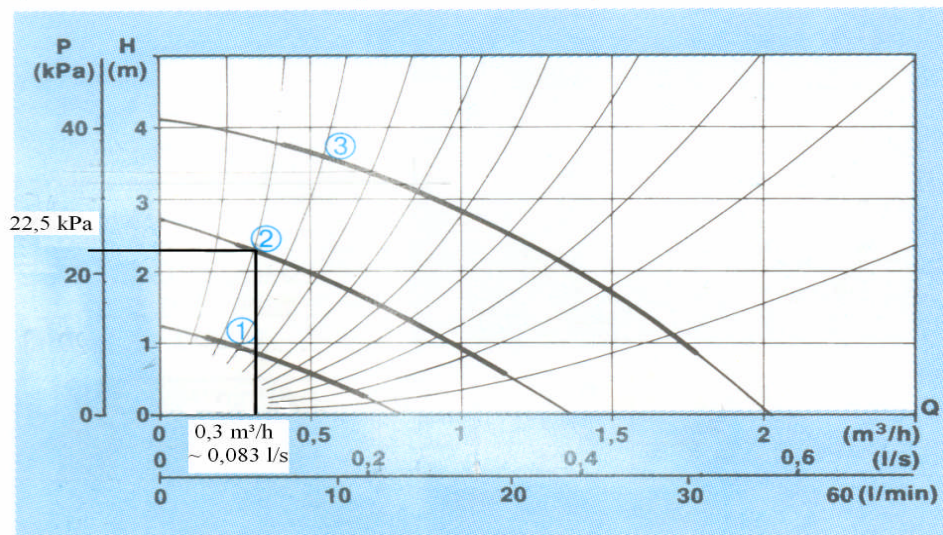
Tarvittava kokonaisvesivirta 0,083 l/s

Pumpun ominaiskäyrä:

## UPS 25-40A 180

(korvaa UPS 22-35 ja UPS 22-45)

1 × 220 V



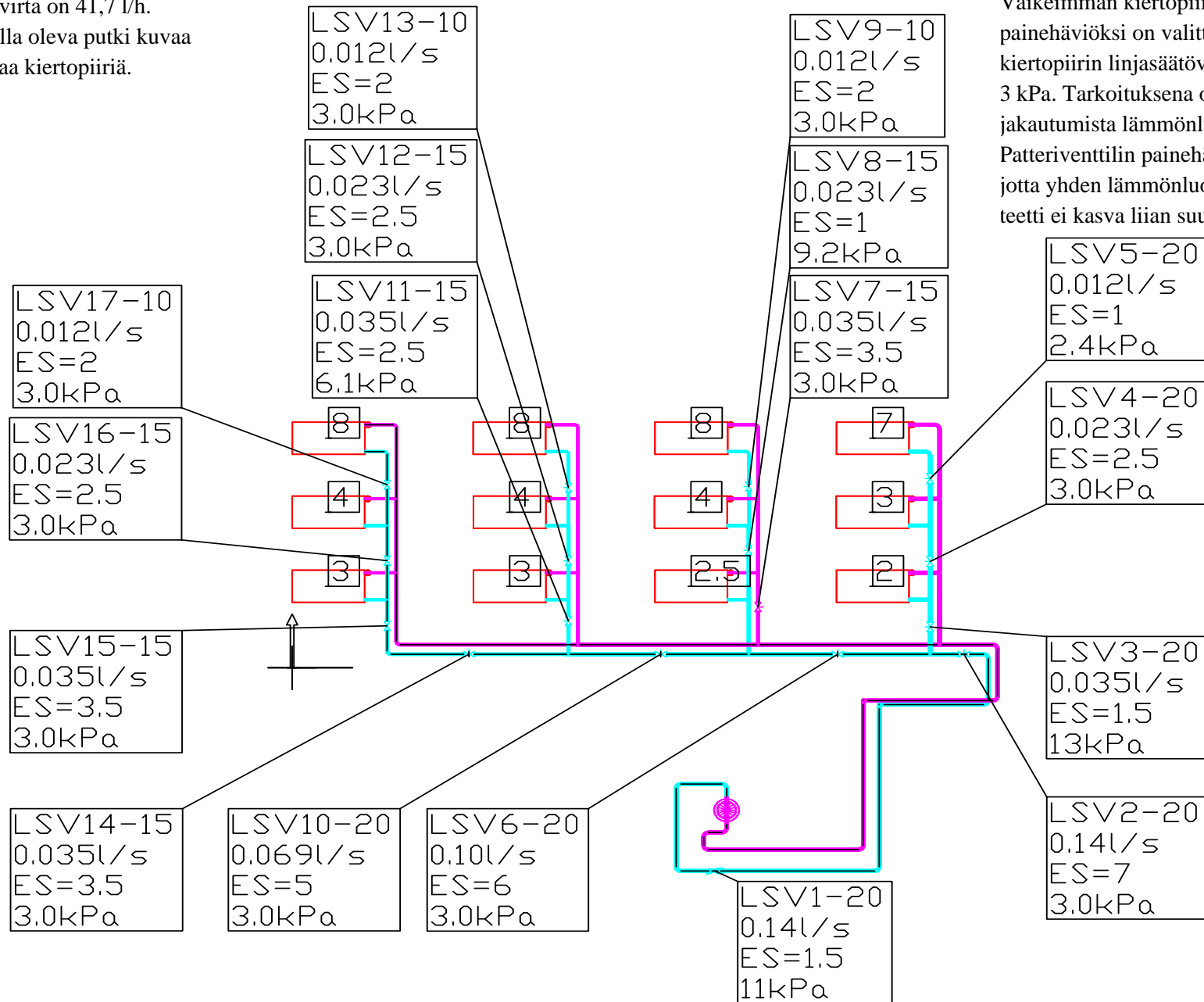
Verkosto on mitoitettu siten, että päälinjasäätöventtiilillä (LSV1) hienosäädetään verkoston painehäviö pumpun ominaiskäyrälle sopivaksi.

Käytetään pumpun 2 pyörimisnopeutta.

	Lasketut arvot			Mitatut arvot			Virtaaman Poikkeama %
	Virtaama [l/s]	Painehäviö [kPa]	ES	Virtaama [l/s]	Painehäviö [kPa]	ES	
LSV1	0,083	11,0	1,2	0,091	13,16	1,2	9,6
LSV3	0,021	4,7	1,5	0,019	3,63	1,5	9,5
LSV7	0,021	3,0	2,5	0,020	2,17	2,5	4,8
LSV11	0,021	3,5	2,0	0,021	3,83	2,0	0,0
LSV15	0,021	3,0	2,5	0,023	2,85	2,5	8,7

Verkoston veden lämpötila 21,4 °C

Yhden patterin vesivirta on 41,7 l/h.  
Mustalla keskiviivalla oleva putki kuvaa verkoston mitoittavaa kiertopiiriä.



Vaikeimman kiertopiirin patteriventtiin painehäviöksi on valittu 1 kPa ja vaikeimman kiertopiirin linjasäätöventtiin painehäviöksi 3 kPa. Tarkoituksena on tutkia vesivirran jakautumista lämmönluovuttimien kesken. Patteriventtiin painehäviö on valittu pieneksi, jotta yhden lämmönluovuttimen auktoriteetti ei kasva liian suureksi.

## Painehäviölaskenta (vaikein kiertopiiri)

MagiCAD HPV - Flow route

Date: 23.10.2007

Range: Route of system L1 Lämmitys 1

Storey	Type	Series or product	Size	qv[l/s]	v[m/s]	dp[kPa]	dpcon[kPa]	ptot[kPa]	kv	Adj.
Kerros 1	Open end/Unspec.		20 L	0.139				36.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38			36.0		
Kerros 1	Other pipe component	PUMPPU-20	20	0.139				36.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.00		36.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		36.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.01		35.9		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.9		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.01		35.9		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.9		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.15		35.7		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.7		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.15		35.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.5		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.22		35.3		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.2		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.12		35.1		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.1		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.05		35.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		35.0		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.05		34.9		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.139				34.9		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.104	0.28	0.10		34.8		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.104				34.8		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	20 L	0.069	0.19	0.05		34.8		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.069				34.8		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	15 L	0.035	0.17	0.06	0.00	34.7		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	15 L	0.035		0.01		34.7		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	15 L	0.035	0.17	0.03		34.7		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.035				34.7		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	15 L	0.023	0.12	0.01		34.7		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.023				34.7		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	10 L	0.012	0.09	0.01		34.7		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	10 L	0.012		0.00		34.7		
Kerros 1	Pipe/supply	SFS 3312	10 L	0.012	0.09	0.00		34.6		
Kerros 1	Radiator valve	STABILA-10	10 L	0.012		1.14		33.5	0.39	8
Kerros 1	Heating radiator	PC11-300-600	10 L	0.012				33.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	10 L	0.012	0.09	0.00		33.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	10 L	0.012		0.00		33.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	10 L	0.012	0.09	0.00		33.5		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-10	10 L	0.012		3.00		30.5	0.24	2
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	10 L	0.012	0.09	0.01		30.5		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.023				30.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.023	0.12	0.00		30.5		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-15	15 L	0.023		3.00		27.5	0.48	2.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.023	0.12	0.00		27.5		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	15 L	0.035				27.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.035	0.17	0.01		27.5		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-15	15 L	0.035		3.00		24.5	0.72	3.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.035	0.17	0.01		24.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	15 L	0.035		0.01		24.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.035	0.17	0.03		24.4		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-15	15 L	0.035		3.00		21.4	0.72	3.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	15 L	0.035	0.17	0.03	0.00	21.4		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.069				21.4		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.069	0.19	0.02		21.4		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-20	20 L	0.069		3.00		18.4	1.4	5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.069	0.19	0.02		18.3		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.104				18.3		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.104	0.28	0.05		18.3		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-20	20 L	0.104		3.00		15.3	2.2	6
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.104	0.28	0.05		15.2		
Kerros 1	T-branch	SFS 3312	20 L	0.139				15.2		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.03		15.2		
Kerros 1	Zone valve	ORAS 4100-20	20 L	0.139		3.00		12.2	2.9	7
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.01		12.2		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		12.2		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.05		12.1		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		12.1		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.10		12.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		12.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.22		11.7		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		11.7		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.17		11.5		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		11.5		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.15		11.3		
Kerros 1	Zone valve	STAD-20	20	0.139		11.07		0.3	1.5	1.5
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.03		0.2		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		0.2		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.09		0.1		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20 L	0.139		0.04		0.1		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.04		0.0		
Kerros 1	Bend	SFS 3312	20	0.139		0.04		0.0		
Kerros 1	Pipe/return	SFS 3312	20 L	0.139	0.38	0.01				
Kerros 1	Open end/Unspec.		20	0.139						

Mittajat: Harri Nuora ja Liisa Jokinen

Pvm: 5.10.2007

Mittalaite: TA-CMI, kalibroitu 14.11.2006

Suoritusperusteet:

- verkosto ilmattu
- verkostossa esisäädetyt patteriventtiilit
- verkostossa esisäädetyt linjasäätöventtiilit
- pumppu korjattu vastaamaan uusia olosuhteita

Verkoston vaikeimman kiertopiirin painehäviö 36,0 kPa

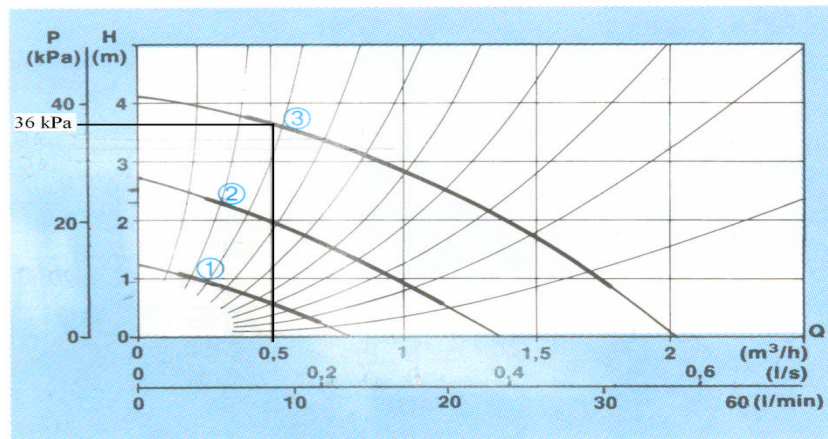
Tarvittava kokonaisvesivirta 0,14 l/s ~0,5 m<sup>3</sup>/h

Pumpun ominaiskäyrä:

### UPS 25-40A 180

(korvaa UPS 22-35 ja UPS 22-45)

1 × 220 V



Verkosto on mitoitettu siten, että päälinjasäätöventtiilillä (LSV1) hienosäädetään verkoston painehäviö pumpun ominaiskäyrälle sopivaksi.

Käytetään pumpun 3 pyörimisnopeutta.

	Suunnittelija			Mitatut arvot			Virtaaman Poikkeama %
	Virtaama [l/s]	Painehäviö [kPa]	ES	Virtaama [l/s]	Painehäviö [kPa]	ES	
LSV1	0,140	11,0	1,8	0,136	9,41	1,8	2,9
LSV2	0,140	3,0	7,0	0,134	2,53	7,0	4,3
LSV3	0,035	13,0	1,5	0,033	11,61	1,5	5,7
LSV4	0,023	3,0	2,5	0,022	2,09	2,5	4,3
LSV5	0,012	2,4	1,0	0,012	2,36	1,0	0,0
LSV6	0,100	3,0	6,0	0,110	3,11	6,0	9,1
LSV7	0,035	3,0	3,5	0,034	2,74	3,5	2,9
LSV8	0,023	9,2	1,0	0,024	10,86	1,0	4,3
LSV9	0,012	3,0	2,0	0,012	3,48	2,0	0,0
LSV10	0,069	3,0	5,0	0,064	2,10	5,0	7,2
LSV11	0,035	6,1	2,5	0,036	7,08	2,5	2,9
LSV12	0,023	3,0	2,5	0,023	3,03	2,5	0,0
LSV13	0,012	3,0	2,0	0,012	3,50	2,0	0,0
LSV14	0,035	3,0	3,5	0,032	2,50	3,5	8,6
LSV15	0,035	3,0	3,5	0,035	2,90	3,5	0,0
LSV16	0,023	3,0	2,5	0,025	3,38	2,5	8,7
LSV17	0,012	3,0	2,0	0,012	3,04	2,0	0,0

Verkoston veden lämpötila 21,4 °C



## CMI DELIVERY CERTIFICATE / CMI LEVERANSINTYG

We, Tour & Andersson AB hereby certify that the parts for the differential pressure meter CMI, with the instrument unit serial number 06460051 and measurement unit serial number 06460052, this day has been set / controlled regarding pressure measuring and temperature measuring. Inspection equipments are regularly calibrated against reference instruments which are traceable to national standards according to ISO 9001.

Vi, Tour & Andersson AB intygat härmed att differenstryckmätare CMI med instrumentenhetsserienummer 06460051 och mäthenhetsserienummer 06460052, denna dag har ställts in / kontrollerats vad gäller tryckmätning och temperaturmätning. Kontrollutrustningen är regelbundet kalibrerad mot referensinstrument vilka är spårbara till nationella normaler enligt ISO 9001.

### Inspection equipments / Kontrollutrustningar

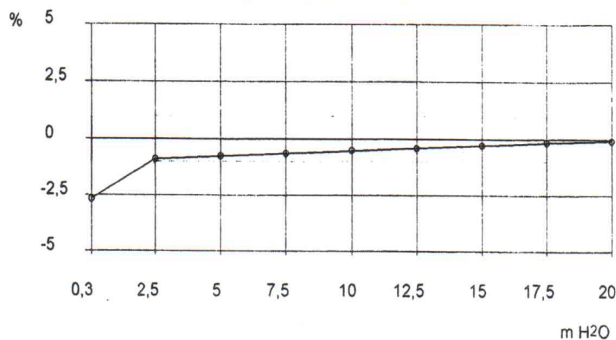
Pressure measuring / Tryckmätning:  
 Digital pressure calibrator / Digital tryckkalibrator Druck DPI 520 No 7963, 7964  
 Temperature measuring / Temperaturmätning:  
 Sensor simulators / Givarsimulatorer No 7864, 7873, 7874

### Result / Resultat:

Instrument unit Serial No: 06460051  
 Measurement unit Serial No: 06460052

At / Vid  $\Delta p = 5 \text{ m H}_2\text{O}$  / indic / visar 4,963 m H<sub>2</sub>O  
 At / Vid  $\Delta p = 15 \text{ m H}_2\text{O}$  / indic / visar 14,96 m H<sub>2</sub>O

At / Vid temp t= 5 °C indic / visar 5 °C  
 At / Vid temp t= 95 °C indic / visar 94,9 °C



Certified 2006-11-14  
 CMI-workshop / CMI-verkstad

Our quality and environmental system is certified in accordance with ISO 9001 and ISO 14001 by Det Norske Veritas. / Vårt kvalitet- och miljösystem är certifierat i enlighet med ISO 9001 och ISO 14001 av Det Norske Veritas.  
 Certificates nos 2000-SKM-AQ-848 and 2000-SKM-AE-304. /  
 Certifikatsnummer 2000-SKM-AQ-848 och 2000-SKM-AE-304.

Calibration & Reparation:  
**Tour & Andersson Service Ätvidaberg**  
 Örsätterfabriken  
 SE-597 80 Ätvidaberg

Product Owner:  
**Tour & Andersson AB**  
 SE-524 80 Ljung, Sweden. Visiting address: Annelund  
 Phone +46 (0)513 540 00. Fax +46 (0)513 508 44  
 www.tourandersson.com  
 Corporate registration No 556033-6256  
 an Indoor Climate business of IMI plc

## MagiCAD HPV - Bill of materials

Project: MITTATEKNIKAN KESKUS

Date: 11.01.2008

Mitoitus 1 ( $R_{max} = 50 \text{ Pa/m}$ )

Class	Size	Series	Product	N	L[m]	Insul.\series	s[mm]
Pipe	10	RFe			0.1		
Pipe	20	RFe			41.4		
Pipe	25	RFe			100.9		
Pipe	32	RFe			87.2		
Pipe	40	RFe			8.8		
Pipe	50	RFe			50.9		
Pipe	65	RFe			12.3		
Pipe	80	RFe			14.8		
Pipe	100	RFe			91.8		
Bend-30	25	RFe		1			
Bend-45	20	RFe		2			
Bend-45	25	RFe		1			
Bend-45	32	RFe		4			
Bend-45	50	RFe		2			
Bend-90	20	RFe		20			
Bend-90	25	RFe		35			
Bend-90	32	RFe		53			
Bend-90	40	RFe		4			
Bend-90	50	RFe		30			
Bend-90	100	RFe		30			
Bend-07	50	RFe		1			
Bend-41	25	RFe		1			
Bend-53	32	RFe		1			
T-branch-90	32/25	RFe		2			
T-branch-90	40/32	RFe		2			
T-branch-90	50/20	RFe		2			
T-branch-90	50/25	RFe		4			
T-branch-90	50/32	RFe		2			
T-branch-90	65/32	RFe		2			
T-branch-90	65/40	RFe		2			
T-branch-90	80/50	RFe		2			
T-branch-90	100/20	RFe		2			
T-branch-90	100/25	RFe		2			
T-branch-90	100/32	RFe		4			
T-branch-90	100/50	RFe		2			
T-branch-90	100/100	RFe		1			
Reduction	32/20	RFe		2			
Reduction	40/32	RFe		2			
Reduction	50/40	RFe		2			
Reduction	65/50	RFe		2			
Reduction	80/65	RFe		2			
Reduction	100/10	RFe		1			
Reduction	100/80	RFe		2			
Plug	10	RFe		1			
Zone valve	20	LSV3	ORAS 4100-20	3			
Zone valve	25	LSV3	ORAS 4100-25	4			
Zone valve	32	LSV3	ORAS 4100-32	5			
Zone valve	50	LSV3	ORAS 4100-50	3			
Zone valve	100	LSV3	ORAS 4100-100	2			
Stop valve	25	SV3	SV-25	1			
Stop valve	100	SV3	SV-100	2			
Other pipe component	100	P1	PUMPPU-100	1			
Flow node				15			

MagiCAD HPV - Flow route

Project: MITTATEKNIKAN KESKUS

Date: 11.01.2008

Range: Route of system JV2 JV\_KsK

Sizing method:  $R_{max} = 50 \text{ Pa/m}$

Liquid: Vesi 10/15°C

Storey	Type	Description	Series or product	Size	qv[l/s]	v[m/s]	dp[kPa]	dpcon[kPa]	ptot[kPa]	kv	Adj.
Kellari-2	Open end/Unspec.			100	4.340				25.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.45	0.00		25.8		
Kellari-2	Other pipe component		PUMPPU-100	100	4.340				25.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.45	0.00		25.8		
Kellari-2	Stop valve		SV-100	100	4.340		0.66		25.2		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.45	0.00		25.2		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		25.1		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.45	0.07		25.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		25.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.45	0.03		25.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		24.9		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.45	0.16		24.8		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.340				24.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.281	0.44	0.02		24.7		
Kellari-2	Stop valve		SV-100	100	4.281		0.64		24.1		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.281	0.44	0.10		24.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.281				24.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.08		23.9		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.9		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.06		23.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.00		23.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.7		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.14		23.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.00		23.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.09		23.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.02		23.3		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		23.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.43	0.02		23.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.137				23.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.40	0.01		23.2		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		23.2		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.40	0.01		23.2		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		23.1		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.40	0.03		23.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		23.1		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.40	0.01		23.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		23.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.40	0.02		23.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.893				23.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.716	0.38	0.04		23.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.716				23.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	2.856	0.49	0.25	0.02	22.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	2.856				22.7		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	1.758	0.42	0.16	0.01	22.5		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.758				22.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	1.405	0.33	0.02		22.5		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.405				22.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	50	0.832	0.32	0.05	0.01	22.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	50	0.832				22.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	50	0.697	0.27	0.09		22.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	50	0.697				22.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	40	0.563	0.35	0.06	0.01	22.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	40	0.563				22.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32	0.334	0.27	0.24	0.00	22.0		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		22.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32	0.334	0.27	0.01		22.0		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		22.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32	0.334	0.27	0.08		21.9		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		21.9		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32	0.334	0.27	0.01		21.9		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		21.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32	0.334	0.27	0.01		21.8		
Kellari-2	Other pipe device				0.334		10.00		11.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32	0.334	0.27			11.8		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-32	32	0.334		3.00		8.8	6.9	7
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32	0.334	0.27	0.00		8.8		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		8.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32	0.334	0.27	0.01		8.8		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.01		8.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32	0.334	0.27	0.08		8.7		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		8.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32	0.334	0.27	0.01		8.7		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.334		0.02		8.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32	0.334	0.27	0.23	0.00	8.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	40	0.563				8.4		

Kellari-2	Pipe/return		RFe	40	0.563	0.35	0.07	0.01	8.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	50	0.697				8.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	50	0.697	0.27	0.09		8.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	50	0.832				8.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	50	0.832	0.32	0.05	0.01	8.2		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.405				8.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	1.405	0.33	0.03		8.2		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.758				8.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	1.758	0.42	0.15	0.01	8.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	2.856				8.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	2.856	0.49	0.25	0.02	7.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.716				7.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.716	0.38	0.03		7.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.893				7.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.40	0.01		7.7		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		7.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.40	0.01		7.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		7.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.40	0.04		7.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		7.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.40	0.01		7.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.04		7.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.40	0.01		7.5		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.137				7.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.02		7.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		7.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.02		7.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		7.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.08		7.2		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		7.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.00		7.2		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		7.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.14		7.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		7.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.00		7.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		6.9		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.06		6.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.05		6.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.43	0.09		6.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.281				6.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.281	0.44	0.09		6.6		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-100	100	4.281		3.00		3.6	89.0	7
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.281	0.44	0.02		3.6		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.340				3.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.15		3.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		3.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.03		3.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		3.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.04		3.3		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		3.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.00	0.10	3.1		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.340				3.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.00		3.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		3.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.00		3.1		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-100	100	4.340		3.00		0.1	90.2	7
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.00		0.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.05		0.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.45	0.01				
Kellari-2	Open end/Unspec.			100	4.340						

## MagiCAD HPV - Bill of materials

Project: MITTATEKNIKAN KESKUS

Date: 25.11.2007

Mitoitus 2 (AX-Suunnittelun alkuperäinen mitoitus)

Class	Size	Series	Product	N	L[m]	Insul.\series	s[mm]
Pipe	20	RFe			36.5		
Pipe	25	RFe			81.6		
Pipe	32	RFe			119.5		
Pipe	40	RFe			17.0		
Pipe	50	RFe			26.6		
Pipe	65	RFe			20.5		
Pipe	80	RFe			14.8		
Pipe	100	RFe			91.7		
Bend-30	20	RFe		1			
Bend-45	20	RFe		1			
Bend-45	25	RFe		1			
Bend-45	32	RFe		6			
Bend-45	40	RFe		1			
Bend-90	20	RFe		21			
Bend-90	25	RFe		21			
Bend-90	32	RFe		63			
Bend-90	40	RFe		25			
Bend-90	50	RFe		10			
Bend-90	65	RFe		2			
Bend-90	100	RFe		30			
Bend-07	40	RFe		1			
Bend-41	20	RFe		1			
Bend-53	32	RFe		1			
T-branch-90	40/20	RFe		2			
T-branch-90	50/25	RFe		2			
T-branch-90	50/32	RFe		6			
T-branch-90	65/32	RFe		6			
T-branch-90	80/65	RFe		2			
T-branch-90	100/20	RFe		2			
T-branch-90	100/25	RFe		2			
T-branch-90	100/32	RFe		2			
T-branch-90	100/40	RFe		2			
T-branch-90	100/50	RFe		2			
T-branch-90	100/100	RFe		1			
Reduction	25/20	RFe		3			
Reduction	32/25	RFe		1			
Reduction	40/32	RFe		2			
Reduction	50/32	RFe		2			
Reduction	50/40	RFe		2			
Reduction	65/40	RFe		2			
Reduction	65/50	RFe		2			
Reduction	80/65	RFe		2			
Reduction	100/80	RFe		3			
Plug	80	RFe		1			
Zone valve	20	LSV3	ORAS 4100-20	2			
Zone valve	25	LSV3	ORAS 4100-25	3			
Zone valve	32	LSV3	ORAS 4100-32	8			
Zone valve	40	LSV3	ORAS 4100-40	2			
Zone valve	100	LSV3	ORAS 4100-100	2			
Stop valve	20	SV3	SV-20	1			
Stop valve	100	SV3	SV-100	2			
Other pipe component	100	P1	PUMPPU-100	1			
Flow node				15			

MagiCAD HPV - Flow route

Project: MITTATEKNIKAN KESKUS

Date: 11.01.2008

Range: Route of system JV2 JV\_KsK

Sizing method: Mitoitus 2 (AX-Suunnittelun alkuperäinen mitoitus)

Liquid: Vesi 10/15°C

Storey	Type	Description	Series or product	Size	qv[l/s]	v[m/s]	dp[kPa]	dpcon[kPa]	ptot[kPa]	kv	Adj.
Kellari-2	Open end/Unspec.			100	4.340				28.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100 L	4.340	0.48	0.01		28.5		
Kellari-2	Other pipe component		PUMPPU-100	100	4.340				28.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100 L	4.340	0.48	0.00		28.5		
Kellari-2	Stop valve		SV-100	100	4.340		0.66		27.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100 L	4.340	0.48	0.00		27.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		27.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.48	0.08		27.7		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		27.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.48	0.03		27.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		27.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.340	0.48	0.19		27.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.340				27.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.281	0.48	0.02		27.3		
Kellari-2	Stop valve		SV-100	100	4.281		0.64		26.7		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.281	0.48	0.12		26.5		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.281				26.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.09		26.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		26.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.07		26.3		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		26.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.00		26.3		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		26.2		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.17		26.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		26.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.00		26.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		25.9		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.11		25.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		25.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.02		25.7		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		25.7		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	4.137	0.46	0.03		25.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.137				25.7		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.43	0.01		25.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		25.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.43	0.02		25.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		25.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.43	0.03		25.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		25.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.43	0.02		25.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		25.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.893	0.43	0.02		25.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.893				25.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	100	3.716	0.41	0.04		25.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.716				25.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	2.856	0.53	0.31	0.02	25.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	2.856				25.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	1.758	0.45	0.19	0.01	24.8		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.758				24.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	1.405	0.36	0.03		24.8		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.405				24.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.01	0.07	24.7		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.573		0.07		24.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.05		24.6		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.573		0.07		24.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.24		24.2		
Kellari-2	Flow node			32 L	0.573				24.2		
Kellari-3	Flow node			32 L	0.573				24.2		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.09		24.2		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.07		24.1		

Kellari-3	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.48		23.6		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.07		23.5		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.18		23.3		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.04		23.3		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.00		23.3		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.07		23.2		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	32 L	0.573	0.53	0.10		23.1		
Kellari-3	Other pipe device				0.573		10.00		13.1		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.00		13.1		
Kellari-3	Zone valve		ORAS 4100-32	32	0.573		3.00		10.1	11.9	9
Kellari-3	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.08		10.0		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.07		10.0		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.15		9.8		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.07		9.7		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.46		9.3		
Kellari-3	Bend		RFe	32	0.573		0.07		9.2		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.09		9.1		
Kellari-3	Flow node			32 L	0.573				9.1		
Kellari-2	Flow node			32 L	0.573				9.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.24		8.9		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.573		0.07		8.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.08		8.7		
Kellari-2	Bend		RFe	32	0.573		0.07		8.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	32 L	0.573	0.53	0.01	0.01	8.6		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.405				8.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	1.405	0.36	0.04		8.6		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.758				8.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	1.758	0.45	0.18	0.01	8.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	2.856				8.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	2.856	0.53	0.31	0.02	8.1		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.716				8.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.716	0.41	0.04		8.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	3.893				8.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.43	0.02		8.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		8.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.43	0.01		7.9		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		7.9		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.43	0.05		7.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		7.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.43	0.01		7.8		
Kellari-2	Bend		RFe	100	3.893		0.05		7.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	3.893	0.43	0.01		7.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.137				7.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.02		7.7		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		7.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.02		7.6		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		7.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.10		7.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		7.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.00		7.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		7.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.17		7.2		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		7.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.00		7.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		7.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.07		7.0		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.137		0.06		6.9		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.137	0.46	0.10		6.8		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.281				6.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.281	0.48	0.11		6.7		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-100	100	4.281		3.00		3.7	89.0	7
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.281	0.48	0.02		3.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.340				3.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.48	0.17		3.5		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		3.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.48	0.03		3.4		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		3.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100	4.340	0.48	0.05		3.3		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		3.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100 L	4.340	0.48	0.01	0.12	3.1		
Kellari-2	T-branch		RFe	100	4.340				3.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100 L	4.340	0.48	0.00		3.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		3.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100 L	4.340	0.48	0.00		3.1		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-100	100	4.340		3.00		0.1	90.2	7
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100 L	4.340	0.48	0.00		0.1		
Kellari-2	Bend		RFe	100	4.340		0.06		0.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	100 L	4.340	0.48	0.01				
Kellari-2	Open end/Unspec.			100	4.340						

MagiCAD HPV - Bill of materials

Project: MITTATEKNIIKAN KESKUS

Date: 11.01.2008

Mitoitus 3 (Laskentamenetelmän 2 mukaisilla kitkapainehäviöillä)

Class	Size	Series	Product	N	L[m]	Insul.\series	s[mm]
Pipe	10	RFe			0.1		
Pipe	20	RFe			38.1		
Pipe	25	RFe			104.2		
Pipe	32	RFe			87.3		
Pipe	40	RFe			8.8		
Pipe	50	RFe			53.6		
Pipe	65	RFe			38.8		
Pipe	80	RFe			79.4		
Bend-30	25	RFe		1			
Bend-45	20	RFe		2			
Bend-45	25	RFe		1			
Bend-45	32	RFe		4			
Bend-45	50	RFe		2			
Bend-90	20	RFe		18			
Bend-90	25	RFe		37			
Bend-90	32	RFe		53			
Bend-90	40	RFe		4			
Bend-90	50	RFe		30			
Bend-90	65	RFe		8			
Bend-90	80	RFe		22			
Bend-07	50	RFe		1			
Bend-41	25	RFe		1			
Bend-53	32	RFe		1			
T-branch-90	32/25	RFe		2			
T-branch-90	40/32	RFe		2			
T-branch-90	50/20	RFe		2			
T-branch-90	50/25	RFe		4			
T-branch-90	50/32	RFe		2			
T-branch-90	50/40	RFe		2			
T-branch-90	65/32	RFe		4			
T-branch-90	65/50	RFe		4			
T-branch-90	80/20	RFe		2			
T-branch-90	80/25	RFe		2			
T-branch-90	80/32	RFe		2			
T-branch-90	80/80	RFe		1			
Reduction	32/25	RFe		2			
Reduction	40/32	RFe		2			
Reduction	50/40	RFe		2			
Reduction	65/50	RFe		2			
Reduction	80/10	RFe		1			
Reduction	80/65	RFe		2			
Plug	10	RFe		1			
Zone valve	20	LSV3	ORAS 4100-20	2			
Zone valve	25	LSV3	ORAS 4100-25	5			
Zone valve	32	LSV3	ORAS 4100-32	5			
Zone valve	50	LSV3	ORAS 4100-50	3			
Zone valve	80	LSV3	ORAS 4100-80	2			
Stop valve	25	SV3	SV-25	1			
Stop valve	80	SV3	SV-80	2			
Other pipe component	80	P1	PUMPPU-80	1			
Flow node				15			



MagiCAD HPV - Flow route

Project: MITTATEKNIKAN KESKUS

Date: 11.01.2008

Range: Route of system JV2 JV\_KsK

Sizing method: Mitoitus 3 (Laskentamenetelmän 2 mukaisilla kitkapainehäviöillä)

Liquid: Vesi 10/15°C

Storey	Type	Description	Series or product	Size	qv[l/s]	v[m/s]	dp[kPa]	dpcon[kPa]	ptot[kPa]	kv	Adj.
Kellari-2	Open end/Unspec.			80	4.340				38.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.340	0.75	0.02		38.5		
Kellari-2	Other pipe component		PUMPPU-80	80	4.340				38.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.340	0.75	0.02		38.5		
Kellari-2	Stop valve		SV-80	80	4.340		1.89		36.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.340	0.75	0.02		36.6		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		36.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.340	0.75	0.25		36.2		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		36.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.340	0.75	0.10		35.9		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		35.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.340	0.75	0.57		35.2		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.340				35.2		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.281	0.74	0.07		35.1		
Kellari-2	Stop valve		SV-80	80	4.281		1.83		33.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.281	0.74	0.35		33.0		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.281				33.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.27		32.7		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		32.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.22		32.3		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		32.2		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.01		32.2		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		32.1		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.50		31.6		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		31.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.01		31.4		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		31.3		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.32		31.0		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		30.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.08		30.7		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		30.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	80	4.137	0.71	0.08		30.5		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.137				30.5		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	3.893	0.93	0.07	0.05	30.4		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		30.2		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	3.893	0.93	0.11		30.1		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		29.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	3.893	0.93	0.23		29.6		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		29.4		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	3.893	0.93	0.11		29.3		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		29.0		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	3.893	0.93	0.12		28.9		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	3.893				28.9		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	3.716	0.89	0.27		28.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	3.716				28.7		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	2.856	0.68	0.56		28.1		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	2.856				28.1		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	65	1.758	0.42	0.16		27.9		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.758				27.9		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	50	1.405	0.54	0.08	0.02	27.8		
Kellari-2	T-branch		RFe	50	1.405				27.8		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.01	0.15	27.7		
Kellari-2	Bend		RFe	40	0.573		0.03		27.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.02		27.6		
Kellari-2	Bend		RFe	40	0.573		0.03		27.6		
Kellari-2	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.09		27.5		
Kellari-2	Flow node			40	0.573				27.5		
Kellari-3	Flow node			40	0.573				27.5		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.03		27.5		
Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.03		27.4		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.18		27.2		
Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.03		27.2		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.07		27.1		
Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.02		27.1		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.00		27.1		
Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.03		27.1		
Kellari-3	Pipe/supply		RFe	40	0.573	0.36	0.04		27.1		
Kellari-3	Other pipe device				0.573		10.00		17.1		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36			17.1		
Kellari-3	Zone valve		ORAS 4100-40	40	0.573		3.00		14.1	11.9	7.5
Kellari-3	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.03		14.0		

Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.03		14.0		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.06		13.9		
Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.03		13.9		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.18		13.7		
Kellari-3	Bend		RFe	40	0.573		0.03		13.7		
Kellari-3	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.03		13.7		
Kellari-3	Flow node			40	0.573				13.7		
Kellari-2	Flow node			40	0.573				13.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.09		13.6		
Kellari-2	Bend		RFe	40	0.573		0.03		13.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.03		13.5		
Kellari-2	Bend		RFe	40	0.573		0.03		13.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	40	0.573	0.36	0.01	0.02	13.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	50	1.405				13.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	50	1.405	0.54	0.10	0.02	13.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	1.758				13.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	1.758	0.42	0.15		13.2		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	2.856				13.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	2.856	0.68	0.56		12.6		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	3.716				12.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	3.716	0.89	0.27		12.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	65	3.893				12.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	3.893	0.93	0.11		12.2		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		12.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	3.893	0.93	0.11		11.9		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		11.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	3.893	0.93	0.31		11.3		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		11.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	3.893	0.93	0.11		11.0		
Kellari-2	Bend		RFe	65	3.893		0.23		10.8		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	65	3.893	0.93	0.05	0.03	10.7		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.137				10.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.07		10.6		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		10.5		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.08		10.4		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		10.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.30		10.0		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		9.9		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.01		9.8		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		9.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.50		9.2		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		9.1		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.01		9.1		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		8.9		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.22		8.7		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.137		0.14		8.6		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.137	0.71	0.30		8.3		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.281				8.3		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.281	0.74	0.33		7.9		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-80	80	4.281		3.00		4.9	89.0	7.5
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.281	0.74	0.06		4.9		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.340				4.9		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.52		4.4		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		4.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.10		4.1		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		4.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.15		3.8		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		3.7		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.02	0.28	3.4		
Kellari-2	T-branch		RFe	80	4.340				3.4		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.01		3.4		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		3.2		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.01		3.2		
Kellari-2	Zone valve		ORAS 4100-80	80	4.340		3.00		0.2	90.2	7.5
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.01		0.2		
Kellari-2	Bend		RFe	80	4.340		0.15		0.0		
Kellari-2	Pipe/return		RFe	80	4.340	0.75	0.03				
Kellari-2	Open end/Unspec.			80	4.340						