

Jani Kauppila

**PAINEEN KÄYTTÄYTYMINEN SULJETUSSA KIERTOVIKON-
KOSTOSSA JA PAISUNTASÄILIÖN ASENNUSPAIKAN VAIKU-
TUS SULJETUN KIERTOVIKONKOSTON STAATTISIIN PAI-
NEISIIN**

**PAINEEN KÄYTTÄYTYMINEN SULJETUSSA KIERTOVIKESIVER-
KOSTOSSA JA PAISUNTASÄILIÖN ASENNUSPAIKAN VAIKU-
TUS SULJETUN KIERTOVIKESIVERKOSTON STAATTISIIN PAI-
NEISIIN**

Jani Kauppila
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t): Jani Kauppila

Opinnäytetyön nimi: Paineen käyttäytyminen suljetussa kiertovesiverkostossa ja paisuntasäiliön asennuspaikan vaikutus suljetun kiertovesiverkoston staattisiin paineisiin

Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2015 Sivumäärä: 48 + 4 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten paine käyttäytyy suljetussa kiertovesiverkostossa kiertovesipumpun käynnistys- ja sammutusvaiheessa sekä muissa vastaavissa tilanteissa, muun muassa venttiilien sulkemis/avaamistilanteissa.

Työssä perehdyttiin paisuntalaitteisiin ja niissä esiintyviin ongelmiin. Lisäksi on tarkasteltu muun muassa paineiskujen esiintymistä ja niiden haitallisuutta, paisunta-astian mitoitusta, paisunta-astiaan liittyviä ongelmatilanteita ja niiden mahdollisia ratkaisuja. Opinnäytetyötä varten suunniteltiin SolidWorks-ohjelmistolla pumppu/paisuntalaitteiston testiverkosto, joka rakennettiin Oulun ammattikorkeakoulun LVI-laboratorioon. Testiverkoston avulla saatiin testattua paineen käyttäytymistä ja mahdollisten paineiskujen muodostumista.

Paineenvaihtelua seurattiin Grantin valmistamalla dataloggerilla ja ProDualin painelähettimillä, joiden antamasta datasta piirrettiin havainnollistavia graafisia käyriä. Mittauksia varten suunniteltiin mittauspöytäkirja ja tietty mittaus sykli, jolla saatiin tuloksista vertailukelpoisia keskenään. Mittauksia tehtäessä paljastui, että mahdollisesti vahingollisia paineenvaihteluita syntyy suljetussa kiertovesiverkostossa todella herkästi.

Asiasanat: paisunta-astia, paineisku, paisuntasäiliö, paisuntakalvo, painevaihtelu

ALKULAUSE

Haluan kiittää seuraavia henkilöitä jotka selvisivät kyselytulvasta ja auttoivat opinnäytetyössäni tavalla tai toisella: Mikko Niskala, Erkki Kylmänen, Jouni Kivirinta ja Jouni Rakennuskoski.

Erytiskiitos ammattikoulun opiskelijoille jotka olivat verkostoa rakentamassa, ja luokkakaverilleni Ante Hietalalle, joka auttoi verkoston viimeistelyssä.

24.8.2015

Jani Kauppila

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 PAISUNTA-ASTIA	9
2.1 Kalvopaisunta-astia	9
2.2 Kalvopaisunta-astian mitoitus	11
2.2.1 Kaavat	12
2.2.2 Esipaine	14
2.2.3 Verkoston enimmäiskäyttöpaine	15
2.2.4 Verkoston vähimmäiskäyttöpaine	16
2.2.5 Mitoituslämpötilat	16
2.2.6 Esipainetta ja vähimmäispainetta valittaessa huomioitavaa	17
2.3 Varoventtiili	18
2.4 Esipaineen tarkistus	19
2.5 Paisunta-astian toimintahäiriöt ja kalvon rikkoutumisen oireet	20
3 TESTIVERKOSTO	21
3.1 Suunnittelu	21
3.1.1 Suojaetäisyydet	22
3.1.2 Materiaalit ja hinta	23
3.2 Vesipumppu	23
3.3 Taajuusmuuttaja	25
3.4 Lämpöenergiamittari	26
3.5 Dataloggeri ja painelähttimet	27
3.6 Rakennusvaihe	29
3.7 Toimintatarkastus	30
3.8 Verkoston toiminta	33
4 PAINEISKU	35
4.1 Syntyminen	35
4.2 Voimakkuus	35

4.3 Haitat	35
5 MITTAUKSET	36
5.1 Mittauspöytäkirja	36
5.2 Mittaus 1	37
5.3 Mittaus 2	40
5.4 Satunnaiset mittaukset ja painekäyrät	41
6 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47

Liite 1	Mittauspöytäkirja
Liite 2	Tarvikehinnasto
Liite 3	Mittauspöytäkirja 1200 rpm / 20 Hz
Liite 4	Mittauspöytäkirja 1500 rpm / 25 Hz

SANASTO

Dataloggeri	Laite joka purkaa ja tallentaa ymmärrettävään muotoon antureiden/lähettimien sille syöttämää informaatiota
LSV	Linjasäätöventtiili, mittayhteillä varustettu venttiili jolla säädetään linjan vesivirtaa
Paine	Suure, joka kuvaa pinta-alayksikköön kohtisuoraan kohdistuvaa voimaa, N/m^2 (pascal, Pa)
Paineisku	Virtauksen voimakkuuden muutoksesta johtuva ilmiö, jossa nesteen liike-energia muuttuu paineeksi
Paisuntakalvo	Paisunta-astian sisällä oleva kalvo, joka joustamalla kompensoi järjestelmän nesteen lämpölaajenemisvai- kutuksia. Tässä opinnäytetyössä sanan "paisuntakalvo" sijaan käytetään sanaa "kalvo"
Rakennepaine	Verkoston heikoimman osan paineenkestävyys

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selvitettiin, miten paine käyttäytyy suljetussa kiertovesiverkossa kiertovesipumpun käynnistymisvaiheessa ja venttiilien asentojen muuttuessa, sekä selvitettiin miten paisunta-astian asennuspaikka vaikuttaa paisuntaastian toimintaan sekä paineen käyttäytymiseen. Työtä varten suunniteltiin ja rakennettiin Oulun ammattikorkeakoulun LVI-laboratorioon pieni pumppu/paisuntalaitteistoverkosto, jonka avulla paineen käyttäytymistä ja paineiskujen muodostumista voitiin tarkkailla.

Työ aloitettiin testiverkoston suunnittelulla, siihen tarvittavien tarvikkeiden hankimisella sekä paisuntalaitteiden teoriaan tutustumalla. Tämän jälkeen Oulun ammattiopiston Kaukovainion yksikön opiskelijat rakensivat verkoston lähes valmiiksi suunnitelmien mukaisesti. Verkoston viimeistely suoritettiin Oulun ammattikorkeakoululla.

2 PAISUNTA-ASTIA

Paisunta-astian tehtävä on ottaa vastaan suljetun verkoston veden tilavuuden muutokset veden lämpötilan muuttuessa eli kompensoida veden lämpölaajenemisen vaikutuksia, jottei paine nouse yli sallitun käyttöpaineen ja jottei haitallisia paineiskuja pääsisi syntymään. Paisunta-astialla varmistetaan, että suljetussa verkostossa on kokoajan sama määrä vettä käytössä. Paisunta-astia suojaa järjestelmässä olevia muita varusteita ja pidentää kiertovesipumpun elinikää. Pienemmissä järjestelmissä, joissa rakennepainne on maksimissaan 150 kPa, käytetään lähes poikkeuksetta suljettuihin järjestelmiin tarkoitettuja kalvopaisunta-astioita. Isommissa laitoksissa voidaan käyttää kompressori- ja pumppuohjattuja astioita. Vanhimmissa järjestelmistä voi löytyä myös avoimia paisunta-astioita, joista on nykyisin luovuttu niiden aiheuttaman korroosiovaaran vuoksi.

Tässä työssä keskityttiin vain kalvopaisunta-astiaan, joten muita astiatyyppejä ei käsitellä ollenkaan. Paisunta-astian tehtävä on silti sama astian tyyppistä riippumatta.

2.1 Kalvopaisunta-astia

Kalvopaisunta-astia on säiliö, joka on jaettu kumikalvolla tai kumipussilla kahden osaan, vesi- ja kaasutilaan. Kumipussilla varustetussa astiassa verkoston neste ei ole kosketuksissa metallin kanssa, vaan neste laajenee kumipussin sisälle. Kumikalvollinen astia on jaettu ilma/neste puoliskoihin kuvan 1 mukaisesti. (1, s. 2.)

Kuvassa 1 nähdään erikokoisia ja asennustavaltaan erilaisia kalvopaisunta-astioita. Isommat, jalalliset mallit asennetaan yleensä suoraan lattialle, mutta pienemmät astiat voidaan kannakoida ”roikkumaan” putkistoon.



KUVA 1. Erilaisia kalvopaisunta-astioita ja astian läpileikkaus (2)

Vesitila liitetään verkostoon (vesi, glykoli tai näiden sekoitus) ja kaasutila täytetään esimerkiksi tyypellä haluttuun esipaineeseen. Täyttökaasuksi suositellaan tyyppiä sillä se ei läpäise kalvoa yhtä hyvin kuin ilma eli liukene kalvon läpi veteen tai glykoliin, jolloin esipaine laskee nopeasti eikä astia toimi mitoitettulla tavalla. Astian esipaine tulee tarkastaa vuosittain, sillä tutkimusten mukaan se laskee noin 20 % vuodessa (1, s. 5). Esipaine riippuu mm. lämmönjakolaitteiden ja lämmöntuottolaitteiden (esimerkiksi kattila) välisestä korkeuserosta.

Suljettu kalvopaisunta-astia on tarkoitettu asennettavaksi suljettuihin lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin, mieluiten verkoston imupuolelle putkiyhde alaspäin. Imupuolelle asennetulla astialla on suurempi hyötytilavuus kuin painepuolelle asennetussa. Paisunta-astia kannattaa asentaa siten, ettei vesi jatkuvasti virtaa sen lävitse, tällöin täyttökaasu liukenee hitaammin veteen eli esipaineen lasku on hitaampaa, ja näinollen huoltoväli pitenee.

Suljettu kiertovesijärjestelmä tulee aina varustaa varoventtiilillä, jonka avautuspaine on maksimissaan verkoston heikoimman laitteen suurin sallittu käyttöpaine. Yleensä paineenkestoltaan heikoin laite on paisunta-astia. Paisunta-astia ja varoventtiili tulee asentaa ensisijaisesti kattilahuoneeseen. Suositeltavaa on

asentaa paisunta-astian asennusputkeen automaattinen ilmanpoistin, sekä sulkuventtiili paisunta-astian ja varoventtiilin väliin. Sulkuventtiili tarvitaan, jotta paisunta-astia voidaan tarvittaessa eristää tai irrottaa verkostosta siten että varoventtiili kuitenkin suojaa verkostoa ylipaineelta. Sulkuventtiilin kahva tulee irrottaa kun järjestelmä on valmis käyttöön. Näin suljetaan pois mahdollisuus venttiilin sulkemiseen vahingossa. Jos venttiili on suljettu, paisunta-astia on eristetty muusta järjestelmästä eikä näinollen kompensoi veden lämpölaajenemista. Kuvassa 2 on esitetty paisunta-astian toiminta eri tilanteissa.



KUVA 2. Kalvopaisunta-astian toiminta

2.2 Kalvopaisunta-astian mitoitus

Oikein mitoitettu paisuntajärjestelmä pidentää järjestelmän käyttöikää sekä vähentää huollon tarvetta ja hälytyskäyntien määrää. Joiltakin paisunta-astioiden valmistajilta löytyy helppokäyttöisiä mitoitusohjelmia jotka mitoittavat paisunta-astiat automaattisesti annetuilla lähtötiedoilla, esimerkiksi Teknocalorin Teknoweb-mitoitusohjelma. Kalvopaisunta-astian mitoitukseen on olemassa monta tapaa ja mielipidettä, tässä työssä tuodaan esille LVI-ohjekortin 11-10472 tapa.

Paisunta-astian mitoituksessa tarvittavia lähtötietoja:

- verkoston kokonaisvesitilavuus V_o , dm³
- verkoston lämpötilat mitoitustilanteessa, °C
- laitoksen lämmitysteho \emptyset , kW
- korkeusero laitoksen ylimmän laitteen ja paisunta-astian alareunan välillä eli staattinen paine p_{st} , kPa
- verkoston suurin sallittu käyttöpaine (rakennepaine) p_{rak} , kPa
- paisunta-astian valittu esipaine p_e , kPa
- verkoston vähimmäiskäyttöpaine $p_{min} = p_e + 10 \dots 30$ kPa, kPa
- verkoston enimmäiskäyttöpaine $p_{max} = p_{sv} - 10$ kPa, kPa
- varoventtiilin valittu avautumispaine p_{sv} , kPa (1, s. 2)

2.2.1 Kaavat

Kalvopaisunta-astian tilavuus lasketaan kaavoja 1–6 hyväksikäyttäen:

$$H_{brutto} = 1 - P_e / P_{max} = 1 - (p_e + 100) / (p_{max} + 100) \quad \text{KAAVA 1.}$$

H_{brutto} = kalvopaisunta-astian bruttotilavuus, suhdeluku

P_e = paisunta-astian absoluuttinen esipaine, kPa

P_{max} = absoluuttinen enimmäiskäyttöpaine (valitaan pienempi: $P_{sv} - 50$ kPa tai $0,9 \times P_{sv}$), kPa

P_{sv} = varoventtiilin absoluuttinen avautumispaine, kPa

$$H_{vara} = 1 - P_e / P_{min} = 1 - (p_e + 100) / (p_{min} + 100) \quad \text{KAAVA 2.}$$

H_{vara} = kp-astian häiriö/vuotovara nestetilavuus, suhdeluku

P_{min} = absoluuttinen vähimmäiskäyttöpaine ($P_e + 50$ kPa), kPa

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} \quad \text{KAAVA 3.}$$

H_{netto} = kp-astian nettonestetilavuus, suhdeluku

$$K_{mit} = 1 / H_{netto} \quad \text{KAAVA 4.}$$

K_{mit} = paisunta-astian mitoituskertoin, laskettuna tai taulukosta 2.

Kaavaa 5 käytetään kun paisuntajärjestelmän rakennepaine on yli 300 kPa.

$$V = a \times K_{mit} \times V_o \quad \text{KAAVA 5.}$$

V = kalvopaisunta-astian tilavuus, dm^3

a = nesteen lämpölaajenemiskerroin, %

V_o = laitoksen vesitilavuus, dm^3

Kaavaa 6 käytetään kun paisuntajärjestelmän rakennepaine on maksimissaan 150 kPa.

$$V = a_{150} \times K_{mit150} \times V_o \quad \text{KAAVA 6.}$$

a_{150} = nesteen lämpölaajenemiskerroin, %

$a_{150} = 3\%$, kun polttoaineensyöttö on automaattinen

$a_{150} = 5\%$, kun kyseessä on täysin varaava järjestelmä

K_{mit150} = paisunta-astian mitoituskertoin, taulukosta 1.

Polttoaineensyöttö on automaattinen silloin, kun termostaatti pysäyttää nesteen lämmityksen, ennen kuin neste saavuttaa kiehumispisteensä. Täysin varaavassa järjestelmässä nesteen lämpötila vaihtelee kylmästä lähes kiehuvaan, minkä takia lämpölaajenemiskerroin on oltava suurempi. (1, s. 2, 9.)

Laskennassa käytetään absoluuttisia paineita (ilmanpaine $P_i = 100 \text{ kPa}$), eli absoluuttinen paine $P =$ suhteellinen paine $p + 100 \text{ kPa}$ ($P = p + 100 \text{ kPa}$). Tekstissä paineet käsitellään suhteellisina paineina.

TAULUKKO 1. Paisunta-astian mitoituserroin K_{mit150} esipaineen ja verkoston vähimmäiskäyttöpaineen mukaan, ihannealue tummennettuna (1, s. 9)

Esipaine p_e kPa	Paisunta-astian mitoituserroin K_{mit150}		
	$p_e + 10$ kPa kPa	$p_e + 20$ kPa kPa	$p_e + 30$ kPa kPa
50	3,20	3,89	4,80
60	3,64	4,50	5,70
70	4,24	5,36	7,06
80	5,07	6,67	9,33
90	6,32	8,84	13,89
100	8,40	13,20	27,60
110	12,57	26,29	
120	25,09		

2.2.2 Esipaine

Suuret laitokset, joissa rakennepaine ≥ 300 kPa

Esipaine valitaan 1...10 kPa suuremmaksi kuin laitoksen staattinen paine pyöristäen seuraavaan tasakymmeneen kPa:iin ylöspäin (esimerkiksi staattinen paine $p_{st} = 115$ kPa \Rightarrow esipaine $p_e = 120$ kPa). Käyttöpainealue (toimintapainealue) = enimmäis- ja vähimmäiskäyttöpaineen välinen painealue ($p_{max} \dots p_{min}$). (1, s. 2.)

Taulukossa 2 on esipaineen ja varoventtiilin avautumispaineen vaikutus paisunta-astian mitoituskertoimeen K_{mit} . Sopivat vaihtoehdot on esitetty taulukossa. Suuri käyttöpainealue rasittaa vanhaa putkistoa. Valmistajien mukaan paisunta-astian kalvo kestää suurenkin käyttöpainealueen. Hyvänä käyttöpainealueena suositellaan 100...200 kPa. (1, s. 2.)

TAULUKKO 2. Paisunta-astian mitoituskertoimen K_{mit} esipaineen ja varoventtiilin va-
linnan mukaan. Ihannealue on lihavoituna. Taulukko on laskettu varoventtiileille
300...600 kPa (yleisin alue.) (1, s. 3)

Esipaine kPa	Paisunta-astian mitoituskertoimen K_{mit} Varoventtiilin avautumispaine kPa					
	300	350	400	450	500	600 *)
50	3,11	2,67				
60	3,28	2,76				
70	3,48	2,88	2,53			
80	3,73	3,01	2,61			
90	4,02	3,16	2,71			
100	4,38	3,33	2,81	2,50		
110	4,81	3,54	2,93	2,58		
120	5,37	3,78	3,07	2,67		
130	6,09	4,06	3,22	2,77		
140	7,05	4,39	3,40	2,88	2,56	
150	8,40	4,80	3,60	3,00	2,64	
160		5,30	3,83	3,14	2,73	
170		5,93	4,10	3,29	2,83	
180		6,73	4,42	3,47	2,95	
190		7,82	4,80	3,66	3,07	
200		9,33	5,25	3,89	3,21	2,57
210			5,81	4,15	3,36	2,65
220			6,50	4,45	3,53	2,74
230			7,40	4,80	3,73	2,83
240			8,60	5,21	3,94	2,94
250			10,29	5,71	4,19	3,05
260				6,33	4,47	3,17
270				7,09	4,80	3,30
280				8,08	5,19	3,45
290				9,40	5,64	3,61
300					6,19	3,79
310					6,86	3,99
320					7,69	4,21
330					8,77	4,47
340					10,21	4,75
350						5,08
360						5,46
370						5,90
380						6,42
390						7,05
400						7,82
410						8,78
420						10,02

*) enimmäiskäyttöpaine 540 kPa

Pientalojen paisuntajärjestelmät, joissa rakennepaine 150 kPa

Pienissä laitoksissa esipaine valitaan samaksi kuin laitoksen staattinen paine. Eli esimerkiksi jos staattinen paine p_{st} on 80 kPa, valitaan esipaineeksi p_e 80 kPa.

Astia sekä varolaitteet ja painemittarit tulee asentaa kiertovesipumpun imupuolelle. Painemittarin korkeustason vaikutus mittarin lukemaan tulee huomioida ($1\text{ m} = 10\text{ kPa}$). (1, s. 9.)

2.2.3 Verkoston enimmäiskäyttöpaine

Verkoston enimmäiskäyttöpaine $p_{max} = p_{sv} - 50\text{ kPa}$ eli varoventtiilin valittu laukaisupaine p_{sv} vähennettynä 50 kPa:lla. Monessa lähteessä on määritelty verkoston enimmäiskäyttöpaineeksi laukaisupaine $p_{sv} - 10\%$ laukaisupaineesta p_{sv} (valmistustarkkuus ja laukaisun jälkeinen paineenlasku). (1, s. 3)

2.2.4 Verkoston vähimmäiskäyttöpaine

Monessa lähteessä on verkoston vähimmäiskäyttöpaineeksi valittu vähintään 50 kPa yli verkoston staattisen paineen, jotta varmistutaan automaattisten ilmanpoistimien toiminnasta, vähennetään kaasujen ”kiehumista” nesteestä verkoston ylimmissä kohdissa (Boylen laki) ja vältetään alipaineen esiintyminen. Alipaineen syntyminen verkostoon on vaarallista, koska kaasut kiehuvat pois nesteestä (kaasutaskut) sekä automaattiset ilmanpoistimet avautuvat päästäten ilman vapaasti verkostoon (kyseenomaisissa tapauksissa verkosto ruostuu puhki jopa kahdessa vuodessa). (1, s. 3.)

2.2.5 Mitoituslämpötilat

Mitoituslämpötilat valitaan vähintään verkoston enimmäismitoitustilavuuden mukaan häiriö- ja testaustilanteiden vuoksi. Lämmitysverkoston tilavuuden lämpölaajenemiskerroin valitaan laitoksen mitoituslämpötilan mukaan taulukoista 3 ja 4 (esimerkiksi +70/40 °C verkosto mitoitetaan +70 °C mukaan). Lattialämmitysverkoston mitoituslämpötila on +40 °C. (1, s. 3.)

TAULUKKO 3. Esimerkki lämpölaajenemiskertoimesta a etyleeniglykolille (DOWTHERM 4000) (1, s. 4)

Laitoksen mitoitus- lämpötila °C	Lämpölaajenemiskerroin a			
	Vesi %	Vesi-glykoliseos		
		30 %	40 %	50 %
		%	%	%
10	0,04	0,96	1,40	1,69
20	0,18	1,40	1,88	2,18
30	0,44	1,88	2,38	2,72
40	0,79	2,39	2,92	3,28
50	1,21	2,94	3,50	3,89
60	1,71	3,52	4,12	4,54
70	2,28	4,15	4,77	5,22
80	2,96	4,81	5,47	5,94
85	3,21	5,15	5,84	6,31
90	3,59	5,52	6,21	6,70
95	3,94	5,88	6,60	7,10
100	4,35	6,26	6,99	7,51
105	4,74	6,65	7,39	7,92
107	4,99	6,90	7,65	8,19
110	5,15	7,06	7,82	8,36
120	6,06	7,89	8,69	9,25
130	6,94	8,78	9,61	10,20

TAULUKKO 4. Esimerkki lämpölaajenemiskertoimesta a propyleeniglykolille (DOWFROST HD) (1, s. 4)

Laitoksen mitoitus- lämpötila	Lämpölaajenemiskerroin a			
	Vesi	Vesi-glykoliseos		
°C	%	30 %	40 %	50 %
10	0,04	0,66	1,07	1,56
20	0,18	1,07	1,53	2,07
30	0,44	1,52	2,04	2,62
40	0,79	2,03	2,59	3,22
50	1,21	2,59	3,20	3,88
60	1,71	3,20	3,87	4,58
70	2,28	3,88	4,58	5,36
80	2,96	4,61	5,36	6,17
85	3,21	5,00	5,77	6,61
90	3,59	5,41	6,20	7,07
95	3,94	5,82	6,65	7,52
100	4,35	6,26	7,11	8,01
105	4,74	6,71	7,59	8,50
107	4,99	6,91	7,78	8,71
110	5,15	7,19	8,08	9,03
120	6,06	8,19	9,12	10,11
130	6,94	9,25	10,23	11,27

2.2.6 Esipainetta ja vähimmäispainetta valittaessa huomioitavaa

Suurten pumppujen tai suurilla nimellisvirtaamilla mitoitettujen pumppujen vähimmäisimupaine on tarkistettava valmistajalta, sillä pumpun toimintapiste ja nesteen lämpötila vaikuttavat vähimmäisimupaineeseen. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneen LTO-verkostossa pumppu saattaa sijaita putkiston yläosassa. (1, s. 4.)

Painemittarin ja varoventtiilin asennuskorkeuden vaikutus verrattuna paisuntaastian alapintaan tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Jos painemittari ja varoventtiili on asennettu esimerkiksi metrin korkeammalle verrattuna paisuntaastian alapintaan, tulee esipaineeseen lisätä 10 kPa (0,1 bar), sillä 1 mvp vastaa 10 kPa:a. Tämä tulee ottaa huomioon etenkin pientaloissa, joissa rakennepaine on vain 150 kPa. Painemittarin ja varoventtiilin käyttöikä tulee myös huomioida, sillä niiden tarkkuus on erilainen uutena ja vanhana. (1, s. 4.)

Laitoksissa, joissa veden enimmäislämpötila ylittää +100 °C, on toimintapaineita määrättäessä huolehdittava siitä, ettei paine missään nimessä alita veden höyrystymispainetta kyseessä olevassa lämpötilassa. Paisunta-astian esipainetta lisätään laskentavaiheessa höyrystymispaineen verran. (1, s. 4.)

Esipaineen mitoistavasta on olemassa useita mielipiteitä ja tapoja. Esimerkiksi Grundfos suosittelee esipaineeksi $p_0 = 1$ bar:ia järjestelmissä joiden korkeus on maksimissaan 10 metriä, ja järjestelmissä joiden korkeus on yli 10 metriä esipaine $p_0 = (h_A/10 + 0,2)$ bar, jossa h_A tarkoittaa järjestelmän korkeutta metreinä. (3, s. 59.)

2.3 Varoventtiili

Varoventtiili eli ylipaineventtiili on nimensä mukaisesti varolaitte, jonka tarkoitus on estää ylipaineen kehittyminen järjestelmään. Kun järjestelmässä oleva paine ylittää varoventtiilin laukaisupaineen, venttiili aukeaa ja päästää järjestelmässä olevaa ainetta tai kaasua ulos, jolloin järjestelmän paine laskee. (4, s. 9.)

Jokaisen suljetun järjestelmän tulee sisältää varoventtiili (tarvittaessa useampi) ja se on mitoistettava riittävän suureksi. Liian pieneksi mitoistettu venttiili ei välttämättä ehdi riittävän nopeasti laskea järjestelmään kehittyvää painetta, jolloin on mahdollisuus paineen räjähdysmäiseen purkautumiseen. Varoventtiilien lukumäärä ja ulospuhallusteho riippuvat laitoksen tehosta. Kattilalaitoksissa varoventtiilit tulee asentaa kattilan yläpuolelle, jolloin ulospuhallus on höyryä. (1, s. 7.)

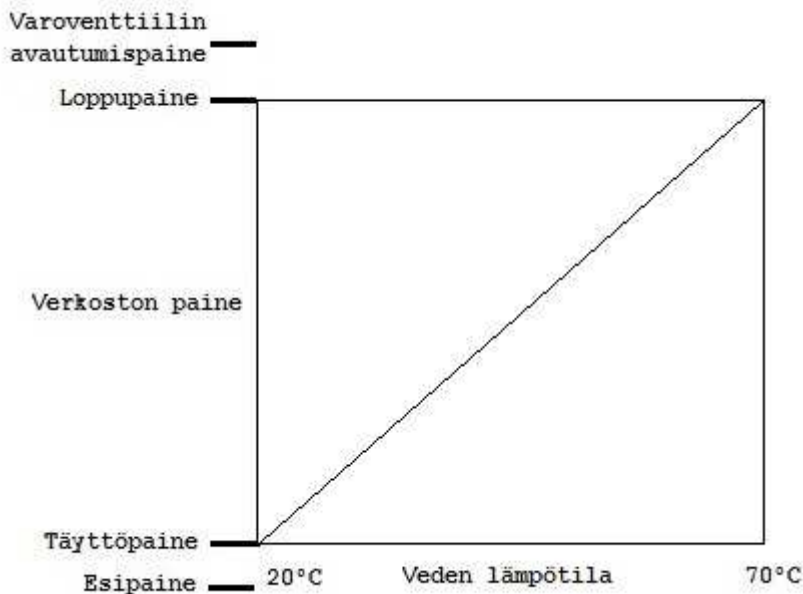
Varoventtiiliin tuleva ulospuhallusputki on mitoistettava niin, ettei se rajoita varoventtiilin ulospuhallustehoa. Ulospuhallusputken pää tulee sijoittaa viemäröintipisteeseen tai keräyssuppiloon siten, että mahdollinen vuoto voidaan havaita ja ettei ulospuhallusputkesta virtaavasta nesteestä tai kaasusta aiheudu henkilö- tai ainevahinkoja. (1, s. 8.)

Korjauskohteissa varoventtiilin avautumispaine valitaan ottaen huomioon laitoksen paineenkestävyyden heikkeneminen. Vanhoissa kiinteistöissä painetasoa ja painenvaihtelua voidaan pienentää valitsemalla kompressori- tai pumppuohjattu paisunta-astia, jolloin verkoston rasitus pienenee. (1, s. 2.)

2.4 Esipaineen tarkistus

Yleensä paisunta-astiassa on jokin esipaine tehtaalta tullessaan, mutta jokainen paisunta-astia tulee tarkistaa ja täyttää täyttökaasulla haluttuun esipaineeseen ennen asentamista. Paisunta-astia on varustettu neulaventtiilillä, josta esipaine voidaan tarkistaa tavallisen rengaspainemittarin avulla. Esipaineen lisääminen tai vähentäminen suoritetaan samaisen venttiilin kautta.

Paisunta-astian esipainetta tarkistettaessa täytyy verkoston lämmöntuottolaitteet sammuttaa ja eristää paisunta-astia muusta verkostosta sulkuventtiilin avulla. Tämän jälkeen astia tyhjennetään vedestä astian putkiyhteen kautta. Nyt astiaan voidaan asettaa haluttu esipaine. Ennen kuin astia kytketään takaisin verkostoon, tulee verkoston veden lämpötilan olla lähellä suunniteltua minimilämpötilaa. Jos veden lämpötila on korkeampi kuin minimilämpötila, verkoston paine muuttuu haluttua pienemmäksi kun veden lämpötila ja tilavuus pienenevät, kuten kuvasta 3 voidaan todeta. (5, s. 3.)



KUVA 3. Verkoston paineen kuvaaja

Esipainetta mitattaessa kannattaa myös huomioida, että täyttökaasu lämpenee täyttövaiheessa puristuessaan neulaventtiilin läpi, eli jos esipaine mitataan heti

täytön jälkeen, saadaan suurempi painearvo kuin jäähtyneestä astiasta. Myös ympäristön lämpötilan muutos vaikuttaa esipaineen suuruuteen. (6, s. 5.)

2.5 Paisunta-astian toimintahäiriöt ja kalvon rikkoutumisen oireet

Paisunta-astian toimintahäiriöiden oireet ovat normaalisti helposti todettavissa, mutta oireiden aiheuttajia voi olla useita. Yleensä kalvon rikkoutuminen havaitaan, kun varoventtiili päästää vettä tai lämmityspattereissa on ilmaa. Mikäli varoventtiili päästää vettä läpi, on paisunta-astia mitoitettu liian pieneksi tai paisunta-astian esipaine on ajan myötä laskenut. Esipaineen pienenemisen johdosta verkostoon on lisätty toistuvasti vettä ja tämän johdosta paisunta-astia on täyttynyt vedellä. Tällöin paisunta-astian kalvo ei pääse liikkumaan, eikä se enää kompensoi verkoston nesteen laajenemista vaan ylimääräinen paine purkautuu varoventtiilistä. Jos taas pattereissa on ilmaa, on paisunta-astian täyttökaasu voinut siirtyä verkostoon, joko ajan myötä liukenemalla tai kalvon rikkoutuessa. (7, s. 6.)

Muita oireita voivat olla vesipumpun jatkuva kierrosnopeuden muuttuminen ja veden erikoiset hajut ja maut, joiden syynä on paisunta-astiassa seisova vesi. On myös mahdollista, että paisunta-astian neulaventtiili vuotaa, jolloin esipaine laskee ja toimintahäiriöt ilmenevät. Mahdollinen neulaventtiilin vuoto on helppo tarkistaa korvakuulon tai perinteisen saippuaveden avulla. Mikäli neulaventtiilin kautta tulee vettä, on kalvo varmuudella rikki.

Oireita voi lisäksi aiheuttaa kalvon pintaan kovettunut sakka, jolloin kalvon joustavuus kärsii. Sakka voi myös tukkia paisunta-astian täyttöyhteen, jolloin vesi ei pääse virtaamaan kunnolla. Lisäksi kalvoon voi muodostua halkeamia tai sen joustavuus voi kärsiä, mikäli järjestelmässä olevan nesteen (veden) klooripitoisuus on suuri. (8)

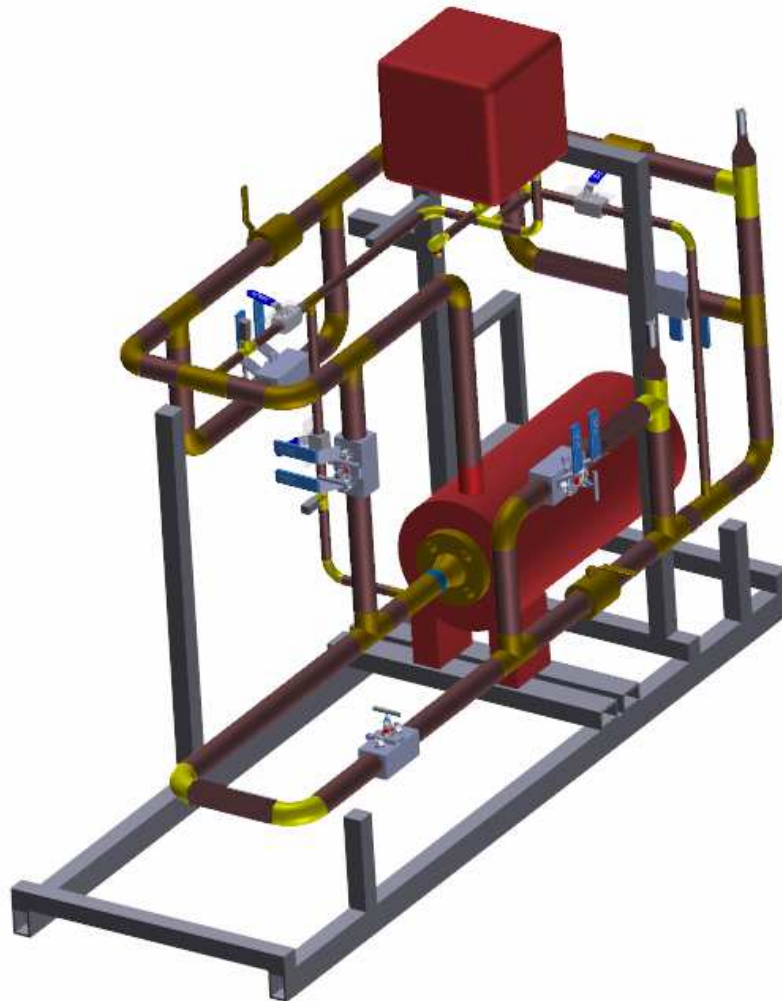
3 TESTIVERKOSTO

Opinnäytetyötä varten suunniteltiin ja rakennettiin testiverkosto josta paineen käyttäytymistä voitiin mitata. Verkoston tuli olla sopivan kompakti, jotta sitä voidaan tarvittaessa kuljettaa pumppukärryn avulla. Painoa verkostolla on noin 220 kilogrammaa.

Oulun ammattiopiston Kaukovainion yksikön ensimmäisen vuoden opiskelijat rakensivat verkoston lähes valmiiksi, mutta kesälomien takia verkosto siirrettiin Oulun ammattikorkeakoululle ja rakennettiin siellä loppuun. Työn ohjaajana ammattiopistossa toimi Jouni Rakennuskoski, ammattikorkeakoulun puolella työtä ohjasivat Erkki Kylmänen ja Jouni Kivirinta.

3.1 Suunnittelu

Verkoston suunnittelu aloitettiin piirtämällä yksinkertainen kytkentäkaavio verkostosta CADS-ohjelmalla. Valmiista kuvasta laskettiin putkiston painehäviöt Microsoft Excel -ohjelmaa käyttäen ja piirrettiin verkoston ominaiskäyrä. Lopuksi verkostosta suunniteltiin 3d-malli SolidWorks-ohjelmalla. Kyseisestä 3d-mallista saatiin myös tarvittavat asennuskuvat otettua. Verkostolle täytyi suunnitella runko RHS-palkista, johon kupariputket voitiin kannakoida. Kuvassa 4 on verkoston lopullinen suunnitelma, jollaiseksi verkostoa lähdettiin rakentamaan. Kuvassa näkyy myös verkoston runko.



KUVA 4. SolidWorksilla mallinnettu kuva verkostosta ja kehikosta

3.1.1 Suojaetäisyydet

Linjasäätöventtiileille ja osalle mittausantureista on tuotedokumenteissa määritetty suojaetäisyydet. Näillä etäisyyksillä varmistetaan häiriötön vesivirtaama, ja näinollen mittausantureilta/mittayhteiltä saadaan luotettavia mittaustietoja. Suojaetäisyydet on lähes poikkeuksetta ilmoitettu hyvin yksinkertaisesti: tietty ennalta kerrottu kerroin kerrotaan putken halkaisijalla D.

Linjasäätöventtiileiden suojaetäisyydet on katsottu Oras Oy:n valmistamista linjasäätöventtiileistä. Minimietäisyydet ovat seuraavat (millimetreinä):

- kiertovesipumpulta 10D

- paluupuolen mutkaan 2D
- menopuolen mutkaan 5D.

Esimerkiksi suojaetäisyys vesipumpulta tulee olla $10 * 40\text{mm} = 400\text{mm}$. (9. s, 1.)

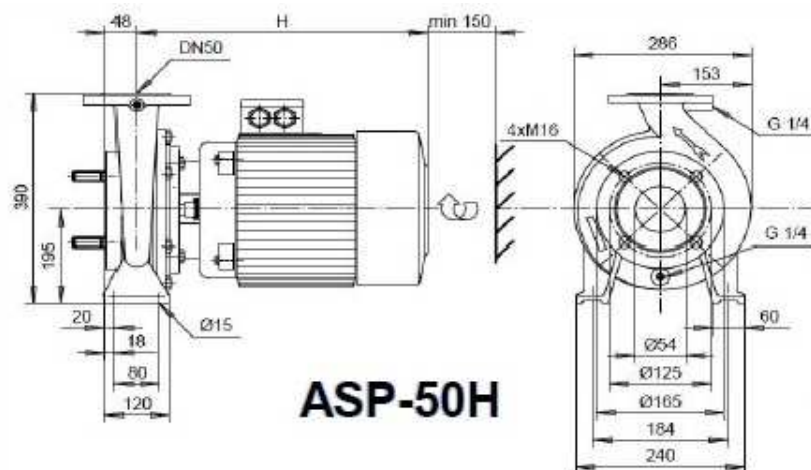
Staattisen paineen antureille erillistä suojaetäisyyttä ei ole, sillä virtaamat eivät vaikuta niiden antamiin arvoihin. Myöskään ULTRAFLOW–virtausanturille suojaetäisyyksiä ei ole määritetty, mutta asennuspaikka on. Sitä ei saa missään olosuhteissa asentaa vesipumpun painepuolelle eikä verkoston virtaamaan vaikuttavan venttiilin välittömään läheisyyteen.

3.1.2 Materiaalit ja hinta

Verkoston rakentamisessa käytettäviä materiaalivaihtoehtoja oli kaksi, kupari tai teräs. Molemmille vaihtoehdoille laskettiin kustannukset ja todettiin, että teräksestä verkosto olisi tullut noin 11 % halvemmaksi. Esimerkiksi puolentoistatuuman (1" ½ / DN42) T-yhde/haarakappale maksaa kuparisena 46,60 euroa (kappallaarina eli juotettavana) ja teräksisenä 11,60 euroa (kierteitettyinä). Hinnat katsottiin Onninen Oy:n tuoteluettelosta. Teräksen käytöstä kuitenkin luovuttiin, sillä ammattikoululla ei ollut tarvittavia työkaluja eikä resursseja työstää sitä. Verkosto päädyttiin siis rakentamaan kuparista, vaikka kustannukset olivatkin suuremmat. Toiminnan tai mittauksien kannalta ei verkostossa käytetyllä putkilaadulla tai asennustavalla (kierteitettyllä, puristetulla, juotetulla) ole merkitystä. Liitteessä 2 on laskelma verkostoon käytetyistä rahavaroista sekä hintavertailua kupari- ja rautaosien kesken. Kokonaisuudessaan verkoston materiaalit tulivat maksamaan noin 4000 euroa.

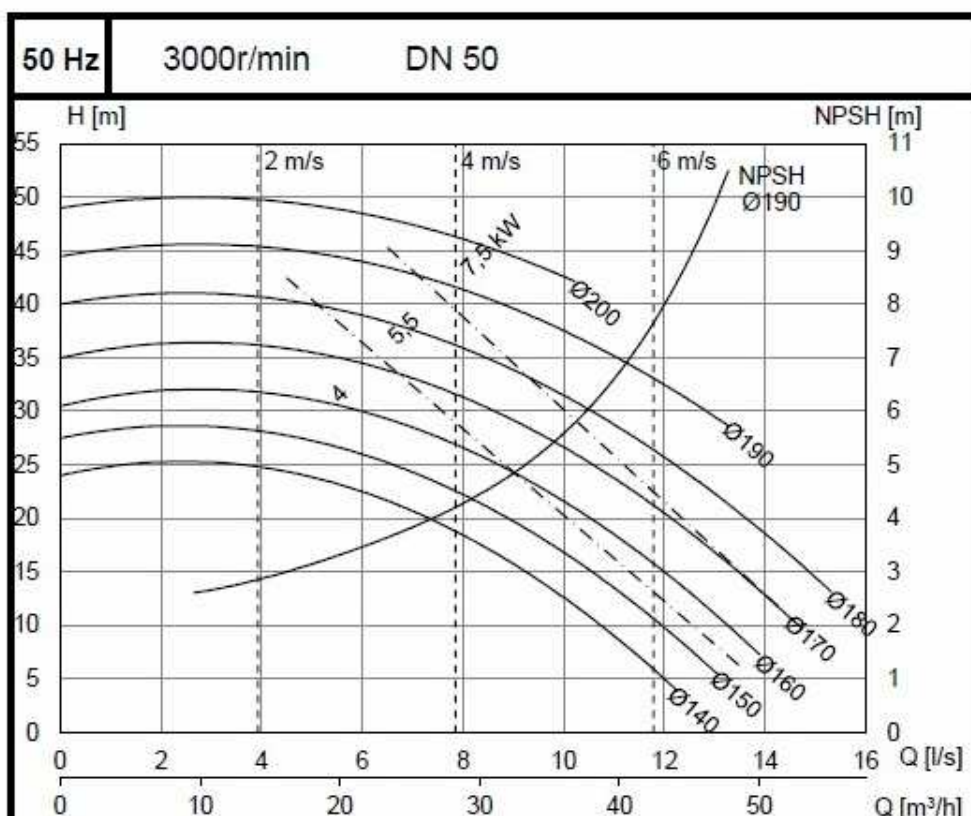
3.2 Vesipumppu

Oulun ammattikorkeakoululla oli valmiina Kolmeks Oy:n valmistama 7,5 kilowatin vakionopeuspumppu (KH-132 E1 NE), joka todettiin riittävän suureksi tätä opinnäytetyötä varten. Pumpun siipipyörän halkaisija on 190 millimetriä. Kuvasta 5 nähdään, että kyseisellä siipipyörällä pumpun maksiminostokorkeus on noin 45 metriä (4,5 bar / 450 kPa). Pumpun maksimikierronnopeus on 3000 kierrosta minuutissa 50 hertsin taajuudella.



ASP-50H

	Motor 400V	P_{2N} [kW]	I_N [A]	[kg]	H [mm]
50Hz	KH-112 E1 NE	4	7,95	58	385
	KH-132 C1 NE	5,5	10,20	83	430
	KH-132 E1 NE	7,5	13,75	91	430



KUVA 5. Kolmeks Oy:n valmistaman ASP-50H vesipumpun teknisiä tietoja (10)

3.3 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja muuttaa vaihtosähkösyöttöverkoston syöttöjännitettä ja -taajuutta, jolloin pumpun pyörimisnopeus voidaan säätää halutulle nopeudelle. Ilman taajuudenmuunninta pumppu siis pyörisi koko ajan täydellä teholla.

Tässä opinnäytetyössä käytetyn taajuusmuuttajan valmistaja on Mitsubishi, malliltaan FR-F740-00170-EC.

Kuvassa 6 näkyy taajuusmuuttajan säätöpaneeli. Säätöpaneelissa olevan potentiometrin ja kuuden napin avulla saadaan muutettua taajuusmuuttajan parametreja sekä vesipumpulle menevää taajuutta. Taajuusmuuttajaan voidaan asettaa muun muassa lähtötaajuus, kiihdytysaika sekä jarrutusaika. Lähtötaajuus tarkoittaa taajuutta jota moottorille syötetään sen käynnistysvaiheessa. Kiihdytysaika tarkoittaa aikaa kuinka nopeasti taajuusmuuttaja nostaa taajuuden 0 hertsistä syötettyyn taajuuteen. Jarrutusaika tarkoittaa vastaavasti aikaa, jossa pumppu pysähtyy, eli aikaa kuinka nopeasti taajuusmuuttaja pudottaa taajuuden nolnaan. Muuttamalla edellä mainittuja parametreja varmistetaan pumpun pehmeä käynnistys sekä pysäytys ja vältetään mahdollisilta paineiskuilta.

Tässä tapauksessa lähtötaajuus asetettiin 25 hertsiin, jolloin kierrosnopeus on 1500 kierrosta minuutissa. Kiihdytys- ja jarrutusajaksi asetettiin 10 sekuntia.



KUVA 6. Taajuusmuuttajan säätöpaneeli

3.4 Lämpöenergiamittari

Tässä työssä käytetty Kamstrup MULTICAL 602 yleislaskijalaite (kuva 7) on varustettu kahdella johdinlämpötila-anturilla sekä ULTRAFLOW X -ultraäänivirtausanturilla. MULTICAL 602 yleislaskijalaitteesta voidaan lukea verkoston virtaama, meno- ja paluuveden lämpötilat ja niiden erotus sekä kaikkien näiden minimi- ja maksimiarvot. Siitä voidaan tarvittaessa lukea myös putkiston luovut-tama energia ja hetkellisteho. Mittari toimii loggerina eli se tallentaa mitattuja

suureita, ja näinollen verkoston toimintaa voidaan seurata takautuvasti. Se myös valvoo tärkeitä toimintoja, esimerkiksi virransyöttöä, lämpötila-antureita, vuotohälytyksiä, virtausanturin ja laskijalaitteen välisiä tiedonsiirtohäiriöitä, sekä virtaussuunnan muutoksia. (11, s. 1–5)



KUVA 7. Kamstrup MULTICAL 602 -energiaämpömittari

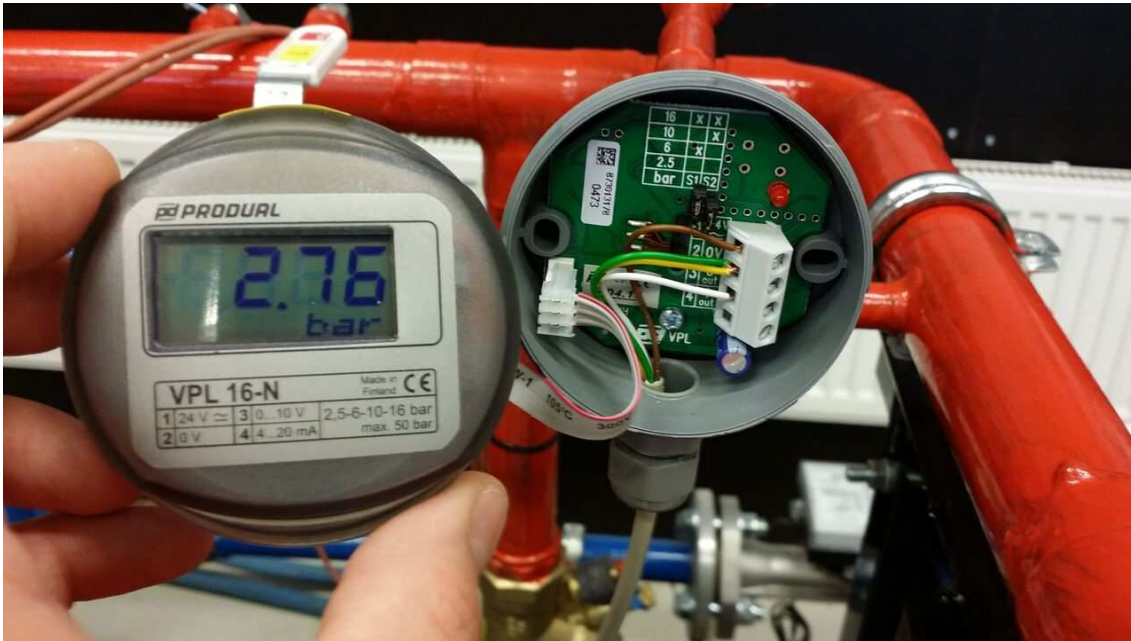
3.5 Dataloggeri ja painelähetimet

Painelähettimien lähettämää jänniteviestiä puretaan kuvan 8 mukaisella Grantin valmistamalla Squirrel SQ2040 -dataloggerilla. Loggerille voidaan lähettää sekä virta- että jänniteviestejä ja sillä voidaan reaaliaikaisesti piirtää havainnollistavaa käyrää lähettimien virta-/jänniteviestien (eli paineen) muutoksista. Valittiin helpoimmaksi tavaksi käyttää jänniteviestiä, sillä virtaviestiä käytettäessä pitää kytkeäntään lisätä etuvastus. Painelähetin lähettää 0–10 voltin jänniteviestin, jonka loggeri kääntää halutuksi suureeksi, tässä tapauksessa bar:ksi. Esimerkiksi jos painelähettimen mitta-alueeksi on valittu 0–10 bar, vastaa 1 voltin jänniteviesti 1 bar:ia.



KUVA 8. Grant Squirrel SQ2040 -dataloggeri. Yläreunassa näkyy USB-liitäntä jolla loggeri yhdistetään tietokoneeseen, muut johdot menevät antureille.

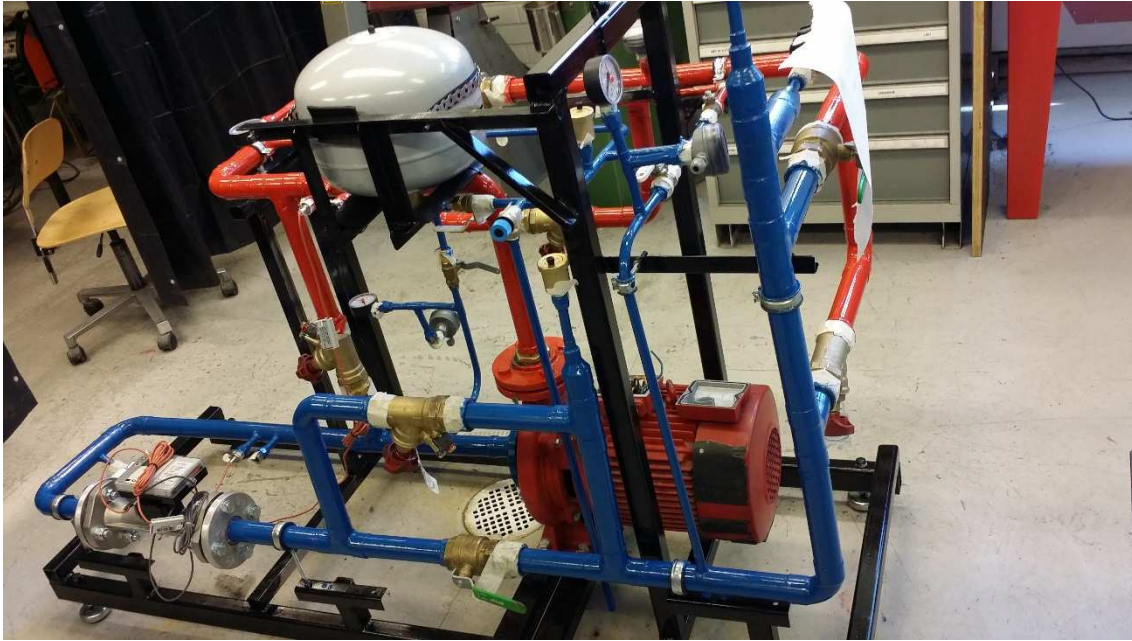
Tässä työssä käytettävät painelähettimet ovat Proidualin valmistamia VPL 16-N lähettimiä. Lähettimestä voidaan valita 4 eri mitta-alueita (0-2,5, 0-6, 0-10 tai 0-16 bar) ja se näyttää paineen 0,01 bar:n tarkkuudella. Kyseiset painelähettimet toimivat 24 voltin jännitteellä ja ovat varustettu digitaalinäytöllä josta paine voidaan lukea. Kuvassa 9 näkyvät painelähettimen kansi sekä sen sisällä olevat komponentit.



KUVA 9. ProDual VPL-16N -painelähetin. Piirilevyn keskellä ylhäällä näkyy taulukko ja jumpperi jolla voidaan säätää mitta-alueita.

3.6 Rakennusvaihe

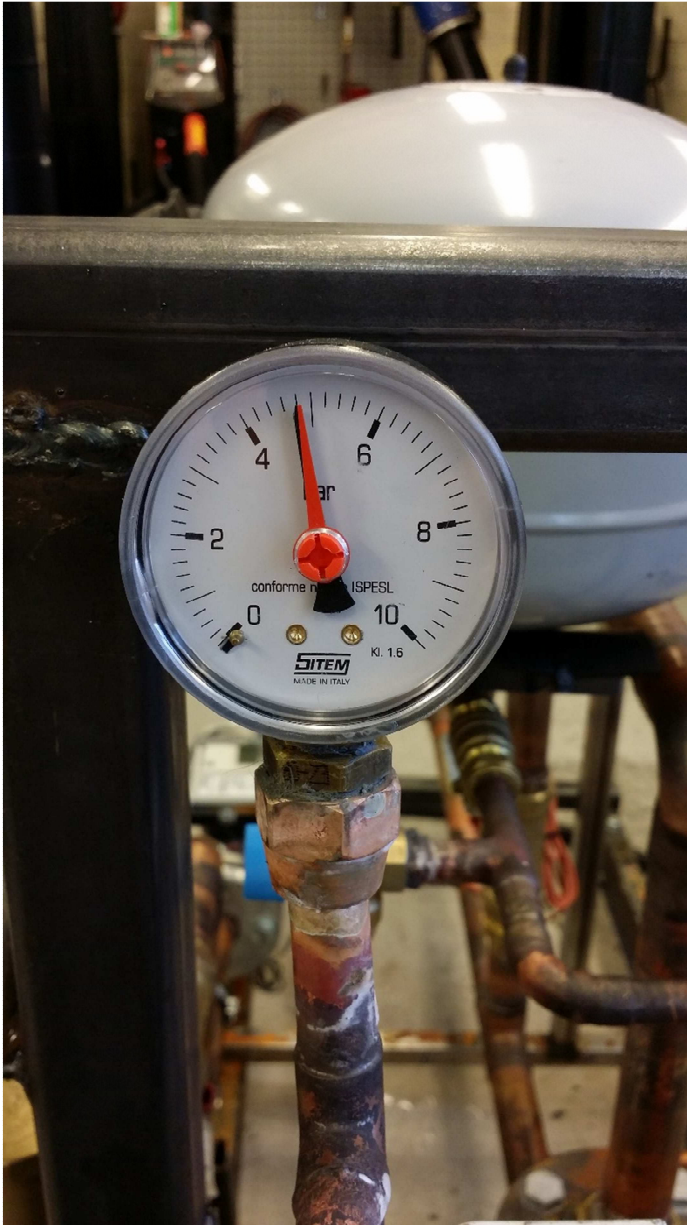
Verkosto rakennettiin Oulun ammattioppilaitoksen Kaukovainion yksikössä lähes valmiiksi. Ammattioppilaitoksen opiskelijat ehtivät juottaa kaikki DN42-kupariputket ja osan DN15-kupariputkista. Ammattiopistolla asennettiin myös kaikki linjasäätöventtiilit ja DN42-sulkuventtiilit, ja verkostolle hitsattiin kehikko 40x40 ja 60x40 RHS-palkeista suunnitelman mukaan. Kesälomien alettua verkosto siirrettiin Oulun ammattikorkeakoululle, jossa juotettiin loput kupariputket ja asennettiin puuttuvat verkoston varusteet, esimerkiksi paisunta-astia ja varoventtiili. Vesipumpun viereen hitsattiin taajuusmuuttajalle kehikko, johon se voitiin ripustaa. Lopuksi verkosto maalattiin kuvan 10 mukaisesti, eli painepuolen vesiputket punaisella ja imu puolen sinisellä. Runko maalattiin mustalla ruoste-suojamaalilla.



KUVA 10. Testiverkosto maalattuna Oulun ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa

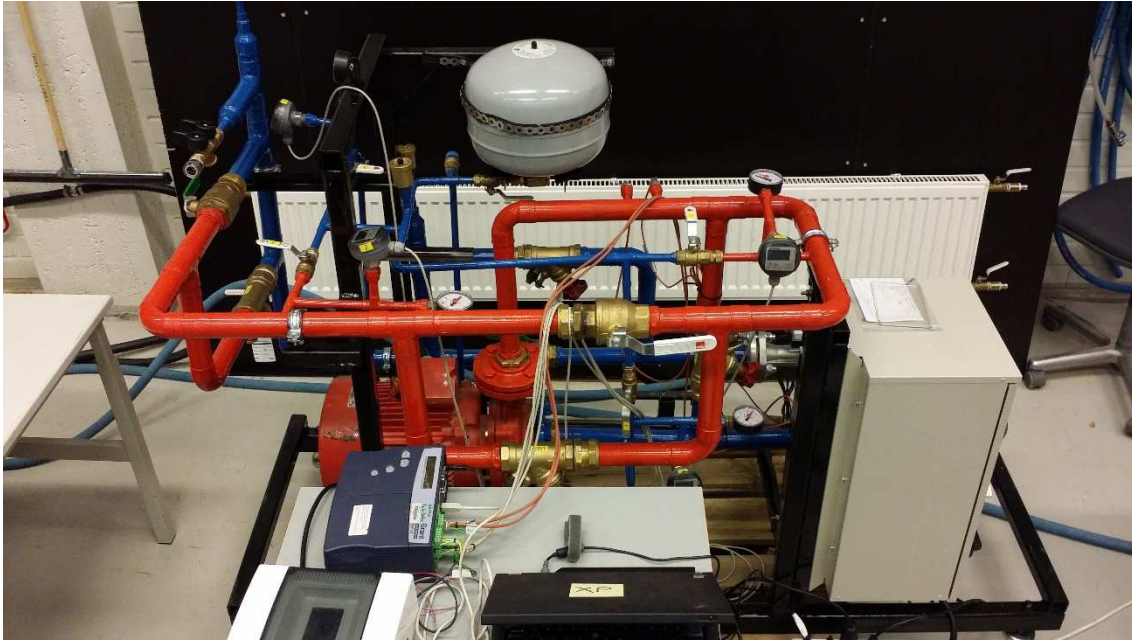
3.7 Toimintatarkastus

Verkoston tiiveys testattiin vesijohtoverkostosta saatavalla noin 5 bar:n paineella. Paineen annettiin olla testiverkostossa viikonlopun yli. Suuria vuotoja ei ollut, joten vuotojen tilkitsemisestä selvittiin venttiilien kiristelyllä ja putkitekijillä. Kuvassa 11 näkyy paineenlasku viikonlopun ylitse. Tässä vaiheessa verkosto todettiin riittävän tiiviiksi, ja verkosto siirrettiin LVI-laboratorioon mittausten suorittamista varten.



KUVA 11. Paineenlasku viikonlopun aikana, punainen viisari osoittaa asetettua täyttöpainetta

Kuvasta 12 nähdään testiverkoston lopullinen ilme sekä mittauksissa käytettävät mittalaitteet, eli dataloggeri, painelähttimet ja kannettava tietokone.



KUVA 12. Testiverkosto ja mittalaitteet valmiina mittauksiin.

Taajuusmuuttajaa ei saatu aluksi toimimaan. Ilmeisesti vuosien käyttämättömyys oli tyhjentänyt kondensaattorit liian kuiviksi. Opettaja Esa Pakonen ja laboratorioinsinööri Erkki Kylmänen kuitenkin saivat taajuusmuuttajan toimimaan.

Myös kiertovesipumpun toimivuus oli kysymysmerkki, sillä sitäkään ei ollut käytetty moneen vuoteen. Onneksi vesipumppu kuitenkin lähti pyörimään välittömästi, kun taajuusmuuttaja saatiin toimimaan.

Kun verkostosta oli saatu ilmat pois, testattiin verkoston toiminta syöttämällä vesipumpulle 35 hertsin taajuutta, joka vastaa noin 2100 kierrosta minuutissa.

Kierrosnopeus saadaan helposti affiniteettisäännön avulla käyttämällä kaavaa 7.

$$Hz_1 / n_1 = Hz_2 / n_2$$

KAAVA 7.

Hz_1 = syötetty taajuus (Hz)

n_1 = laskettava kierrosnopeus (r/min)

Hz_2 = pumpun maksimitaajuus, 50 Hz

n_2 = pumpun maksimikierrosnopeus, 3000 r/min

35 hertsin taajuudella saatiin tilavuusvirraksi vesimittarista 30 m³/h, josta saadaan virtausnopeudeksi DN42-kokoiselle putkelle (seinämävahvuus 1,5 mm) noin 7 m/s kaavalla 8.

$$v = q_v / A$$

KAAVA 8.

v = virtausnopeus (m/s)

q_v = tilavuusvirta (m³/s)

A = putken pinta-ala (m²)

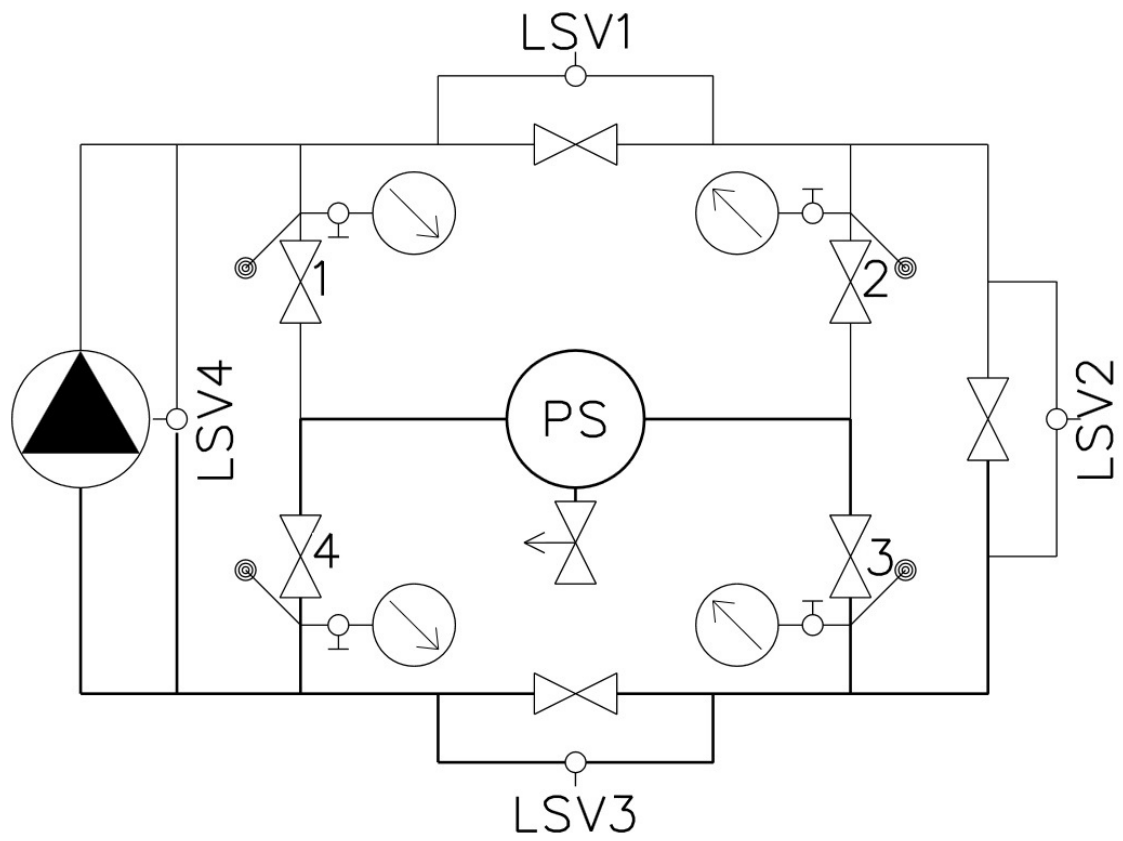
Vesipumpun teho on siis vähintäänkin riittävä mittauksia varten, sillä suositeltu maksimi vedennopeus kupariputkessa on noin 1,5 m/s.

3.8 Verkoston toiminta

Testiverkoston DN15-kokoiset putket on varustettu sulkuventtiileillä joita sulke-
malla ja avaamalla saadaan ”vaihdettua” paisunta-astian asennuspaikkaa. Kun
toinen kahdesta ensimmäisestä sulkuventtiilistä on auki ja muut kiinni, on pai-
sunta-astia verkoston painepuolella. Vastaavasti jos toinen kahdesta jälkimmäi-
sistä sulkuventtiilistä on auki ja muut kiinni, on paisunta-astia verkoston imu-
puolella eli suositusten mukaan asennettu.

DN42 -kokoisissa putkissa on sekä sulkuventtiili että linjasäätöventtiili. Näiden
avulla saadaan vaikutettua verkoston virtaamiin sekä painehäviöihin. Linjasää-
töventtiili 4:n tarkoitus on toimia ohitusventtiilinä eli ohitussäätönä jolla tarvitta-
essa saadaan verkoston virtaamaa ja paineita pienennettyä.

Kuvasta 13 voidaan helposti tarkastella, miten DN15-sulkuventtiilien (kaavion
sisemmät putket = DN15) avaaminen/sulkeminen vaikuttaa paisunta-astian
asennuspaikkaan. DN15-sulkuventtiilit ja painelähettimet ovat numeroitu arvoin
1–4. DN42-sulkuventtiileitä ei ole erikseen numeroitu, sillä niitä käsitellään pa-
reittain niitä lähinnä olevien linjasäätöventtiilien kanssa.



KUVA 13. Yksinkertainen kytkentäkaavio verkostosta

4 PAINEISKU

Paineisku tarkoittaa äkillistä paineen muutosta jossakin putkiston pis-teessä/osassa. Tällöin paineisku lähtee etenemään putkistoa pitkin ja lopuksi absorboituu (eli imeytyy/häviää) putkistovarusteeseen tai itse putkistoon.

4.1 Syntyminen

Paineiskuja syntyy kun järjestelmässä kiertävän nesteen virtausnopeus muuttuu äkillisesti. Tällaisessa tilanteessa liike-energia muuttuu paineeksi. Virtausno-peuteen äkillisesti vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa takaiskuventtiilin sul-keutuminen, vesipumpun käynnistys tai sammutus ja venttiilin sulkeminen tai avaaminen liian hitaasti tai nopeasti. (12, s. 1.)

4.2 Voimakkuus

Paineiskun voimakkuuteen vaikuttavat käytetty putkimateriaali sekä putkipituu-det. Kupariputkistoissa tapahtuvat paineiskut kantautuvat pidemmälle kuin muo-viputkistoissa, sillä muovi on elastisempaa (joustavampaa) kuin kupari ja näin ollen isku heikkenee muoviputkessa nopeammin. Samasta syystä kupariput-kissa esiintyvät paineiskut ovat myös voimakkaampia. (12, s. 3.)

4.3 Haitat

Paineiskujen aiheuttamista/syntymistä tulee välttää kaikin keinoin, sillä ne rasit-tavat todella voimakkaasti itse putkistoa ja putkistovarusteita kuten vesipump-pua ja venttiileitä. Iskut aiheuttavat ylimääräistä rasitusta myös putkiston kannakoinnille. Mikäli paineiskun yhteydessä esiintyy alipainetta, voi aiheutua terveys-riski ei-toivotun aineen liuetessa järjestelmään esimerkiksi huonokuntoisista lii-toksista tai putkistovauriosta. Suurissa laitoksissa myös hengenvaara on mah-dollinen, sillä mikäli paineiskussa syntyvä yli- tai alipaine on tarpeeksi suuri, voi putkiosuus romahtaa (luhistua) tai repeytyä todella voimakkaasti.

5 MITTAUKSET

Aluksi suunniteltiin mittauspöytäkirja, johon mittauksista saadut arvot voitiin kirjata ylös. Mittaukset suoritettiin kahdella (2) eri kierrosnopeudella. Paisuntaastian esipaine mittauksissa oli 1,5 bar:ia, ja täyttöpaine noin 3 bar:ia. Vesipumpua ei hyödyttänyt ajaa täysillä kierroksilla, sillä tulokset eivät olisi olleet järkeviä jättimäisen virtaaman ja veden nopeuden vuoksi. Esipainetta ja täyttöpainetta ei vaihdeltu, sillä oikein mitoitettuna paine käyttäytyy joka tapauksessa samalla tavalla. Verkoston mittausyksi oli samanlainen kummallakin kierrosnopeudella. Lisäksi suoritettiin satunnaisia, suunnittelemattomia testejä/mittauksia.

5.1 Mittauspöytäkirja

Kuvassa 14 on leikkauskuva mittauspöytäkirjasta. Siitä nähdään, että mittauspöytäkirjassa on esitetty 16 erilaista verkoston tilannetta joiden mukaan mittaukset suoritettiin. Jokaiselle DN15-puolen sulkuventtiilille saadaan siis 4 erilaista tilannetta aikaiseksi.

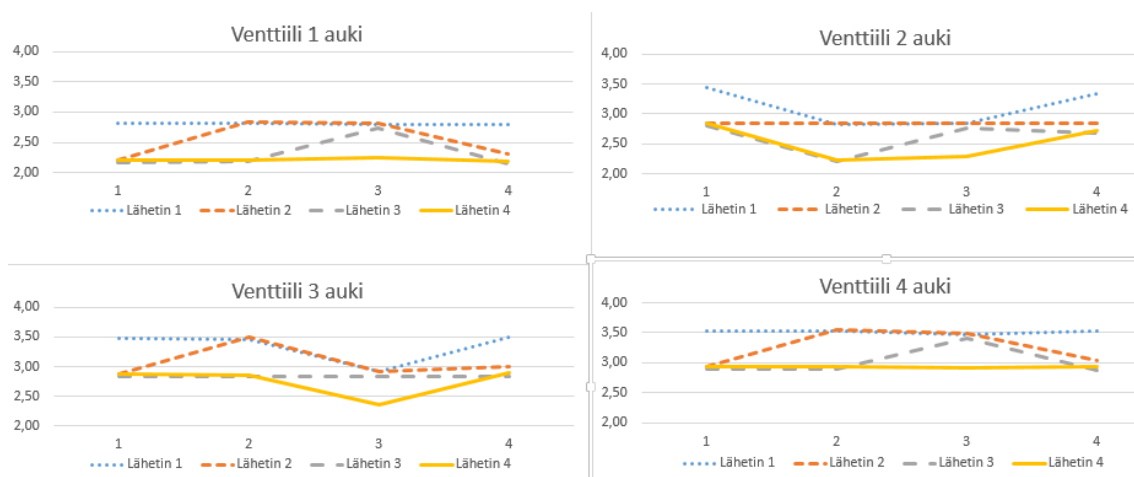
Mittaus	Esisäätöarvo + sulkuventtiili kiinni/auki				
	Avoin venttiili	LSV1 ES+k/a	LSV2 ES+k/a	LSV3 ES+k/a	LSV4 ES
1	1	2,5 K	0 A	0 A	0
2	1	0 A	2,5 K	0 A	0
3	1	0 A	0 A	2,5 K	0
4	1	1 K	2 K	2,5 K	0
1	2	2,5 K	0 A	0 A	0
2	2	0 A	2,5 K	0 A	0
3	2	0 A	0 A	2,5 K	0
4	2	1 K	2 K	2,5 K	0
1	3	2,5 K	0 A	0 A	0
2	3	0 A	2,5 K	0 A	0
3	3	0 A	0 A	2,5 K	0
4	3	1 K	2 K	2,5 K	0
1	4	2,5 K	0 A	0 A	0
2	4	0 A	2,5 K	0 A	0
3	4	0 A	0 A	2,5 K	0
4	4	1 K	2 K	2,5 K	0

KUVA 14. Mittauspöytäkirjan tilanneosio

Taulukon ensimmäinen sarake kertoo, mikä DN15-sulkuventtiili on auki. Loput sarakkeet kertovat DN42-putkessa olevien linjasäätö- ja sulkuventtiilien tilan. Esimerkiksi ensimmäisen rivin LSV1-sarakkeelta löytyvä ”2,5 K” kertoo, että linjasäätöventtiili 1:n esisäätöarvo on 2,5 ja että sitä lähinnä oleva sulkuventtiili on kiinni. LSV4 -sarakeelle voi tarvittaessa vaihtaa esisäätöarvon halutun tilanteen mukaan. Mittauspöytäkirja löytyy kokonaisuudessaan liitteenä 1.

5.2 Mittaus 1

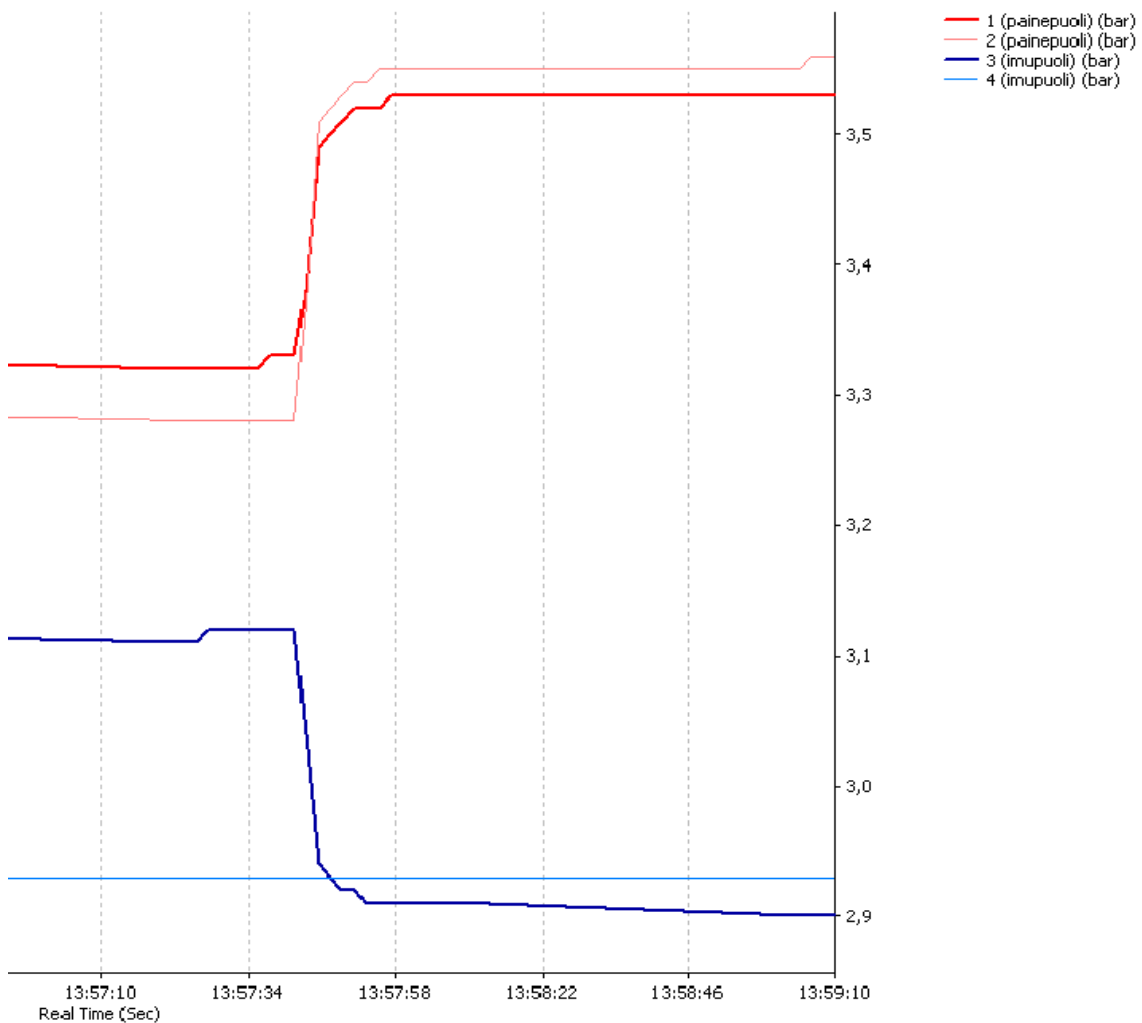
Ensimmäisessä mittauksessa vesipumpulle syötettiin 20 hertsin taajuutta joka vastaa 1200 kierrosta minuutissa. Paisunta-astian esipaine oli 1,5 bar:ia ja verkoston täyttöpaine noin 3 bar:ia. Näillä paineilla paisunta-astian käytettävissä oleva vesimäärän tilavuus on noin 2,8 litraa. Kuvassa 15 on kuvaajat painelähettimien näyttämistä arvoista 16 eri mittauksessa. Mittaukset suoritettiin mittauspöytäkirjan mukaisesti eli sulkemalla sulkuventtiileitä ja järjestelmällisesti asettamalla linjasäätöventtiileihin tietty esisäätöarvo. Lähettimet 1 ja 2 ovat verkoston painepuolella, lähettimet 3 ja 4 imupuolella. Kuvaajien otsikko kertoo avoinna olevan DN15-venttiilin, eli paisunta-astian ”asennuspaikan”. X-akselin arvot 1-4 tarkoittavat mittauspöytäkirjan mukaista mittaustilannetta. Kuvasta nähdään, että verkoston imupuolella paine ei kasva niin suureksi kuin muualla verkostossa. Mittauspöytäkirja tuloksineen on liitteenä 3.



KUVA 15. Lähettimien antamien paineiden kuvaajat

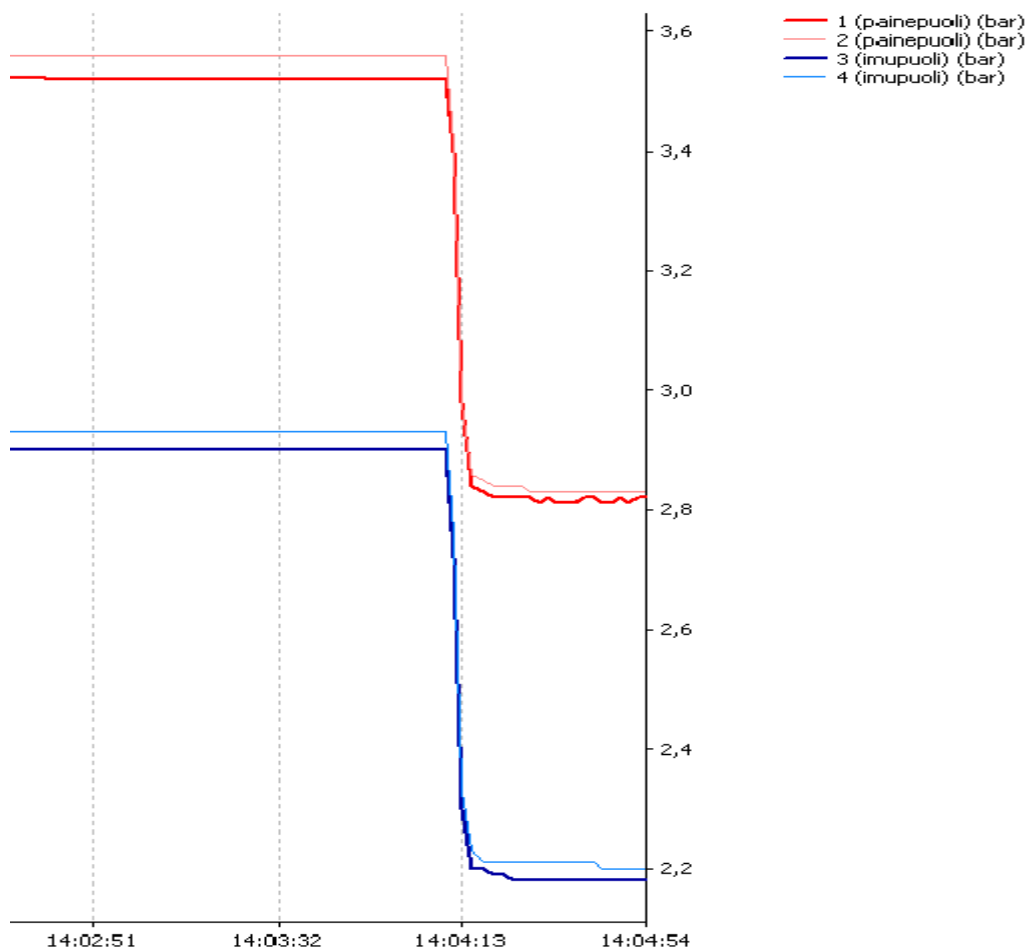
Ensimmäisiä mittauksia tehtiin noin tunnin ajan, ja verkoston toiminnasta tuli ilmi muutama huomio. Lämpötila nousi 23,9 celsiusasteesta 30,4 celsiusasteeseen eli 6,5 celsiusastetta. Lämpötilan nousu todettiin hyvin maltilliseksi ja näin ollen se jätettiin huomioimatta tuloksissa. Ohitussäädöllä, eli linjasäätöventtiili 4:n esisäätöarvoa muuttamalla, paine ja virtaama verkostossa laskee, mutta itse paineen käyttäytymiseen sillä ei todettu olevan merkitystä, ja näinollen suurimassa osassa mittauksista LSV4:n esisäätöarvo on ollut 0.

Kuvassa 16 näkyy LSV2:n viereisen palloventtiilin sulkemisesta aiheutunut paineen lasku/nousu. DN15-sulkuventtiileistä auki oli 4, eli paisunta-astia oli imu-puolella lähellä vesipumppua. Verkoston muiden venttiilien asennot löytyvät kuvatekstistä.



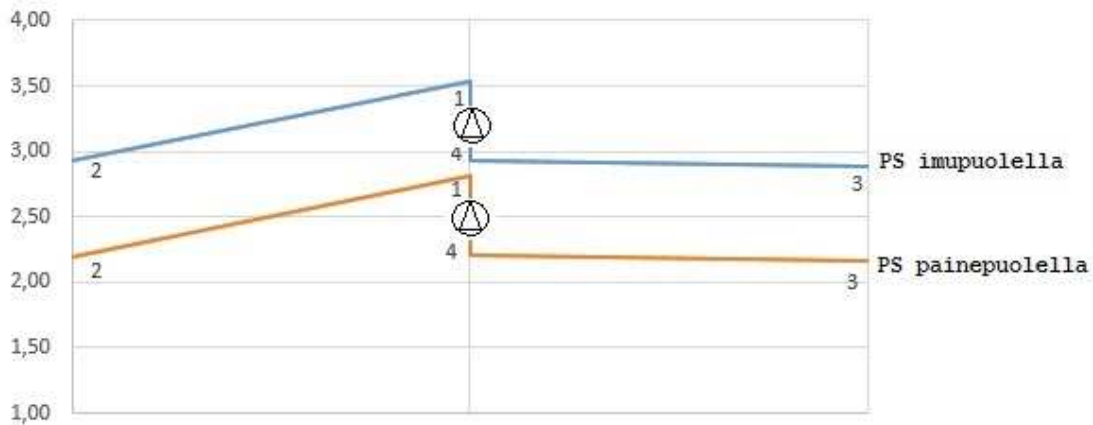
KUVA 16. LSV1 0A, LSV2 2,5, LSV3 0A, LSV4 0

Kuvassa 17 on hyvin nähtävissä paisunta-astian asennuspaikan vaikutus verkoston paineeseen. Vasemmalla puolella käyrää, ennen paineen tippumista, paisunta-astia oli lähinnä vesipumppua imupuolella, ja paineen tippuminen syntyi kun paisunta-astia kytkettiin pumpun välittömään läheisyyteen painepuolelle (pumpun käydessä koko ajan). Painepuolella oleva astia aiheuttaa suuremman paineen kuin imupuolella oleva astia, eli se kumoaa pumpun aiheuttaman paineen. Tällöin korkeammissa järjestelmissä on mahdollisuus alipaineen muodostumiseen, joka voi aiheuttaa ilman tai epäpuhtauksien joutumista verkostoon. Imupuolella olevalla astialla on siis parempi hyötyteho/hyötytilavuus ja verkoston nesteellä on käytössä suurempi tilavuus lämpölaajenemista varten.



KUVA 17. LSV1 0A, LSV2 2,5K, LSV3 0A, LSV4 0

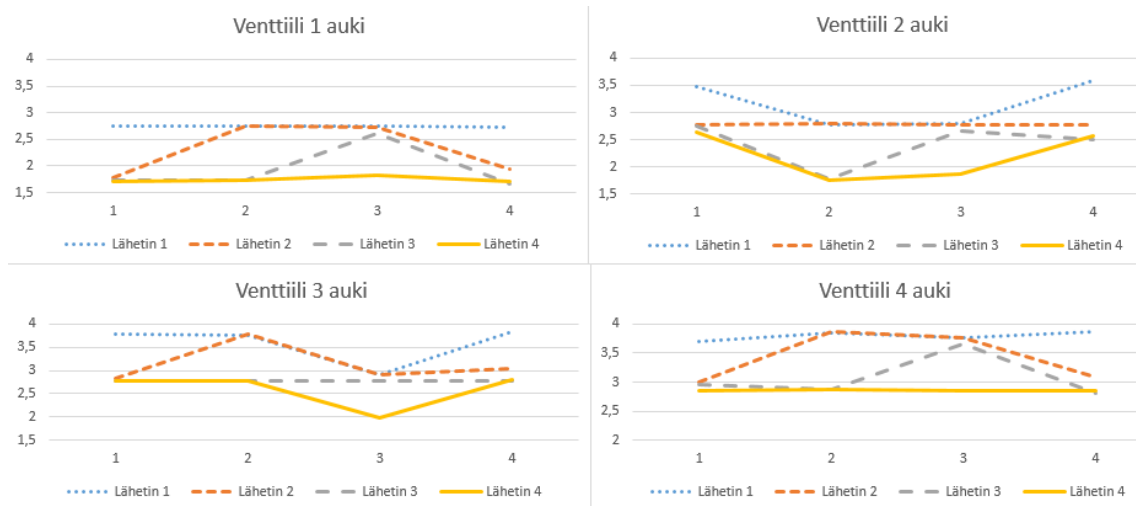
Ohessa painekäyrät kuvassa 18, joka selventää tilannetta. Kuvaajassa olevat arvot esittävät painelähettämiä. Vesipumppu on siis välillä 1–4.



KUVA 18. Painetasot paine- ja imupuolella lähimpänä vesipumppua. Ylempänä imupuoli. Kahden muun asennuspaikan painetasokäyrät tulevat näiden väliin.

5.3 Mittaus 2

Toisessa mittauksessa pumpulle syötettävää taajuutta nostettiin 25 hertsiin, jolloin pumppu pyöri noin 1500 kierrosta minuutissa. Esipaine ja täyttöpaine olivat samat 1,5 bar / 3 bar. Kuva 19 kertoo, että paine käyttäytyy samalla tavalla kuin aiemmin paineen vähenemisestä/nousemisesta huolimatta. Mittauspöytäkirja tuloksineen on liitteenä 4.



KUVA 19. Lähettimien antamat paineet mittauksessa 2

Mittauksen 2 painekäyrät kuvassa 20 joista nähdään paineen maltillinen kasvu verrattuna mittaukseen 1, mutta periaate pysyy samana.



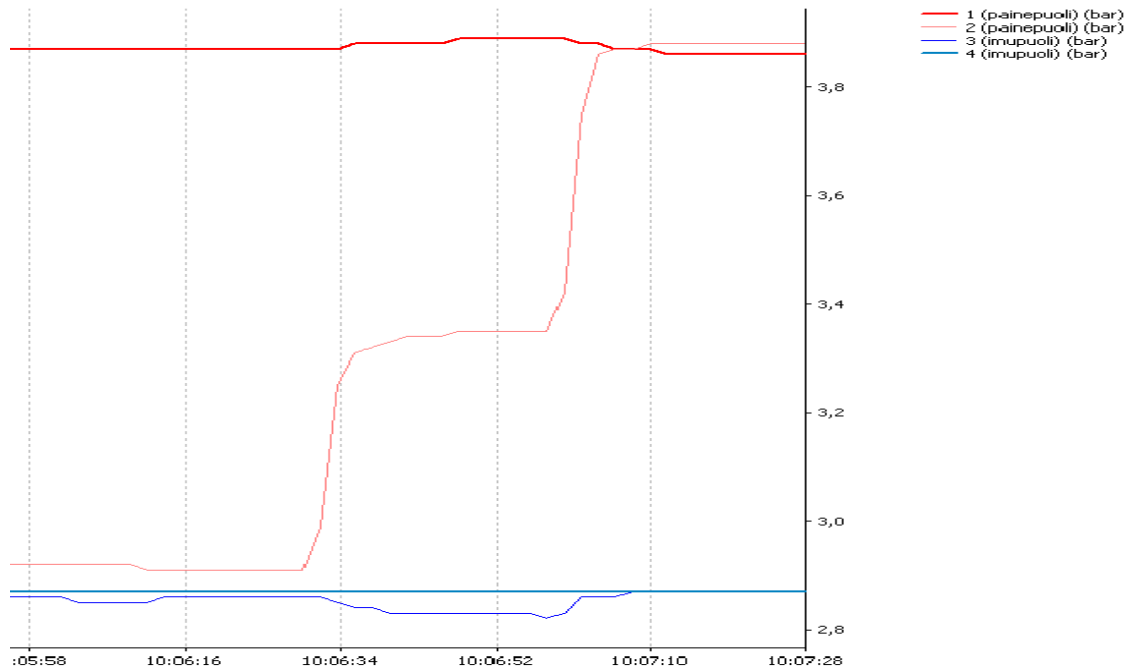
KUVA 20. Mittauksen 2 painekäyrät, verkoston paine 3 bar:ia kun pumppu ei käy

Tuloksia tulkittaessa huomattiin, että isommalla kierrosnopeudella paisunta-astian kytkentälinjan paine laski. Samainen paineenlasku tapahtui paisunta-astian asennuspaikasta riippumatta ja linjasäätöventtiilien/palloventtiilien asennoista huolimatta. Liitteenä olevista mittauspöytäkirjoista (liitteet 3 ja 4) voi helposti todeta, että paine paisunta-astialla oli aina pienempi kierrosnopeudella 1500 kuin kierrosnopeudella 1200. Ilmiö liittyy Bernoullin lakiin, jonka mukaan liikeenergian kasvaessa, eli virtauksen nopeuden kasvaessa, paineen täytyy alenua sillä verkoston kokonaisenergian tulee pysyä vakiona.

5.4 Satunnaiset mittaukset ja painekäyrät

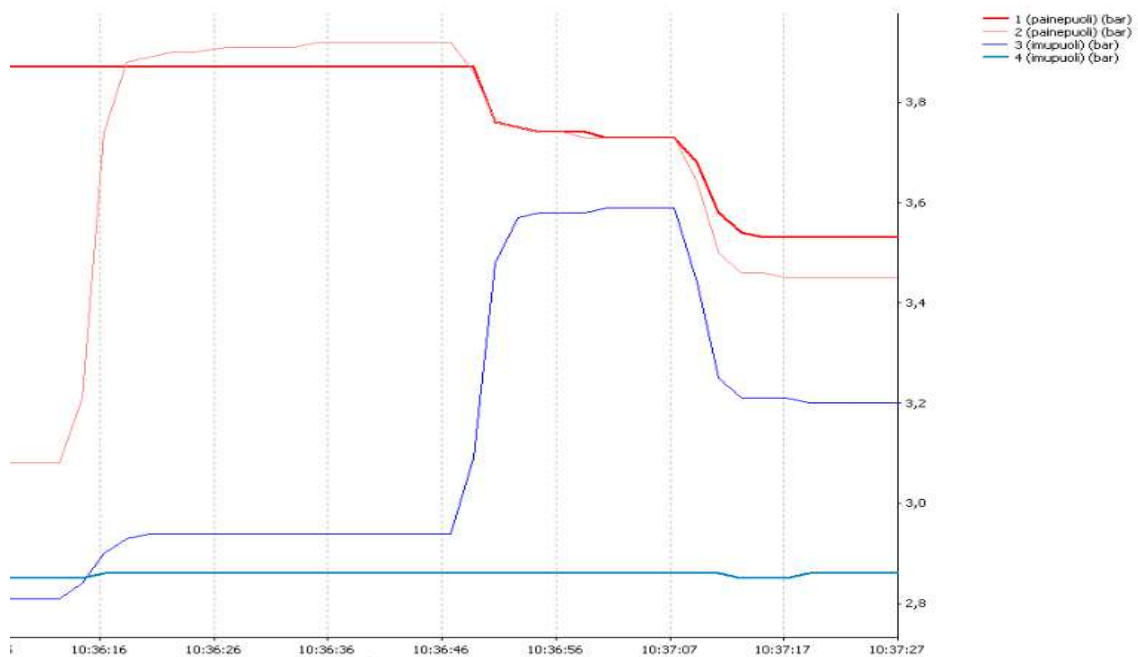
Mittausten jälkeen verkostoon aiheutettiin paineenvaihteluita mm. palloventtiileitä ja linjasäätöventtiileitä säätämällä.

Kuvassa 21 paisunta-astia on asennettu linjaan 4, eli imupuolelle vesipumpun viereen. Ensimmäinen paineen nousu syntyi, kun LSV2:n esisäädöksi laitettiin 2,5 ja suljettiin sitä vastaava palloventtiili, ja seuraava nousu syntyi, kun LSV1:n palloventtiili avattiin.



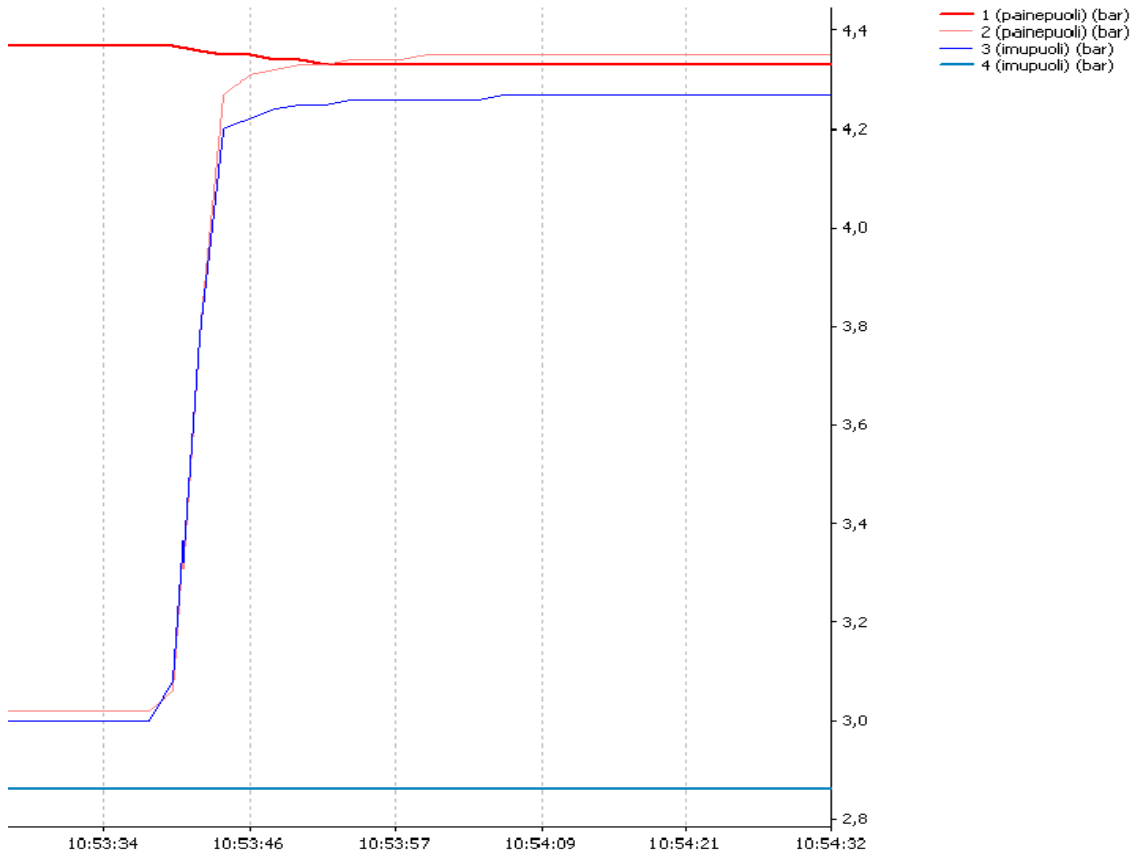
KUVA 21. LSV1 0A, LSV2 2,5K, LSV3 0A, LSV4 0

Kuvassa (22) paisunta-astia on taas asennettu linjaan 4. Paineenvaihtelut tapahtuivat, kun linjasäätöventtiilit avattiin peräkkäin alkaen LSV1:sestä. Paine ei muutu paisuntasäiliöllä ollenkaan. Virtaama kasvoi 3,2 kuutiometristä tunnissa 20 kuutiometriin tunnissa.



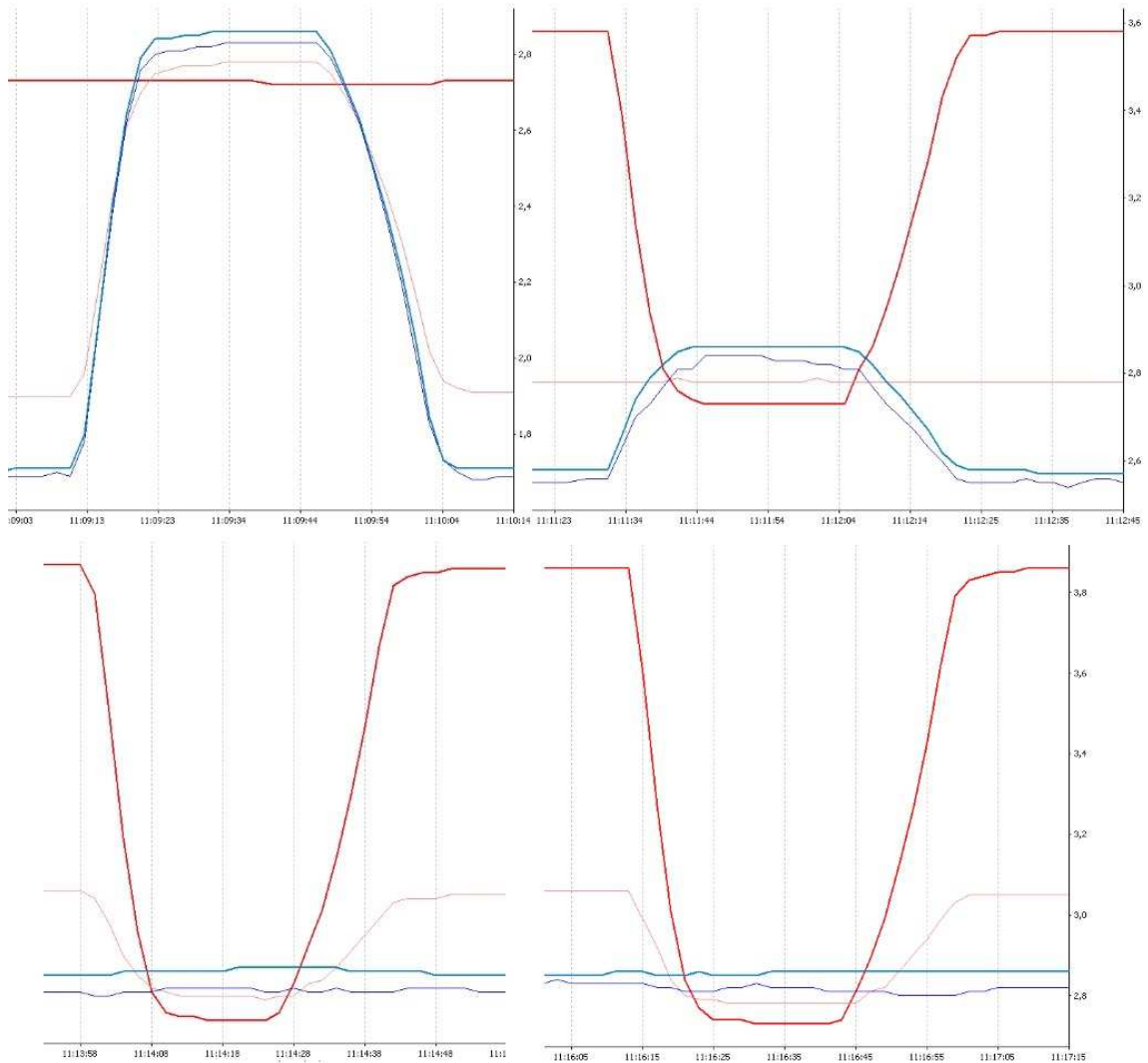
KUVA 22. Linjasäätöventtiilien avaaminen vuoronperään

Kuvassa 23 vesipumpun kierrosnopeutta on nostettu 30 hertsiin eli 1800 kierrokseen minuutissa. Paisunta-astia on linjassa 4. LSV1:n palloventtiilin äkillinen avaaminen sai jo yli yhden barin painevaihtelun aikaan.



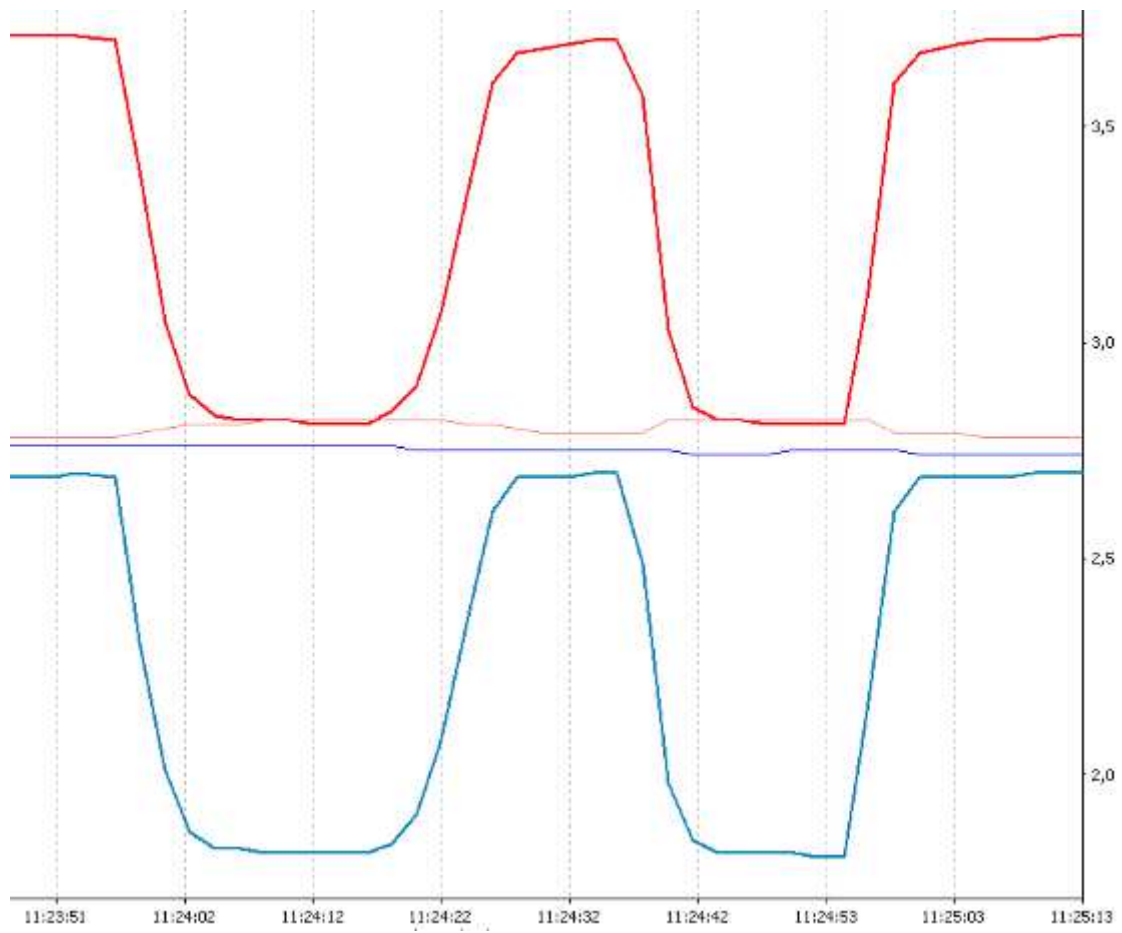
KUVA 23. LSV1 avaaminen, LSV2 2A, LSV3 1,5K, LSV4 0

Pumpun käynnistys- ja sammutusvaiheesta otettiin kuvaajat (kuva 24) jokaiselle paisunta-astian asennuspaikalle. Kaikissa kuvassa näkyvissä käyrissä oli verkostossa samanlainen tilanne (LSV1 1K, LSV2 2K, LSV3 1,5A, LSV4 0). Pumpun käynnistyksessä sekä sammutuksessa verkostossa tapahtuu yli yhden barin painevaihteluita.



KUVA 24. Vasemmalla ylhäällä paisunta-astian kytkentälinja 1, oikealla ylhäällä kytkentälinja 2, vasemmalla alhaalla kytkentälinja 3, ja oikealla kytkentälinja 4.

Kuvassa 25 näkyy neljä paineen nousua/laskua. Ensimmäisessä painelaskussa on hitaasti avattu LSV1:n palloventtiili, ja sitten hitaasti suljettu. Kolmannella ja neljännellä käyrällä sama palloventtiili on avattu ja suljettu nopeasti. Käyrien jyrkkyydessä ei ole suurta eroa, eli tämän testin perusteella ei ole dramaattista merkitystä avaako/sulkeeko venttiilit nopeasti vai hitaasti.



KUVA 25. LSV1:n palloventtiilin hidan/nopea sulkeminen ja avaaminen. Muu verkosto tilassa LSV2 2A, LSV3 1,5K, LSV4 0.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja havainnollistaa paineen käyttäytymistä suljetussa kiertovesiverkostossa. Opinnäytetyötä varten rakennetulla testiverkostolla saatiin tutkittua ja havainnollistettua paineen käyttäytymistä vesijohtoverkostossa.

Mielestäni sain testiverkostosta hyviä tuloksia ulos ja näinollen saavutin tavoitteeni. Testiverkoston suunnitteleminen ja rakentaminen/rakennuttaminen oli yllättävän suuri ja aikaa vievä prosessi, mutta todella opettavainen ja mielenkiintoinen. Mielestäni testiverkostosta tuli hyvä. Verkostoa voi käyttää myös tulevaisuudessa hyödyksi, esimerkiksi opettamiskäytössä laboratoriotyönä.

Mittauksissa jätettiin lähes kokonaan säätämättä linjasäätöventtiilin 4 esisäätöarvoa, koska sillä ei ollut mittauksiin vaikutusta. Vesipumppua ei myöskään ajettu suurilla kierroksilla, sillä virtaamasta ja vedennopeudesta olisi tullut järjetömän suuria, ja näin ollen mittauksista saatavat tiedot eivät olisi vastanneet realistista tilannetta. Esipaineen ja täyttöpaineen vaikutus oikein mitoitettuna mittauksiin ei ole oleellinen, sillä mittauksista saadut paineen arvot olisivat pienempiä/suurempia, mutta käyttäytyisivät silti samalla tavalla kuin tässä työssä käytetyt paineet.

Mittaustuloksia tutkimalla voidaan todeta, että yleiset ohjeistukset paisunta-asian asennuspaikasta pitävät paikkansa. Vesipumpun pehmeään käynnistykseen ja sammutukseen tulee kiinnittää huomiota, sillä painevaihtelu on todella suurta kyseisissä tilanteissa. Tässä työssä käytetyt paineet eivät olleet suuren suuria, mutta oletettavasti paine käyttäytyy samalla tavalla myös suuripaineisissa suljetuissa verkostoissa.

LÄHTEET

1. LVI 11-10472. 2011. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. Rakennustietosäätiö RTS 2011. Saatavissa: [https://www.rakennustietokauppa.fi/paisuntajarjestelman-valinta-ja-mitoitus.-\(2011\)/104528/dp](https://www.rakennustietokauppa.fi/paisuntajarjestelman-valinta-ja-mitoitus.-(2011)/104528/dp). (vaatii käyttäjälisenssin.) Hakupäivä: 11.02.2015.
2. Altech kalvopaisunta-astian tuotekuva. 2015. talotarvike.com. Saatavissa: http://www.talotarvike.com/kauppa/product_details.php?p=25622. Hakupäivä: 16.6.2015.
3. Lämmitysjärjestelmät kotitalouksissa. Grundfos Oy. Saatavissa: <http://www.netrauta.fi/attachments/products/grundfos/alpha2l/Esite.pdf>. Hakupäivä: 7.7.2015.
4. Tukes opas: Painelaitteiden kunnossapito. 2004. Turvatekniikan keskus. Saatavissa: http://www.tukes.fi/tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/painelaitte-kunnossapito-opas.pdf. Hakupäivä: 24.5.2015.
5. Understanding Expansion Tanks. 2003. Steven T. Taylor, P.E., member ASHRAE. Saatavissa: <http://www.taylor-engineering.com/downloads/articles/ASHRAE%20Journal%20-%20Understanding%20Expansion%20Tanks%20-%20Taylor.pdf>. Hakupäivä: 24.5.2015.
6. Kalvopainesäiliöt: Käyttöohjeet. 2006. Pumppu Lohja Oy. Saatavissa: http://www.pumppulohja.fi/p_lohja/kayttoohjeet/Kalvopainesailiot.pdf. Hakupäivä: 15.6.2015.
7. Reflex kalvopaisunta-astiat. 2002. Reflex. Saatavissa: <http://files.arterm.fi/Bio/Muut/reflex%20N%20KALVOPAISUNTA-ASTIA.pdf>. Hakupäivä: 5.3.2015.

8. Troubleshooting a bladder pressure tank. 2006. Washington State Department of Health. Saatavissa: <http://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/331-342.pdf>. Hakupäivä: 8.7.2015.

9. Linjasäätöventtiili Oras 4100 -käyttöohje. 2015. Oras Oy. Saatavissa: <http://www.oras.com/ProductDocuments/Linjasaa-toventtiili.pdf>. Hakupäivä: 24.5.2015.

10. Kolmeks ASP-50H datalehti. 2012. Kolmeks Oy. Saatavissa: http://www.kolmeks.biz/product_downloads/documentation/Kolmeks_AS_-50H_50Hz_60Hz_19Sep2012.pdf. Hakupäivä: 20.1.2015.

11. MULTICAL 602 DATALEHTI. 2012. Kamstrup Oy. Saatavissa: <http://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=512b546225d4b&display=1>. Hakupäivä: 16.6.2015.

12. Paineiskukuormitukset putkistoissa. 1985. Kari Ikonen. Saatavissa: http://rmseura.tkk.fi/rmlehti/1985/nro4/RakMek_18_4_1985_3.pdf. Hakupäivä: 8.7.2015.

KUPARI				MUSTARAUTA			
DN15	kpl	€ / kpl	€ yht	DN15	kpl	€ / kpl	€ yht
Putki	3	3,16	9,49	Putki	3	4,76	14,28
90°	4	2,14	8,56	90°	4	1,96	7,84
T-yhde	12	2,77	33,24	T-yhde	12	2,41	28,92
Sulkuventtiili	5	12,1	60,5	Sulkuventtiili	5	15,8	79
			111,79				130,04
DN42	kpl	€ kpl	€ yht	DN42	kpl	€ kpl	€ yht
Putki	8	8,54	85,4	Putki	9	13,9	125,1
90°	11	22,8	250,8	90°	11	8,19	90,09
T-yhde	10	46,6	466	T-yhde	10	11,6	116
Sulkuventtiili	4	46,7	186,8	Sulkuventtiili	4	46,5	186
Linjasäätöventtiili	4	207	828	Linjasäätöventtiili	4	207	828
			1817				1345,19
Muut	kpl	€ kpl	€ yht	Muut	kpl	€ kpl	€ yht
Täyttöventtiili	1	59,4	59,4	Täyttöventtiili	1	59,4	59,4
Paisari	1	51,5	51,5	Paisari	1	51,5	51,5
Painemittari	4	15	60	Painemittari	4	15	60
Painelähetin	4	294	1176	Painelähetin	4	294	1176
Ilmanpoistin	3	8	24	Ilmanpoistin	3	8	24
Kamstrup	1	599	599	Kamstrup	1	599	599
Pumpun laipat	2	20	40	Pumpun laipat	2	20	40
Muut tarvikkeet		100	100	Muut tarvikkeet		100	100
			2109,9				2109,9
Kaikki yhteensä			4038,69	Kaikki yhteensä			3585,13

Hintaerotus 453,56

Kuparisena tarvikkeet maksavat siis 11,2% enemmän.

Hinnat katsottu Onninen Oy :n hintaluettelosta.

