

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2023

Atte Virtaniemi

# Höyryn vortex-virtausmittaus höyryjärjestelmässä



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutusohjelma

2023 | 36 sivua

Atte Virtaniemi

## Höyryn vortex-virtausmittaus höyryjärjestelmässä

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Fimpec Group Oy:lle. Fimpec Group Oy on projektijohtamiseen ja suunnitteluun erikoistunut yritys. Työn tavoitteena oli selvittää vortex-virtausmittarin toiminta höyryn virtausmittauksessa ja asennus alaspäin virtaavassa pystyputkessa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin pääosin höyryjärjestelmään ja sen eri komponentteihin sähköisten lähteiden ja painetun kirjallisuuden kautta. Lisäksi teoriaosuudessa käsiteltiin tärkeitä huomioitavia asioita höyryn virtausmittauksessa.

Tämän opinnäytetyön johtopäätöksenä saatiin varmuus, että vortex -mittari soveltuu virtausmittaukseen pystyputkessa ja se voidaan asentaa nykyiseen höyrylinjaan ilman höyryputkiston reitin muuttamista.

Asiasanat:

Höyry, virtausmittaus, vortex, höyryjärjestelmä.

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2023 | 36 pages

Atte Virtaniemi

## Vortex flow measurement of steam in the steam system

The aim of the thesis was to determine the operation of the meter in steam flow measurement and installation of the vortex flowmeter in a vertical tube running downstream. The thesis was commissioned by Fimpec Group Oy. Fimpec Group Oy is a company specialized in the field of project management and engineering.

The theoretical part of the thesis mainly dealt with steam system and its various components based on electronic sources and printed literature. In addition, the theoretical part dealt with important issues in steam flow measurement.

The conclusion of this thesis was that the vortex meter is suitable for flow measurement in a vertical tube, and it can be installed on a steam line without changing the route of the steam pipeline.

Keywords:

Steam, flow measurement, vortex, steam system.

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
1.1 Fimpec Group Oy	6
<b>2 Höyryn ominaisuudet</b>	<b>8</b>
<b>3 Höyrykattilan toimintaperiaate</b>	<b>9</b>
3.1 Suurvesitilakattila	10
3.2 Vesiputkikattila	12
3.2.1 Luonnonkiertokattila	12
3.2.2 Pakkokiertokattila	14
3.2.3 Läpivirtauskattila	15
3.3 Lauhde	16
3.4 Hönkähöyry	17
<b>4 Höyryputkisto</b>	<b>19</b>
4.1 Putkiston mitoitus	19
4.2 Putkiston eristys	22
<b>5 Virtausmittaus</b>	<b>24</b>
5.1 Yleisimmät virtausmittauslaitteet	25
5.1.1 Mittalaippa	25
5.1.2 Pitot-putki	26
5.1.3 Vortex -mittaus	27
5.2 Virtausmittauksen sijoittaminen prosessissa	29
<b>6 Vortex -mittarin soveltuvuus</b>	<b>31</b>
6.1 Tilanne	31
6.2 Vortex -mittarin asennus	31
<b>7 Yhteenveto</b>	<b>34</b>
<b>Lähteet</b>	<b>35</b>

## Kuvat

Kuva 1. Tulistetun höyryn paineen ja lämpötilan suhde (Atlas Copco n.d).	8
Kuva 2. Vesihöyryn lämpötilan muutos (Huhtinen ym. 2000, 7).	9
Kuva 3. Kolmevetoinen suurvesitilakattila (ZBG boiler n.d).	11
Kuva 4. Luonnonkierokattila (Huhtinen ym. 2000, 113).	13
Kuva 5. Pakkokiertokattila (Huhtinen ym. 2000, 119).	14
Kuva 6. Läpivirtauskattila (Huhtinen ym. 2000, 124).	16
Kuva 7. Lauhteenpoisto (Wermac n.d).	17
Kuva 8. Putkieriste mitoitus (Paroc 2019, 6).	23
Kuva 9. Mittalaippa virtausmittauksessa (Kuphaldt n.d).	26
Kuva 10. Pitot-putki (Putkistovirtausmittauksia, 7).	27
Kuva 11. Pyöreän virtausesteen muodostamat pyörrevanat (Frondelius 2005).	28
Kuva 12. Vortex-mittarin rakenne (Frondelius 2005).	28
Kuva 13. Virtausmittauksen sijoittaminen putkistoon (Leskelä & Turunen 2012, 26).	29
Kuva 14. Virtausprofiilin vaadittava rauhoittumisetäisyys. D kuvaa putken halkaisija (Leskelä & Turunen 2012, 26).	30
Kuva 15. Vortex -mittarin asennuspaikka (Endress+Hauser 2020, 44).	32
Kuva 16. Tarvittavat häiriöttömät putkiosuudet (SFS 5059 2023).	33

## Taulukot

Taulukko 1. Höyryn suositellut nopeudet putkistossa (Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011, 20).	21
Taulukko 2. Eristepaksuus ja asennusvälit (Paroc 2019, 6).	22

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää vortex-virtausmittarin soveltuvuutta höyrylinjan pystyputkessa, jossa höyryn virtaus kulkee alaspäin. Työ sijoittuu suunnittelun loppuvaiheessa olevaan projektiin ja kyseiseen työhön päädyttiin yhdessä toimeksiantajan kanssa.

Lämmönsiirtimelle menevästä höyrylinjasta puuttuu virtausmittaus ja toimeksiantaja halusi selvittää mahdollista virtausmittarin jälkiasennusta putkilinjaan. Putkilinjaan ei haluta tehdä muutoksia virtausmittarin vaaka-asennusta varten.

Työssä käytettiin aiheeseen tukeutuvia, pääosin Motiva Oy:n luomia, lähdeaineistoja. Lisäksi lähteinä käytettiin toimeksiantajan antamia PI-kaavioita, kuvia sekä 3D-mallinnuksia, joiden pohjalta tehtiin johtopäätös virtausmittarin soveltuvuudesta virtausmittaukseen. Opinnäytetyön tavoite oli kartoittaa mahdollisia ongelmia virtausmittarin toiminnassa tai asennuksessa, kun mitataan höyryä alaspäin virtaavassa höyryputkessa. Työssä käydään läpi myös höyryjärjestelmää ja höyryn kulkua prosessissa.

## 1.1 Fimpec Group Oy

Fimpec Group Oy on vuonna 2017 perustettu projektijohtamiseen ja suunnitteluun erikoistunut yritys. Yritys toimii projektikonsulttina niin teollisuuden ja energia-alan suurissa investointihankkeissa kuin erityisasiantuntijana kiinteistö- ja infrasektoreilla. Toimipaikkoja Suomessa ovat Kouvola, Helsinki, Espoo, Jyväskylä, Kotka, Oulu ja Turku. Ulkomailla toimipaikkoja on mm. Chilessä, Saksassa, Ruotsissa, Uruguayssa sekä Virossa. Päätoimipaikka sijaitsee Kouvolaissa ja yrityksessä toimii yli 400 alansa asiantuntijaa. Liikevaihto vuonna 2022 oli 41,1 miljoonaa euroa.

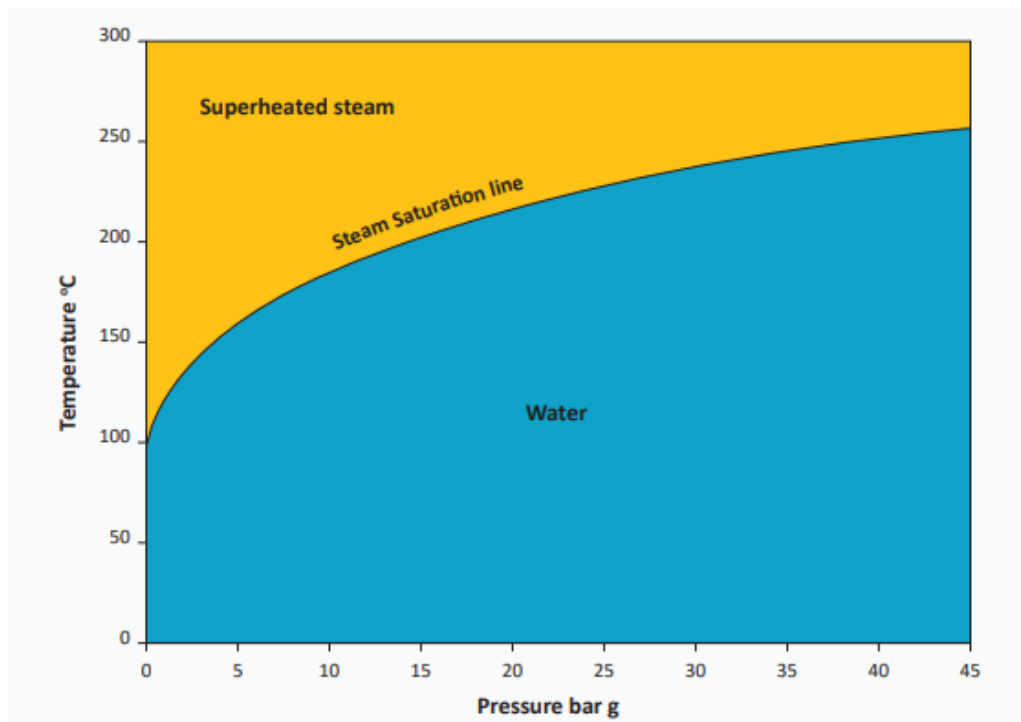
Fimpec Group Oy tarjoaa asiakkailleen projektinjohto-, suunnittelu-, energia- sekä konsultointipalveluita. Lisäksi Fimpec Node tarjoaa teollisiin projekteihin

maa- ja kielikohtaista suunnittelu- ja projektinhallintaosaamista sekä verkostoja. Yritys palvelee asiakkaita koko projektin elinkaaren ajan konsultoinnista kunnossapitoon. (Fimpec 2023.)

## 2 Höyryn ominaisuudet

Teollisuudessa käytetään paljon höyryä eri prosessien lämmittämiseen, sillä paineen avulla on helppo säätää höyryn lämpötilaa. Höyryllä on suuri lämpökapasiteetti sekä kyky varastoida lämpöä. Sitä on myös helppo kuljettaa ja siirtää prosessissa. Lisäksi höyry on myrkytöntä mikä tekee siitä turvallisen käyttää. (Federley 2009.)

Höyry voi olla kyllästettyä eli kuivaa tai kyllästämätöntä eli kosteaa. Kyllästetyssä höyryssä kaikki vesimolekyylit ovat kaasumaisessa tilassa, ja höyryn lämpötila on liki kiehumispisteessä. Kyllästämätön höyry puolestaan sisältää pienen määrän vettä kuumennettaessa. Kuumentamalla höyryä kiehumispisteen yli saadaan tulistettua höyryä. Kuvassa 1 esitetään tulistetun höyryn suhdetta paineen ja lämpötilan välillä. Tulistetulla höyryllä ei ole suoraa suhdetta paineen ja lämpötilan välillä, joten se voi esiintyä useassa eri lämpötilassa. (Atlas Copco n.d.)

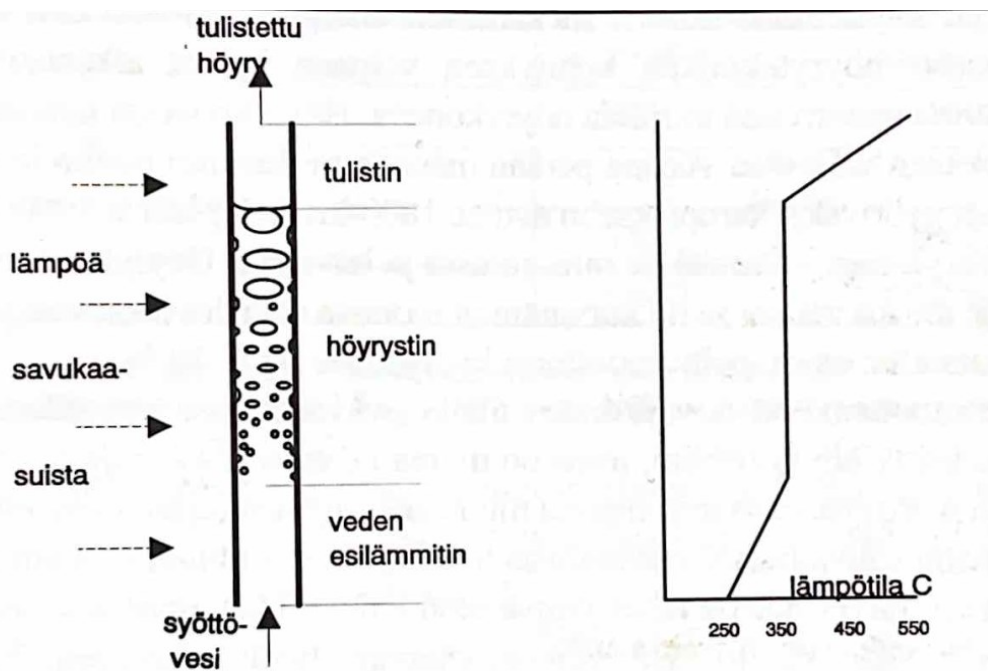


Kuva 1. Tulistetun höyryn paineen ja lämpötilan suhde (Atlas Copco n.d.).



### 3 Höyrykattilan toimintaperiaate

Höyrykattilan tehtävä on tuottaa höyryä kattilaan syötetystä vedestä. Höyrykattilaan syötetään toisesta päästä vesi nestemäisenä sisään ja toisesta päästä se tulee tulistuneena vesihöyrynä ulos. Ensin veden lämpötila nostetaan höyrystymislämpötilaan, minkä jälkeen vesi höyrystyy höyrystymislämpötilassa, joka vastaa kattilan painetta. Tämän jälkeen muodostunut vesihöyry lämmitetään korkeampaan lämpötilaan kuin höyrystymislämpötila eli vesihöyryä tulistetaan. Höyrykattilan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Vesihöyryn lämpötilan muutos (Huhtinen ym. 2000, 7).

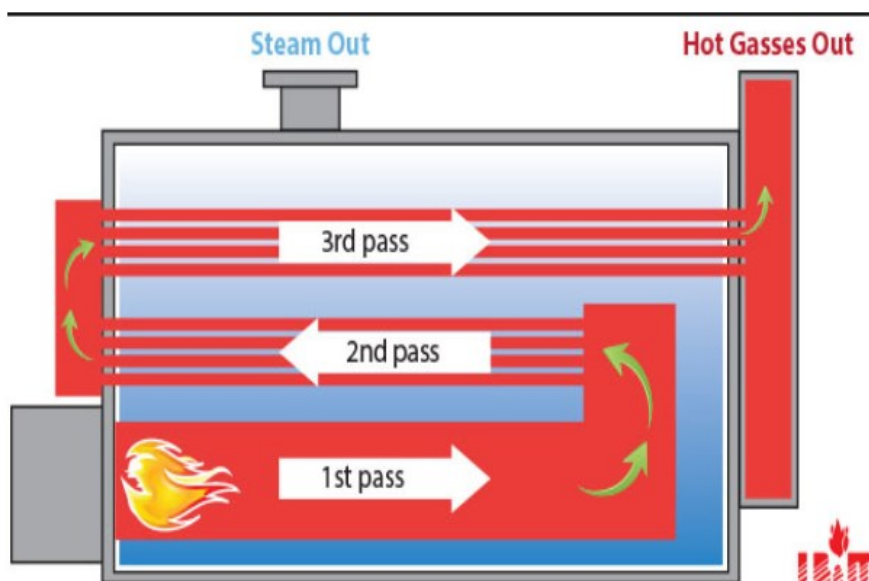
Voimalaitoksissa käytettävien höyrykattiloiden höyrypaineet ovat tavallisesti välillä 150–220 bar ja lämpötilat välillä 450–550 °C. Höyrykattilan prosessissa veden lämmittäminen, höyrystäminen ja höyryn tulistaminen edellyttävät lämpöenergiaa, joka tuotetaan polttamalla fossiilisia polttoainetta, kuten esimerkiksi turvetta tai hiiltä. Kun polttoaine syötetään höyrykattilaan ja se reagoi palamisilman hapen kanssa, syntyy lämpöenergiaa sisältäviä

savukaasuja. Savukaasujen lämpöenergiaa pyritään hyödyntämään tehokkaasti jäähdyttämällä niitä erilaisissa lämmönvaihtimissa, kuten tulistimessa, höyrystimessä, vedenesilämmittimessä ja palamisilman esilämmittimessä. (Huhtinen ym. 2000, 7.)

Höyrykattilat voidaan jakaa vesihöyrypiirin rakenteen mukaan kahteen pääryhmään, suurvesitilakattiloihin ja vesiputkikattiloihin. Suurvesitilakattiloissa polttoaine palaa tulitorvessa ja savukaasut kulkevat sen jälkeen putkissa, jotka ovat yhteydessä suureen vesi- ja höyrytilaan. Putkien ulkopuolella oleva vesi höyrystyy savukaasujen lämmön vaikutuksesta. Vesiputkikattiloissa savukaasut lämmittävät putken sisäpuolella olevaa vettä. Voimalaitoskattilat ovat kauttaaltaan vesiputkikattiloita, sillä se sopii paremmin korkeammille paineille. Suurvesitilakattiloita käytetään pääosin vain matalapaineisen prosessihöyryn tuotantoon teollisuudessa. (Huhtinen ym. 2000, 111.)

### 3.1 Suurvesitilakattila

Suurvesitilakattiloissa käytetään yleisesti kahta tai kolmea vetoa. Kuvassa 3 on kolmivetoinen kattila, jossa tulitorvi muodostaa ensimmäisen vedon ja tuliputken muodostaa toisen ja kolmannen vedon. Kaksivetoisessa tulitorvi-tuliputkikattilassa polttoaine poltetaan tulitorvessa, jonka jälkeen savukaasut siirtyvät kattilan takaosassa olevaan kääntökammioon. Kääntökammioista savukaasut jakautuvat tuliputkiin ja virtaavat takaisin kattilan etuosaan, josta ne poistuvat kattilasta. Kolmevetoisessa tulitorvi-tuliputkikattilassa savukaasut kääntyvät kahdessa kääntökammiossa ennen kuin ne poistuvat kattilasta tuliputkia pitkin kattilan takaosaan. Toinen kääntökammio sijaitsee kattilan etuosassa ja toinen peräosassa. Yleensä kattilan tulitorvi sijaitsee tuliputkien alapuolella ja kattilan yläosassa on höyrytila, joka ei tule kosketuksiin lämmönsiirtopintojen kanssa. (Huhtinen ym. 2000, 112.)



Kuva 3. Kolmevetoinen suurvesitilakattila (ZBG boiler n.d).

Suurvesitilakattila on suunniteltu erityisesti matalapaineiselle höyryntuotannolle, koska suuri vesitila mahdollistaa höyryn tuottamisen ilman, että kattilan seinämien täytyy kestää suuria paineita. Vesiputkikattilassa sen sijaan putkien seinämien täytyy olla erittäin lujat, jotta ne kestävät korkeat paineet, mikä tekee kattilasta kalliimman valmistaa. Suurvesitilakattiloita käytetään yleisesti teollisuudessa matalapaineisen prosessihöyryn tuottamiseen tilanteissa, joissa höyryn kulutus on vähäistä ja sähköntuotanto ei ole kannattavaa vaihtoehto. Suurvesitilakattiloiden käyttöpaine on yleensä alle 20 baaria ja kattiloiden teho jää alle 12 MW. Tyypillisesti suurvesitilakattilat ovat öljy- tai kaasulämmitteisiä. (Huhtinen ym. 2000, 111–112.)

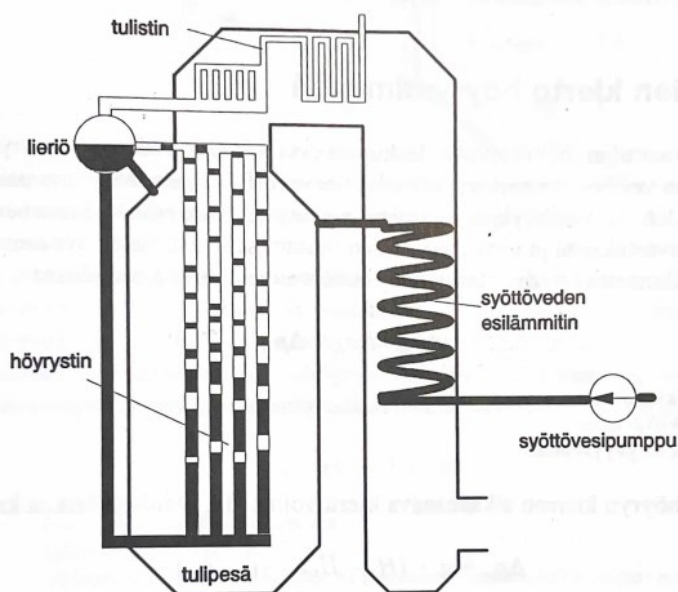
Kattilan jälkeen savukaasukanavaan voidaan asentaa syöttöveden esilämmitin, joka hyödyntää savukaasujen lämpöä lämmittämällä syöttövettä ennen sen menemistä kattilaan. Syöttöveden esilämmitin auttaa alentamaan savukaasujen lämpötilaa ja parantamaan kattilan hyötysuhdetta. (Huhtinen ym. 2000, 112.)

## 3.2 Vesiputkikattila

Vesiputkikattila on suunniteltu käyttöön, jossa vaaditaan korkeita paineita. Vesi virtaa putkien sisällä ja savukaasut kiertävät putkien ulkopuolella lämmittäen vettä. Vesi-höyry -kiertonsa mukaan, vesiputkikattilat jaetaan kolmeen ryhmään: luonnonkierto-, pakkokierto- ja läpivirtauskattiloihin. Keskeisimmät vesihöyrypiirin lämmönsiirtimet ovat jokaisessa kattilatyypissä samanlaisia. Niitä ovat syöttöveden syöttö, veden esilämmitin, höyrystin ja tulistin. Lisäksi luonnonkierto- ja pakkokierto-kattiloissa on lieriö, jossa erotetaan höyry vedestä. (Huhtinen ym. 2000, 113.)

### 3.2.1 Luonnonkiertokattila

Vesihöyryn ja veden kierto kattilassa perustuu niiden tiheyseroihin. Tulipesän höyrystinputkissa veden ja höyryn seos on kevyempää kuin lieriön laskuputkissa. Tämän vuoksi höyrystinputkissa oleva veden ja höyryn seos alkaa nousta kohti lieriötä ja vesi alkaa virrata takaisin höyrystimeen laskuputkia pitkin. Syöttövesi esilämmitetään ja syötetään lieriöön, josta se laskeutuu laskuputkia pitkin höyrystimeen. Lieriöön palautuneesta seoksesta höyry erotetaan painovoimaisesti ja johdetaan tulistimiin. Kuvassa 4 on esitetty luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri. (Huhtinen ym. 2000, 113.)



Kuva 4. Luonnonkierokattila (Huhtinen ym. 2000, 113).

Kattilan kiertoluku ilmaisee, kuinka monta kierrosta veden on kuljettava höyrytimessä ennen kuin se muuttuu höyryksi. Kiertoluku on pienempi korkeapaineisissa kattiloissa kuin matalapaineisissa kattiloissa.

Korkeapaineisen kattilan höyrystinputkissa nouseva seos ehtii höyrystyä enemmän, sillä veden ja vesihöyryn tiheusero on pienempi ja näin ollen se nousee hitaammin putkissa. Luonnonkiertokattiloissa kiertoluku on 5–100, riippuen painetasosta. Tämän vuoksi luonnonkiertokattilat ovat yleensä korkeita, sillä korkeampi kattila lisää tiheuserosta aiheutuvaa paine-eroa laskuputkien ja höyrystinputkien välillä. Höyrytimen toiminnan kannalta tarvitaan paine-ero, joka syntyy laskuputkessa olevan veden ja höyrystinputkissa olevan veden ja vesihöyryn seoksen välisestä tiheuserosta. Tämä paine-ero on välttämätön voittaakseen painehäviöt, jotka aiheutuvat veden ja vesihöyryn kierrosta höyrytimessä. (Huhtinen ym. 2000, 114–115.)

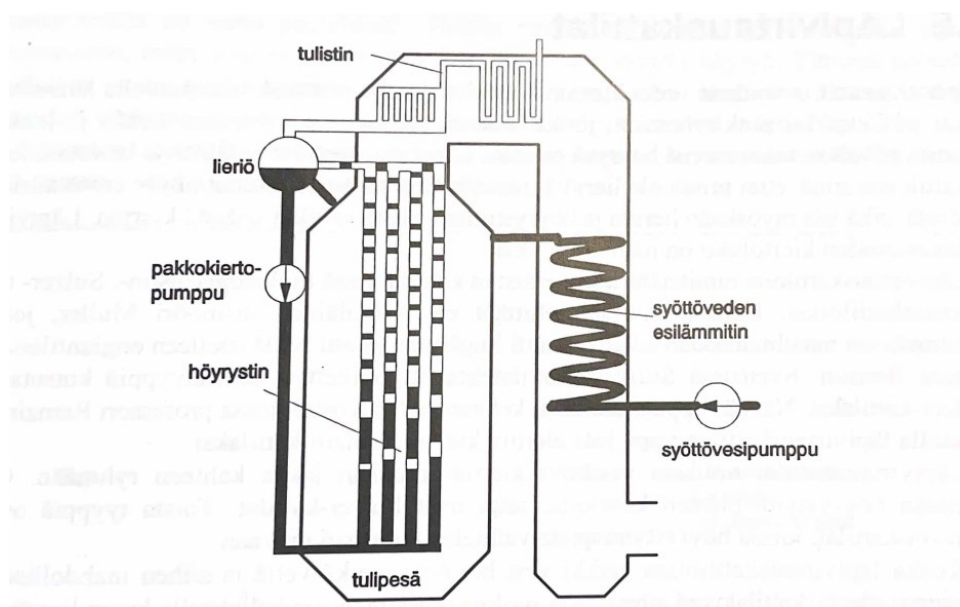
Luonnonkiertokattilan käyttöteho on alhaisempi kuin pakkokierto-kattiloilla ja läpivirtauskattiloilla, sillä veden kiertämiseen ei tarvita pumppeja. Korkeille höyrypainelle luonnonkiertokattilat eivät sovellu, sillä veden ja höyryn tiheusero pienenee paineen noustessa. Kun veden paine nousee kriittiseen pisteeseen

(221 bar), veden ja vesihöyryn tiheys on yhtä suuri: 315 kg/m<sup>3</sup>. Luonnonkierron toiminnan kannalta on tärkeää, että höyryn paine tulistimesta on alle 170 baaria, jolloin veden tiheys on noin viisinkertainen verrattuna höyryn tiheyteen.

(Huhtinen ym. 2000, 114.)

### 3.2.2 Pakkokierto-kattila

Kattilan toimintaperiaate on samankaltainen pakkokierto-kattilassa kuin luonnonkiertoisessa kattilassa, mutta pakkokierto-kattilan höyrypiirissä käytetään pakkokierto-pumppua. Tämän ansiosta pakkokierto-kattilaa voidaan käyttää korkeammilla paineilla kuin luonnonkierto-kattilaa. Kuitenkin ylikriittisiin paineisiin pakkokierto-kattilaa ei voi käyttää, koska höyry erotetaan vedestä lieriön tiheuserojen avulla. Kuvassa 5 ilmenee kattilan toimintaperiaate. Käytännössä pakkokierto-kattilat soveltuvat maksimissaan 190 baarin höyrynpaineille. Pumppu tulee sijoittaa useita metrejä alemmas lieriöstä laskuputkiin lähtevän kylläisen veden höyrystymisen ja pumpun kavitaation estämiseksi. (Huhtinen ym. 2000, 118.)

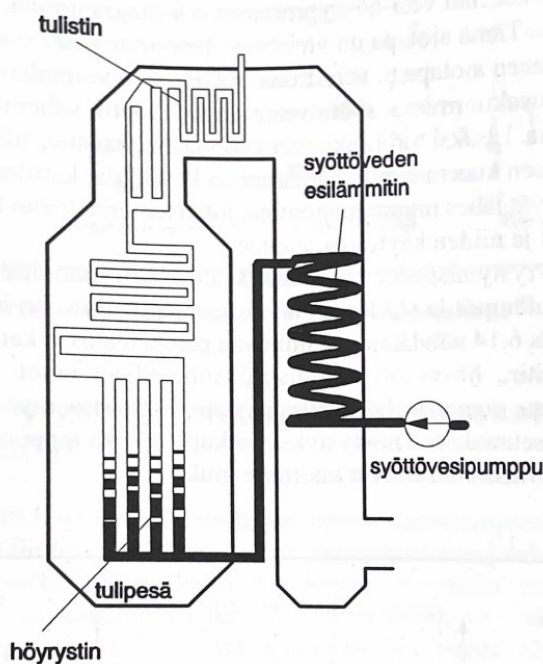


Kuva 5. Pakkokierto-kattila (Huhtinen ym. 2000, 119).

Pakkokierto-kattilan höyrystin voidaan mitoittaa suuremmille painehäviöille kuin luonnonkiertoisissa kattiloissa, mikä mahdollistaa höyrystinputkiston rakentamisen mihin asentoon tahansa. Tämän ansiosta höyrystinputket voivat olla pienemmät halkaisijaltaan ja siten edullisempia kuin luonnonkiertoisessa kattilassa. Pakotetun vesikierron ansiosta pumppu kuluttaa noin 0,5 % koko tehosta omakäyttöön. Pakkokierto-kattiloissa kiertoluku on 3–8, mikä on huomattavasti pienempi kuin luonnonkiertoisissa kattiloissa. (Huhtinen ym. 2000, 118.)

### 3.2.3 Läpivirtauskattila

Läpivirtauskattila muistuttaa rakenteeltaan pitkää putkea ilman höyrynerotuslieriötä. Kattilassa vesi virtaa esilämmittimen kautta höyrystimeen, josta se jatkaa höyrystyttyään suoraan tulistimeen ilman sisäistä kiertoa. Kattilan toiminta periaate on esitetty kuvassa 6. Läpivirtauskattiloita on kahta tyyppiä, kiinteän ja vaihtelevan höyrystymispisteen kattiloita. Läpivirtauskattilat soveltuvat erityisesti voimalaitoksiin, joissa halutaan korkea sähköntuotannon hyötysuhde, sillä ne voivat toimia ylikriittisillä käyttöpaineilla. Kiertoluku on yksi, mikä tarkoittaa sitä, että vettä ei kierrätetä kattilan sisällä, mikä vähentää myös kattilan kokoa. (Huhtinen ym. 2000, 120.)



Kuva 6. Läpivirtauskattila (Huhtinen ym. 2000, 124).

Läpivirtauskattilat toimivat ilman höyrynerotuslieriötä, mikä mahdollistaa niiden toiminnan ylikriittisillä paineilla. Koska kaikki vesi höyrystyy läpivirtauskattilassa, syöttöveden on oltava erittäin puhdasta, jotta suolojen kerrostuminen kattilan sisään ei aiheuta ongelmia. Virtausputket läpivirtauskattilassa voidaan valmistaa pieniläpimittaisista putkista, koska syöttövesipumpulla tuotettu virtaus riittää. Tämä tarkoittaa, että läpivirtauskattiloissa virtausputkien seinämänpaksuudet voivat olla ohuempia kuin muissa kattilatyypeissä. Pienistä putkista aiheutuvat painehäviöt ovat kuitenkin merkittävät, mikä vaatii suuria tehoja syöttövesipumpulta. Läpivirtauskattilat ovat nopeampia säätää kuin luonnonkiertoiset ja pakkokiertoiset kattilat, koska höyrystimen vesimassa on pienempi ja virtausputket ovat ohuemmat. (Huhtinen ym. 2000, 120.)

### 3.3 Lauhde

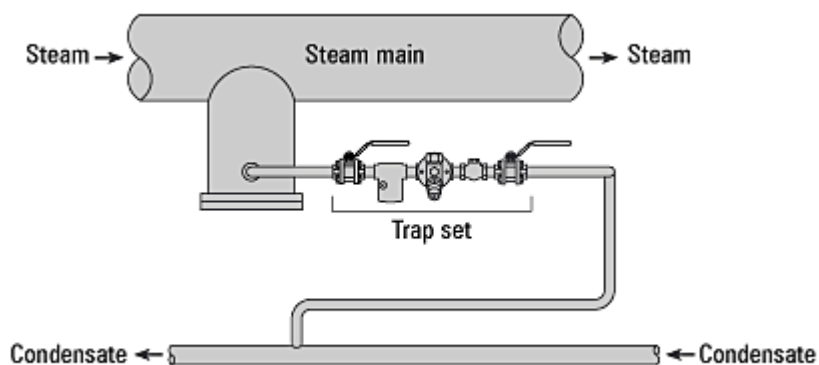
Lauhteenpoisto ja sen tehokas palautus ovat keskeisiä tekijöitä höyry- ja lauhdevesijärjestelmän energiatehokkuuden kannalta. Oikein toteutettu lauhteenpoisto varmistaa, että lämpöenergia saadaan talteen ja hyödynnetään



uudelleen, mikä vähentää energiahävikkiä ja parantaa järjestelmän kokonaisuuden tehokkuutta. Lauhde aiheuttaa korroosiota putkistoon, heikentää lämmönsiirtoa ja vähentää höyryputkiston tilavuutta. (Federley 2009, 6.)

Lauhdevesi on jo kertaalleen käynyt puhdistusprosessin läpi ja se sitoo noin 25 % höyryn energiasta, joten sen palauttamisesta prosessiin saadaan maksimoitua kattilan tuotto. (Spirax sarco n.d.)

Lauhteenpoistimen tehtävä on poistaa höyrylinjastoon kertynyt lauhde. Lauhteenpoistimia on saatavilla erilaisilla toimintamekanismeilla, joita valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Toimintamekanismi vaikuttaa siihen, miten lauhteenpoistin asennetaan putkistoon, miten se reagoi lauhdelastiin, miten se selviää höyryputkiston paineen vaihteluista ja kykeneekö se toimimaan myös ilmanpoistimena. (Federley 2009, 8–9.)



Kuva 7. Lauhteenpoisto (Wermac n.d).

### 3.4 Hönkähöyry

Hönkähöyryä syntyy kylläisestä lauhdevedestä lauhteenpaineen laskettua. Määrä riippuu paine-erosta, mutta yleensä sitä tulee noin 10 % lauhteen määrästä. Hönkähöyryn tehokas hyödyntäminen parantaa höyryjärjestelmän energiatehokkuutta ja taloudellisuutta. Hönkähöyryä voidaan käyttää mm. ilman lämmitykseen, lauhteen lämmitykseen, prosessiveden esilämmitykseen, sekä

käyttää matalapainehöyryä tarvitsevassa kohteessa. Jos hönkähöyryä ei hyödynnetä asianmukaisesti, se voi aiheuttaa ongelmia lauhdeverkostossa erityisesti silloin kun lauhdeputket ovat liian pienikokoisia. (Federley 2009, 11.)

## 4 Höyryputkisto

Laitteiden korkein höyrynpaine asettaa käyttöpainetason höyryputkistolle. Korkeamman painetason valinta ei kuitenkaan aina johda suurempiin putkikokoihin, sillä tiheämpää kaasua käytetään alhaisemmillä virtausnopeuksilla. Lämpöhäviöt putkistossa hieman kasvavat, mutta laitemitoitus puolestaan helpottuu käyttökohteissa. (Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011, 19.)

Korkeapaineisen höyryn käytöllä on useita etuja, kuten pienempi höyryn tilavuus, mikä mahdollistaa pienempien putkien käytön, kylläisen höyryn korkeampi lämpötila ja mahdollisuus paisuttaa höyryä usealle eri painetasolle käyttökohteiden mukaan. Kuitenkin korkeapaineisen höyryn käytöllä on myös joitakin haittoja, kuten tarve käyttää paksuseinäisempiä putkia, lisääntyneet höyryn vuotohäviöt ja lämpöhäviöt. Nämä asiat vaikuttavat putkikoon valinnassa. (Federley 2009, 4.)

### 4.1 Putkiston mitoitus

Höyryjärjestelmän mitoituksessa voidaan käyttää joko höyryn virtausnopeutta tai painehäviötä. Virtausnopeuteen perustuva mitoitus sopii tilanteisiin, joissa höyryn paineen laskulla ei ole ratkaisevaa merkitystä. Painehäviöön perustuva mitoitus sopii, kun halutaan varmistua höyryn käyttöpaineesta käyttökohteissa. (Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011, 20.) Höyryputken halkaisija saadaan virtausnopeuden perusteella kaavalla (TLV n.d):

$$d = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{m_s \cdot V}{3600v} \quad (1)$$

jossa

d putken sisähalkaisija (m)

m<sub>s</sub> höyryn kulutus (kg/h)

$V$	höyryn ominaistilavuus (m <sup>3</sup> /kg)
$v$	höyryn nopeus (m/s)

Virtausnopeus saadaan kaavalla (TLV):

$$v = \frac{m_s \cdot V}{3600\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (2)$$

jossa

$v$	Virtausnopeus (m/s)
$m_s$	höyryn kulutus (kg/h)
$V$	höyryn ominaistilavuus (m <sup>3</sup> /kg)
$d$	putken halkaisija (m)

Suosittelun höyryn virtausnopeus on 20–40 m/s. Korkeammat virtausnopeudet voivat aiheuttaa meluhaittoja ympäristöön. Höyryputkiston rakentamisessa tulee huomioida, että putkessa on oltava vähintään 0,5 % kaltevuus vesityksen suuntaan myötävirtaan ja vähintään 2,0 % kaltevuus vastavirtaan vesitettäessä. (Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011, 21.) Mikäli putkessa on tehtävä nousuja, niiden tulee olla pystysuoria. Jokaisen pystynousun yhteydessä on varmistettava linjan vesitys, jotta vältetään mahdollisilta vesiskuilta (Energytech n.d).

Taulukko 1. Höyryn suositellut nopeudet putkistossa (Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011, 20).

VIRTAAVA	KÄYTTÖKOHDE	NOPEUS [m/s]
AINE		Suositusalue
HÖYRY	HKP-päähöyryputket	30...40
	HVP-jakeluöyryputket	15...25
	HMP-jakeluhöyryputket	20...30
	Paisuntahöyryputket	15...20
	Tulistettu höyry 0-10 bar	
	- DN10-DN32	20...30
	- DN40-DN200	25...35
	- DN250-DN500	30...40
	- DN600>	30...40
	Tulistettu höyry 10-50 bar	
	- DN10-DN32	20...35
	- DN40-DN200	25...40
	- DN250-DN500	30...45
	- DN600<	30...50
	Tulistettu höyry >50 bar	
	- DN10-DN32	20...35
	- DN40-DN200	25...40
	- DN250-DN500	30...50
	- DN600<	40...60
	Kylläinen höyry 0-100 bar	
- DN10-DN32	15...25	
- DN40-DN200	15...25	
- DN250-DN500	20...30	
- DN600>	20...30	
2-FAASI	Lauhdeputket (hönkä)	5...15
	Lauhdeputket (vesi)	0,3...0,7
	Sylinteriputket (hönkä)	5,0...10
LAUHDE	Lauhdevesi-imuputket	0,4...0,8
	Lauhdevesi-paineputket	1,0...2,0

Suosittelun höyryn virtausnopeus on 20–40 m/s. Korkeammat virtausnopeudet voivat aiheuttaa meluhaittoja ympäristöön. Höyryputkiston rakentamisessa tulee huomioida, että putkessa on oltava vähintään 0,5 % kaltevuus vesityksen suuntaan myötävirtaan ja vähintään 2,0 % kaltevuus vastavirtaan vesitettäessä. (Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011, 21.) Putkien nousut

tulee olla pystysuoria ja jokaisen pystynousun yhteydessä on varmistettava linjan vesitys, jotta vältetään mahdollisilta vesi-iskuilta (Energytech n.d).

#### 4.2 Putkiston eristys

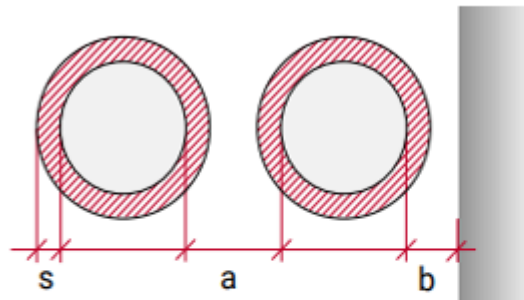
Höyryverkoston putkien eristäminen on yksinkertainen ja kustannustehokas tapa parantaa prosessin energiatehokkuutta lämpöhäviöitä pienentämällä sekä tehdä laitoksen työolosuhteista paremmat. Eristäminen voidaan toteuttaa monilla eri eristemateriaaleilla ja -tavoilla. Tärkeimpiä tekijöitä ovat eristemateriaalin hinta ja sen asennuskustannukset, eristeen kestävyys ja mahdollisuus korjauksiin, materiaalin paloturvallisuus ja kyky eristää, sekä putken sijainti ja ympäröivät olosuhteet. (Federley 2009, 14.)

Höyryputkistot tulee eristää sarjan 26 mukaisesti, kun taas lauhdeputkistot tulee eristää sarjan 24 mukaisesti (Paroc 2019, 5). Taulukossa 2 on esitetty eri sarjojen eristepaksuudet.

Taulukko 2. Eristepaksuus ja asennusvälit (Paroc 2019, 6).

Putken ulkohalkaisija	Eristepaksuus mm								
	Sarja 21			Sarja 22			Sarja 23		
$d_u$ mm	s mm	a mm	b mm	s mm	a mm	b mm	s mm	a mm	b mm
10...49	20	90	60	30	110	70	40	130	80
50...89	30	110	70	40	130	80	50	150	90
90...168	40	130	80	50	150	90	60	170	100
170...324	50	150	90	60	170	100	80	210	120
325...714	60	170	100	80	210	120	100	260	140
	Sarja 24			Sarja 25			Sarja 26		
10...49	50	150	90	60	170	100	80	210	120
50...89	60	170	100	80	210	120	100	260	140
90...168	80	210	120	100	260	140	120	300	170
170...324	100	260	140	120	300	170	140	340	190
325...714	120	300	170	140	340	190	160	380	210

Tehokkaan putkieristyksen luomiseksi on tärkeää varmistaa, että putkien ympärillä ja putkien ja viereisten rakenteiden välissä on riittävästi vapaata tilaa. Kuvassa 7 esitetään kirjaimilla taulukossa 2 olevien mittojen avulla oikeat asennusvälit putkien eristämiseen. (Paroc 2019, 6.)



**s** = Eristepaksuus

**a** = Kahden eristettävän putken väli. Eristettyjen putkien väli on 50 - 60 mm.

**b** = Eristettävän putken ja kiinteän rakenteen väli. Eristetyn putken ja kiinteän rakenteen väli on putkikoosta riippuen 30 - 50 mm.

Kuva 8. Putkieriste mitoitus (Paroc 2019, 6).

## 5 Virtausmittaus

Virtausmittauksella tarkoitetaan putken tietyn poikkileikkauksen läpi virtaavan aineen tilavuus- tai massavirran määrittämistä. Tilavuusvirtauksen yksiköinä on kuutiometriä sekunnissa ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), kuutiometriä tunnissa ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) tai litraa minuutissa ( $\text{l}/\text{min}$ ). Massavirtauksen yksiköinä on puolestaan kilogrammoina sekunnissa ( $\text{kg}/\text{s}$ ) tai tonneina tunnissa ( $\text{t}/\text{h}$ ).

Mittareiden ja mittausten vertailussa tarvitaan kolmea käsitettä: mittauksen toistettavuus, mittauksen tarkkuus ja mittausalue. Mittauksen toistettavuus kuvaa mittarin kykyä osoittaa samaa arvoa samankaltaisissa olosuhteissa. Mittauksen tarkkuus puolestaan kuvaa mittarin mahdollista mittavirhettä suhteessa mitattuun arvoon tai maksimiarvoon. Mittausalue ilmoittaa mittarin toiminnan tarkkuuden ja toistettavuuden rajoitukset. Mittausalue tarkoittaa virtausmittarin toimintaväliä, eli sitä virtausnopeuksien aluetta, jolla virtausmittari toimii tyydyttävästi valmistajan asettamissa tarkkuusrajoissa ja toistettavuuden toleransseissa. Mittausalue yleensä ilmoitetaan mittaustuloksien maksimiarvo jaettuna miniarvo. Mittausarvo saadaan jakamalla maksimimittausarvo mittausalueella, joten mittausravon pienempien arvojen luotettavuus heikkenee nopeasti. (Leskelä & Turunen 2012, 20.)

Yleisimmät menetelmät höyryn määrämittauksissa ovat mittalaippa- ja vortexmittaus, kun taas lauhteen määrän mittaamiseksi käytetään myös ultraäänimittauksia ja magneettisia virtausmittauksia. Mittaria valittaessa on tärkeää ottaa huomioon, että mittarin geometria ja virtaavan aineen ominaisuudet määrittävät mittausalueen, jolla mittaus on tarkka ja luotettava. Jokaisella virtausmittarilla on oma virtauskerroin, joka on otettava huomioon virtausmäärän laskennassa. Kertoimesta määräytyy mittarin käyttökelpoinen mittausalue. Paine-eroon perustuvissa mittauksissa virtauskerroimen lisäksi on tärkeää ottaa huomioon myös laajenemiskerroin. Tämä kerroin riippuu mittalaitteen geometriasta sekä mittauspisteen ylimenevästä paine-erosta. Lopulliseen mittaustulokseen voi muodostua useiden prosenttien virhe, mikäli laajenemiskerrointa ei ole selvitetty huolellisesti. (Leskelä & Turunen 2012, 21.)

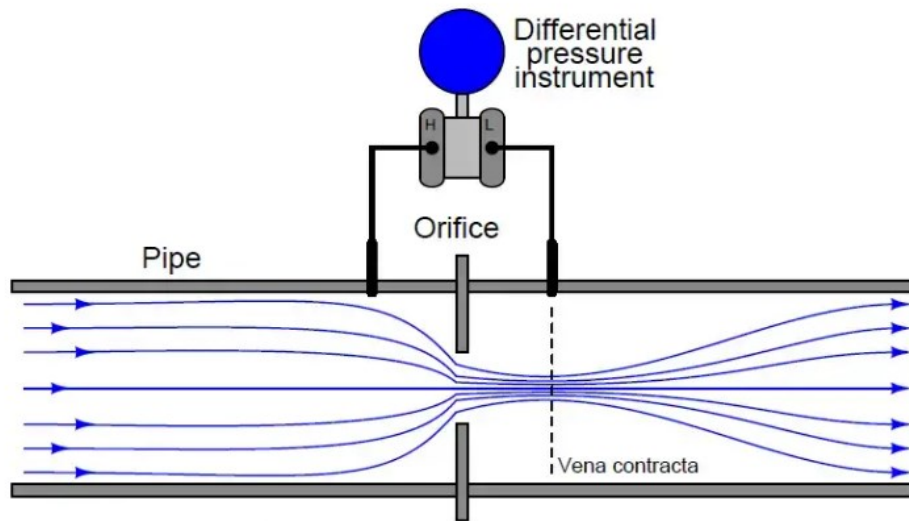


Virtausmittauksen valinnassa on otettava huomioon mittauksen aiheuttama painehäviö ja varmistaa mittausalueen riittävyys. Kuristukseen perustuvat mittaukset ovat yleensä luotettavimpia ja käytetyimpiä toteutustapoja, mutta lisäävät painehäviötä putkistoon ja näin ollen heikentävät energiatehokkuutta. Mittausalue kuristuslaippamittauksella on pienempi kuin 5:2, mutta virtauskertoimen reaaliaikaisen laskennan avulla voidaan mittausaluetta laajentaa jopa 40:1. Muuttuvalla kuristuslaippamittauksella mitta-alue on 70:1 tai joissain tapauksissa jopa 100:1. Vortex-mittarin mittausalue on 20:1. Esimerkiksi, jos mittarin maksimiarvo on 100 baaria ja mittausalue on 20:1, niin tällöin luotettava minipaine on 5 baaria (maksimiarvo/mittausalue), jota voidaan pitää luotettavana. Kun mitataan kylläisen höyryn massavirtausta, virtausnopeuden on pysyttävä alle 40 m/s. Mittaukset, jotka eivät perustu kuristukseen, edellyttävät putkistoon suorita ja pitkiä stabilisointiosuuksia. (Leskelä & Turunen 2012, 21–22.)

## 5.1 Yleisimmät virtausmittauslaitteet

### 5.1.1 Mittalaippa

Mittalaippa on eniten käytetty kuristuselin sen yksinkertaisuuden vuoksi. Mittalaippa asennetaan putkeen, jolloin virtaus kulkee supistuksen kautta. Tämä aiheuttaa paineen nousun ennen supistusta ja supistuksen jälkeen paine laskee, kuten kuvassa 9 ilmenee. Virtausmittaus mittalaipalla perustuu paine-eron mittaukseen mittalaipan molemmiin puolin. Paine-ero on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen, mikä tarkoittaa, että mitä suurempi virtausnopeus on, sitä suurempi on myös paine-ero. Mittaus perustuu pullistumaan paine-erolähtetimen sisällä. Paine johdetaan supistuksen kummaltakin puolelta lähtetimelle, joka muuttaa pullistuksen sähköiseksi 4–20 mA viestiksi. (Prosessin ohjaus 2019.)

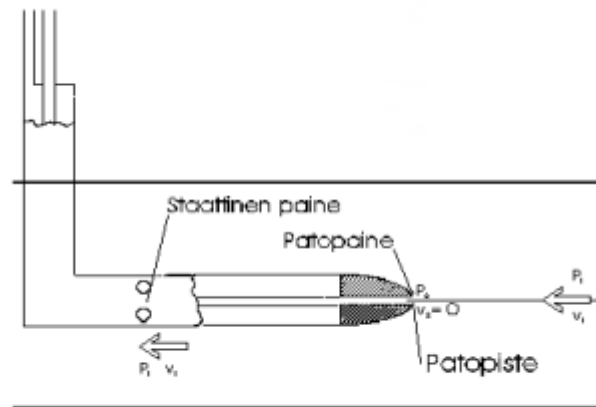


Kuva 9. Mittalaippa virtausmittauksessa (Kuphaldt n.d).

Mittalaippaa käytetään nesteen, kaasun ja höyryn virtausmäärän mittaukseen, koska se on edullinen ja helppo tapa. Haittapuolena on, jos mittauskohteessa on partikkeleita tai muita epäpuhtauksia, ne voivat kuluttaa mittalaippaa ja aiheuttaa epätarkkoja mittauksia. Tämän seurauksena lähetin tarvitsee kalibroida usein. (Prosessin ohjaus 2019.)

### 5.1.2 Pitot-putki

Pitot-putki on virtausmittari, jota käytetään nesteen tai kaasun virtausnopeuden mittaamiseen. Virtauksen mittaus perustuu staattisen ja dynaamisen paine-eron mittaamiseen, jonka avulla virtausnopeus voidaan laskea. Yleensä pitot-putken tuottama paine-ero muunnetaan paine-erolähettimen avulla sähköiseksi signaaliksi, joka vastaa mittauspisteiden välillä vallitsevaa paine-eroa. (Wika n.d.)

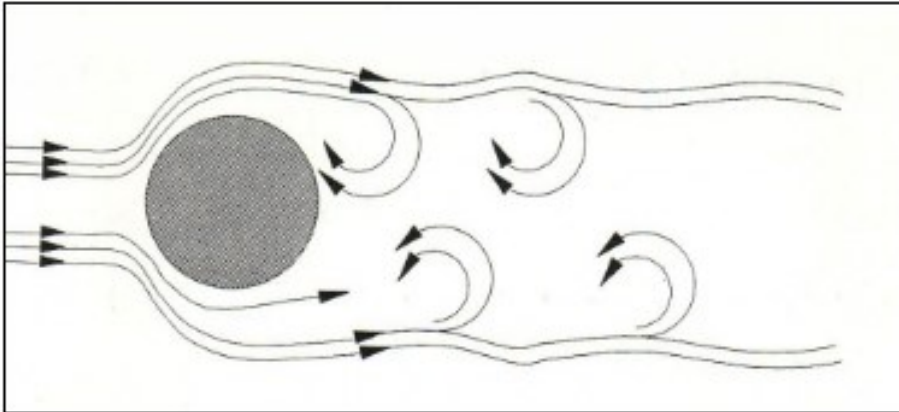


Kuva 10. Pitot-putki (Putkistovirtausmittauksia, 7).

Pitot-putkella virtausnopeutta mitattaessa, sen akselin tulee olla samansuuntainen kuin virtaus, jotta mittaus olisi tarkka. Lisäksi virtaus ei saa aiheuttaa putken värähtelyä ja virtaavan aineen pitäisi olla riittävän puhdasta. Pitot-putki aiheuttaa vain vähän painehäviöitä putkistoissa ja se on edullinen virtausnopeuden mittausmenetelmä isoille putkille. (Putkistovirtausmittauksia, 6–7.)

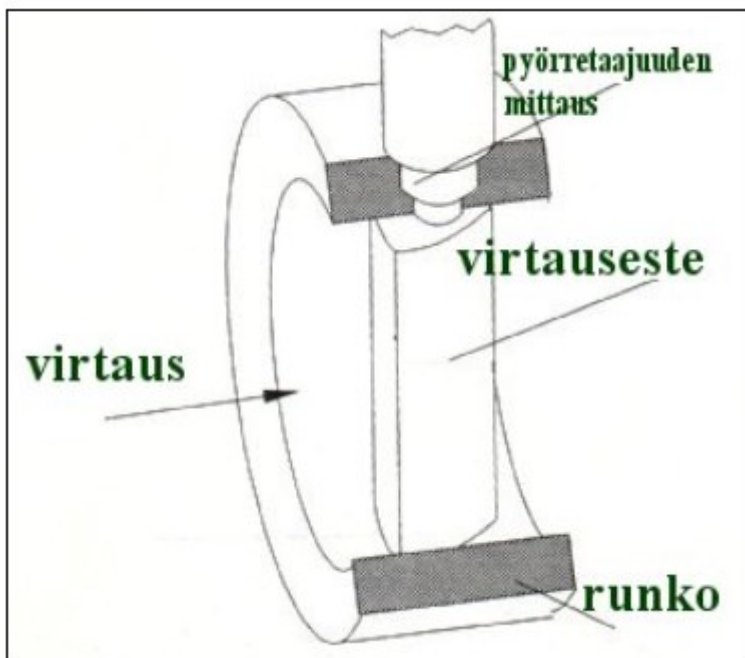
### 5.1.3 Vortex -mittaus

Vortex-mittaus, jota kutsutaan myös pyörrevirtausmittaukseksi, perustuu virtauksen aiheuttamien pyörteiden havaitsemiseen. Vortex-mittarin sisällä, keskellä putkea on virtauseste, bluffirunko, jonka taakse alkaa syntyä pyörteitä, kun virtausnopeus saavuttaa tietyn arvon. Kuvassa 11 on havainnollistettu pyöreän esteen taakse muodostuvat pyörteet. Bluffirungon molemmilla puolilla irronneet pyörteet aiheuttavat vuorotellen paikallisia painevaihteluita. Nämä painevaihtelut havaitaan ja muutetaan digitaaliseksi lineaariseksi signaaliksi kapasitiivisen anturin avulla. Virtauksen keskinopeuden ja tilavuusvirran välillä on suora verrannollisuus pyörteiden irtoamistaajuuden kanssa. (Vortex-virtausmittarit 2023.)



Kuva 11. Pyöreän virtausesteen muodostamat pyörrevanat (Frondeius 2005).

Virtausesteen ollessa pyöreä poikkileikkaukseltaan, pyörteet irtoavat vuorotellen esteen vastakkaisilta puolilta. Tätä ilmiötä kutsutaan myös Karmanin pyörteiksi. Virtauseste voi olla muodoltaan myös kolmio. (Frondeius 2005.)

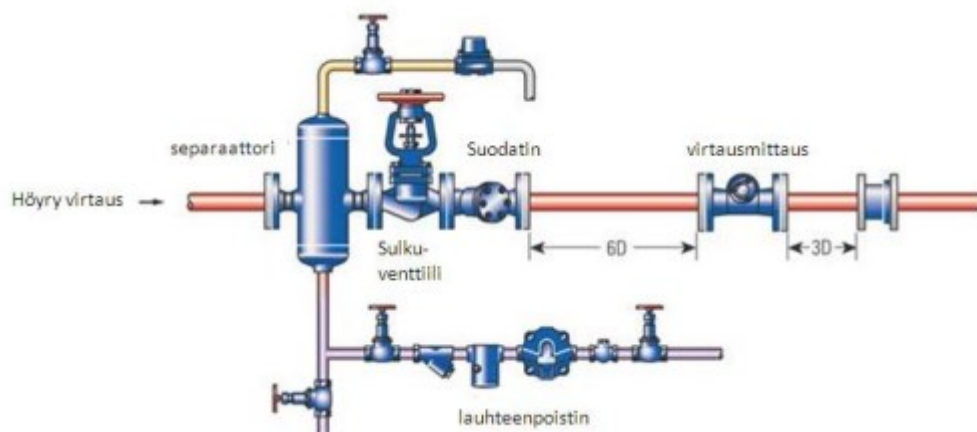


Kuva 12. Vortex-mittarin rakenne (Frondeius 2005).

Vortex -mittareita käytetään kaasujen, nesteiden ja höyryn tilavuusvirtauksen mittaamiseen monilla teollisuuden aloilla. Lisäksi lämpötilan, paineen, tiheyden ja viskositeetin muutoksilla on vain vähäinen vaikutus mittaukseen. Vortex -mittarin pitkän aikavälin vakaus on suuri ja se toimii laajalla lämpötila-alueella. (Vortex-virtausmittarit 2023.) Pyörrevanamittauksella voidaan myös mitata massavirtaa monimuuttujaratkaisun avulla, jossa hyödynnetään virtausanturin lisäksi lämpötila-, nopeus- ja paineantureita. Anturit asennetaan suoraan prosessiputkistoon tai kanavaan, tai vaihtoehtoisesti kanavan sisään työnnettävänä versiona. (Kukkonen 2002, 3.)

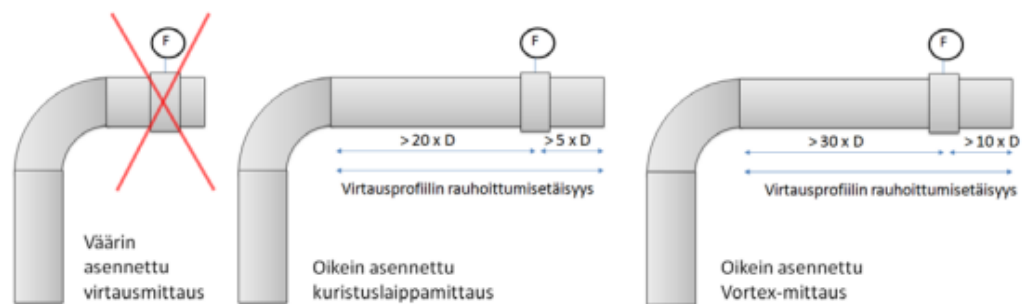
## 5.2 Virtausmittauksen sijoittaminen prosessissa

Paineen ja lämpötilan mittaus on sijoitettava virtausmittauksen yhteyteen mittavirheiden kompensoimiseksi. Niiden avulla saadaan kalibroitua ja kompensoitua höyryn virtausmäärä vallitseviin olosuhteisiin. Lauhteenpoistin on myös tarpeen sijoittaa ennen höyryn virtausmittausta, sillä höyryn kosteus heikentää mittauksen paikkansapitävyyttä. Virtausmittauksia voidaan sijoittaa vaaka- sekä pystyputkeen, mutta pystyputkeen sijoitettuna, virtauksen tulisi kulkea ylöspäin.



Kuva 13. Virtausmittauksen sijoittaminen putkistoon (Leskelä & Turunen 2012, 26).

Virtausmittauksia asennettaessa putkistoon on huomioitava, että virtaus ehtii tasaantua ennen mittausta. Jos mittauspiste on liian kovassa virtauksessa, on vaikea korjata mittausrvirhettä riittävän tarkasti kompensoinnilla. Kuvassa 14 on esitetty pienin asennus etäisyys mutkasta virranrauhottumista varten. Virtausmittauksen edellyttämät putkisupistukset on toteutettava epäkeskeisesti, jotta lauhde ei aiheuta häiriöitä mittaauksessa. (Leskelä & Turunen 2012, 26.)



Kuva 14. Virtausprofiilin vaadittava rauhoittumisetäisyys. D kuvaa putken halkaisija (Leskelä & Turunen 2012, 26).

## 6 Vortex -mittarin soveltuvuus

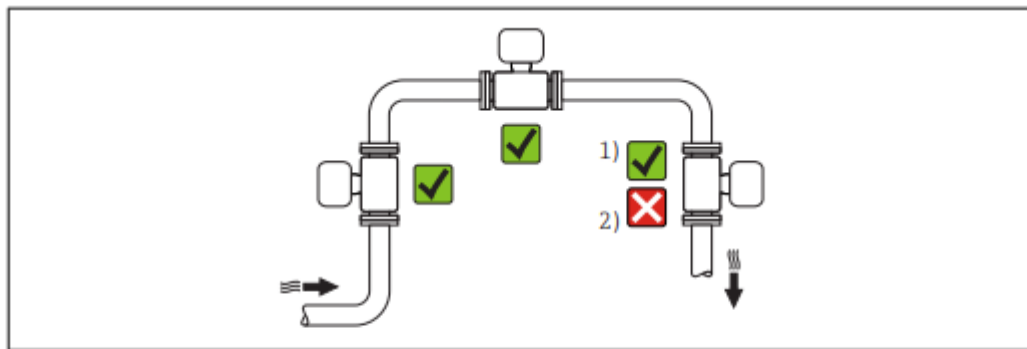
### 6.1 Tilanne

Opinnäytetyössä tarkasteltavassa tapauksessa on Steamrator:n valmistama vesiputkirakenteinen läpivirtauskattila Stream 4500 höyrykehitin. Sen höyryntuotto maksimissaan 4500 kg/h syöttöveden lämpötilan ollessa 100°C. Höyrynpaine lähtevässä höyrylinjassa on 10 baaria ja suunnittelupaine eli varoventtiilin avautumispaine on 16 baaria.

Höyrykattilasta lähtee 4500 kg/h höyryä 10 baarin paineella höyryjakeluyksikköön. Jakeluyksikön alku- ja loppupäässä on lauhteenpoistajat, jotka erottavat höyryputkistossa syntyneen lauhteen. Lauhde johdetaan tämän jälkeen lauhdesäiliöön. Painemittarit höyrylinjassa ovat sijoiteltu ennen ja jälkeen paineensäätöventtiiliä, millä tarkistetaan oikeat paineet ja paineensäätöventtiilin toiminta. Paineensäätöventtiilillä paine alennetaan 3 baariin ja höyryn lämpötila mitataan vielä ennen jakotukkia. Jakotukista lähtee kolme linjaa eri käyttökohteille. Höyryputki on DN125 ja höyryä kulkee putkessa 2750 kg/h kolmen baarin paineella.

### 6.2 Vortex -mittarin asennus

Vortex -mittari voidaan asentaa vaaka- tai pystyputkeen höyryä ja kaasua mitattaessa. Nesteiden kohdalla, mittarin voi sijoittaa vaakaputkeen ja pystyputkeen, jos pystyputkessa virtauksen kulkusuunta on ylöspäin. (Endress+Hauser 2020, 44.)



- 1) Installation suitable for gases and steam; the measuring device must be installed upside-down in a horizontal pipe if the order code for "Application package", option ES "Wet steam detection" or EU "Wet steam measurement" is used
- 2) Installation not suitable for liquids

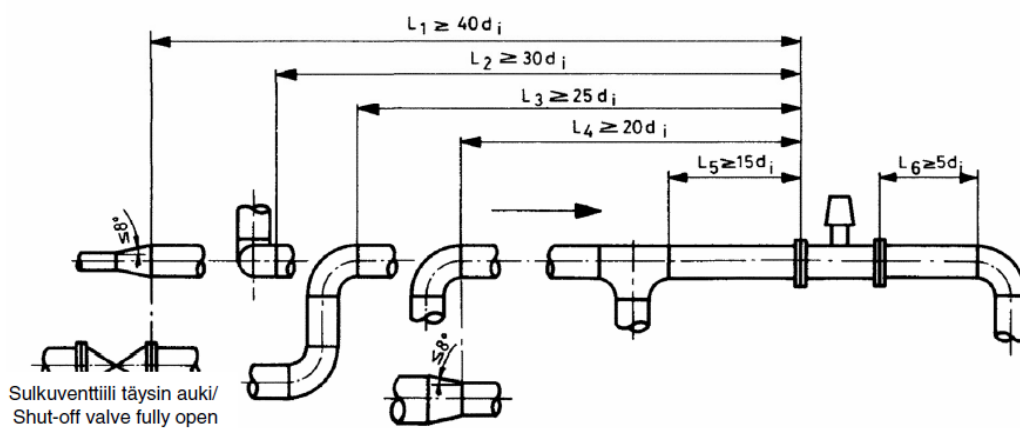
Kuva 15. Vortex -mittarin asennuspaikka (Endress+Hauser 2020, 44).

Asennuksessa tulee ottaa huomioon mahdolliset putkiston mutkat ennen mittaria. Pienin etäisyys 90 asteen mutkan jälkeen mihin mittarin voi sijoittaa on 20xDN. Tässä tapauksessa mittari tulisi asentaa vähintään 2,5 metrin päähän mutkasta (20x125mm). Lisäksi täytyy jättää ns. tyhjää tilaa mittarin jälkeen ennen seuraavaa komponenttia 5xDN. (Endress+Hauser, 47.)

SFS 5059 -standardin mukaan: (SFS 5059 2023)

- mittarin tulo- ja jättöpuolelle on jätettävä kuvan 16 mukaiset häiriöttömät putkiosuudet, joiden pitää olla mittarin nimelliskokoa.
- Mittari pitää sijoittaa ennen säätöventtiiliä tai muita osittain suljettuja venttiileitä.
- Mittari pitää sijoittaa paikkaan, jossa ei esiinny virtauskykyä eikä putkistovärähtelyä.
- Mittari voidaan asentaa vaaka- tai pystyputkeen.
- Putkisto tuetaan siten, että mittari voidaan tarvittaessa irrottaa.
- Mittarin kohdistuvien vesi-iskujen välttämiseksi tulee höyryputkistoon järjestää lauhteen poisto.





Kuva 16. Tarvittavat häiriöttömät putkiosuudet (SFS 5059 2023).

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön aiheena oli kartoittaa mahdollisia ongelmia vortex -virtausmittarin asennuksessa. Tavoitteena oli varmistaa mittarin soveltuvuus ja asennukseen liittyvien toimenpiteiden täyttyminen. Yleisin tapa mitata höyryn virtausta on vaakaputkeen sijoitetulla mittarilla. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan haluttu lähtemään tekemään putkilinjaa ylimääräisiä lenkkejä vaaka-asennuksen mahdollistamiseksi.

Teoriaosiossa käsiteltiin höyryjärjestelmää ja virtausmittaukseen liittyviä toimenpiteitä. Teoriaosuus antoi työlle pohjan, minkä avulla voitiin tehdä johtopäätös vortex-mittarin soveltuvuudesta.

Opinnäytetyön selvityksen perusteella ei ilmennyt esteitä, miksei vortex -mittari soveltuisi asennettavaksi alaspäin virtaavaan pystyputkeen. Teoriaosuudessa läpikäytyt vaadittavat toimenpiteet, täyttyvät kyseissä kohteessa.

Asennuspaikkaa valittaessa on varmistettava, että kaikki standardit ja suositukset toteutuvat luotettavan mittaustuloksen takaamiseksi.

Tämän työn haasteena oli entuudestaan vieras aihe sekä löytää luotettavia lähteitä alaspäin virtaavaan höyryn virtausmittaukseen. Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja antoi paljon uutta ja hyödyllistä tietoa, mikä on hyödyksi tulevaisuudessa. Opinnäytetyölle oli tarvetta yritykselle, sillä toimeksiantaja pohtii virtausmittarin mahdollista jälkiasennusta kohteeseen.

## Lähteet

Atlas Copco n.d. Höyryn perusteet: Kyllästetty kuiva höyry vs. kyllästämätön kostea höyry. Verkkosivu. Viitattu 10.04.2023. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/rental/resources/industrial-steam-guide-temperature-control/basics/saturated-vs-unsaturated-steam-types>

Endress+Hauser 2020. Proline Prowirl F 200. Dokumentti. Viitattu 08.05.2023. <https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-h%C3%B6yryn-virtausmittaus/vortex-flowmeter-prowirl-f200-7f2c?t.tabId=product-downloads>

Engineering calculator n.d. TLV. Verkkosivut. Viitattu 08.05.2023. <https://www.tlv.com/global/TI/calculator/>

Energytech 2023. Vesi-isku, mikä se on? Energytech Finland Oy. Blogi. Viitattu 19.04.2023. <https://www.energytech.fi/vesi-isku-mika-se-on>

Federley, J. 2009. Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. Koulutusmateriaali. Päivitetty 2015. Motiva Oy. Viitattu 11.04.2023. [https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas\\_hoyry-\\_ja\\_lauhdejarjestelma\\_VERKKOKOULUTUSAINEISTO\\_2015.pdf](https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry-_ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf)

Fimpec 2023. Yritysesittely. Fimpec:n intranet. Viitattu 10.05. Vaatii käyttöoikeuden. <https://fimpecoy.sharepoint.com/sites/intra-yritys/SitePages/Yritysesittelyt.aspx>

Frondelius, L. 2005. Vortex -virtauksen mittaus. Keuda verkko-opisto, Moodle. Viitattu 07.05.2023. <http://moodle.keuda.fi/kansiot/koulu/MITTAUS/VORTEX/vortex-mittaus.htm>

Huhtinen, M. Kettunen, A. Nurminen, P. Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

Kukkonen, A. 2002. Virtausmittausmenetelmiä. Automaatioseura. Viitattu 07.05.2023. [http://automaatioseura.planeetta.com/index/tiedostot/4\\_1\\_2\\_04.pdf](http://automaatioseura.planeetta.com/index/tiedostot/4_1_2_04.pdf)

Kuphaldt, T. n.d. Facts About Orifice Flow Meters. Viitattu: 05.05.2023 [https://instrumentationtools.com/facts-about-orifice-flow-meters/?utm\\_content=cmp-true](https://instrumentationtools.com/facts-about-orifice-flow-meters/?utm_content=cmp-true)

- Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011. Höyry-lauhdesiirtojärjestelmä. Helsinki: Motiva Oy. Viitattu 10.04.2023.  
[https://www.motiva.fi/files/4893/HOLA\\_kaytto-kunnossapito\\_ohjeistus\\_2011.pdf](https://www.motiva.fi/files/4893/HOLA_kaytto-kunnossapito_ohjeistus_2011.pdf)
- Leskelä, M. & Turunen, T. 2012. Höyry- lauhdesiirtojärjestelmän energiatehokkuuden mittaussopas. Helsinki: Motiva. Viitattu 05.05.2023.  
[https://www.motiva.fi/files/6319/Hoyry-\\_lauhdesiirtojarjestelman\\_energiatehokkuuden\\_mittaussopas\\_verkkoon.pdf](https://www.motiva.fi/files/6319/Hoyry-_lauhdesiirtojarjestelman_energiatehokkuuden_mittaussopas_verkkoon.pdf)
- Paroc Oy Ab 2019. Talotekniikan eristykset Asennusopas. Viitattu 02.05.2023.  
<https://www.paroc.fi/> (työkalut ja dokumentit -> esitteet -> talotekniikka -> talotekniikan eristyksen Asennusopas.)
- Prosessin ohjaus 2019. Keuda verkko-opisto, Moodle. Verkkomateriaali. Viitattu 05.05.2023. <https://pinja.keuda.fi/mod/page/view.php?id=351407>
- Putkistovirtausmittauksia 2009. Jyväskylän yliopisto. Laboratoriotyö. Viitattu 18.04.2023.  
<https://www.jyu.fi/science/fi/fysiikka/opiskelu/tyoosasto/syventavien-opintojen-laboratoriotyot/virtausmekaniikka/putkistovirtausmittauksia.pdf>
- SFS 5059 2023. Instrumentointi. Instrumenttien sijoittaminen prosessiin. 2. painos. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 10.05.2023.
- Spirax sarco n.d. Vähennä käyttökustannuksia tehokkaalla lauhteen talteenotolla. Verkkosivut. Viitattu 18.04.2023.  
<https://www.spiraxsarco.com/global/en-FI/ajankohtaista/condensate-recovery>
- Vortex-virtausmittarit 2023. Endress+hauser Oy. Verkkosivut. Viitattu 07.05.2023. <https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/nesteiden-kaasujen-h%C3%B6yryn-virtausmittaus/vortex-virtausmittarit>
- Wermac n.d. Steam system expansion. Verkkosivut. Viitattu 03.05.2023.  
[https://www.wermac.org/steam/steam\\_part10.html](https://www.wermac.org/steam/steam_part10.html)
- WIKA n.d. WIKA Finland Oy. Verkkosivut. Viitattu: 18.04.2023.  
[https://www.wika.fi/flc\\_apt\\_e\\_flc\\_apt\\_f\\_fi\\_fi.WIKA](https://www.wika.fi/flc_apt_e_flc_apt_f_fi_fi.WIKA)
- ZBG boiler n.d. Verkkosivut. Viitattu 18.04.2023.  
<https://www.zbgboiler.com/Info/wet-back-fire-tube-boiler-for-sale.html>