



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Juho Virolainen

Virtaustestilaitteistojen vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

7.5.2020

Tekijä Otsikko	Juho Virolainen Virtaustestilaitteistojen vertailu
Sivumäärä Aika	26 sivua 22.1.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Kone- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Operations Quality Manager Markku Juusti Lehtori Heikki Paavilainen
Insinöörityö tehtiin Marioff Oy:lle, joka valmistaa vesisumuihin perustuvia sprinklerijärjestelmiä laivoihin ja rakennuksiin. Työssä vertailtiin erään sprinklerityypin erilaisia testijärjestelmiä tavoitteena varmistaa järjestelmien luotettavuus. Lisäksi pyrittiin selvittämään sprinklereistä löydettyjen toimintaparametrien muutosten juurisyyt. Vertailu testijärjestelmien kesken kohdistui kahteen Marioff Oy:llä käytössä olevaan virtaustestijärjestelmään, joista toinen on tuotannon ja toinen tuotekehityksen käytössä. Vertailu suoritettiin sprinklerimallilla, jonka toiminnassa on havaittu poikkeavuuksia. Ensin laadittiin testisuunnitelma, jonka mukaan testit suoritetaan. Tämän jälkeen suoritettiin varsinaiset testaukset, jotta saatiin tarvittava data sprinklerityypistä ja virtaustestilaitteistosta. Tutkimuksessa huomioitiin eri valmistuserät ja jo valmiiksi hylättyjä kappaleita, jotka saatiin laatuklinikalta. Tuloksia analysoitiin ja alettiin tekemään vertailua testien vastaavuuksista ja luotettavuudesta. Saatujen tuloksien perusteella alettiin tekemään tutkimuksia myös kyseiselle sprinklerityypille, jotta mahdolliset juurisyyt arvojen vaihtelulle pystyttäisiin selvittämään. Tutkimukset sisälsivät kappaleen arvioitujen vaikuttavien mittojen mittaamista tarvittavilla mittausvälineillä. Insinöörityön tuloksena pystyttiin selvittämään juurisyy K-arvon vaihteluihin ja tehtyä vertailu virtaustestilaitteistojen välille.	
Avainsanat	Virtaustestilaitteisto, sprinkleri, K-arvo,

Author Title	Juho Virolainen Virtaustestilaitteistojen vertailu
Number of Pages Date	26 Pages 22 January 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Industrial Engineering
Instructors	Operations Quality Manager, Markku Juusti Lecturer, Heikki Paavilainen
A variation in the measurement of a key operating parameter has been observed with a particular model of sprinkler nozzle. The final thesis focuses on the comparison between different test systems and seeks to ensure their reliability. The comparison focused on ensuring the reliability of the test systems and conducting a root cause analysis of changes in operating parameters found in sprinklers. The comparison between the test systems focuses on two flow pressure systems used by Marioff Oy, one for production and one for product development. The comparison was made with a particular sprinkler model. First, a test plan was designed to run the test. The actual tests were performed to obtain the required data from the sprinkler type and flow test equipment. The study took into account different batches and pre-disposed pieces from a quality clinic. The results were analyzed and comparisons of test equivalents and reliability were started. Based on the results obtained, studies were also started on this type of sprinkler to determine the possible root causes the range of values. The studies included measuring the estimated effective dimensions of the section with the necessary measuring tools .	
Keywords	Flow pressure system, sprinkler, K-value

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sprinklerin laadunvarmistus	2
2.1	Materiaalin vastaanottotarkastus	2
2.2	Tuotteen koneistus	4
2.3	Tuotteen kokoonpano ja testaus	5
2.4	Standardoitu työ	6
3	Testaus	7
3.1	Tutkimuksen tarkoitus	8
3.2	Keravan virtaustestilaitteisto	8
3.3	Vantaan virtaustestilaitteisto	10
3.4	Näytteet	11
3.5	Mittaukset	11
3.6	Hylättyjen kappaleiden tarkastelu	12
4	Tulokset ja niiden tarkastelu	13
4.1	Keravan virtaustestilaitteiston toistettavuus	14
4.2	Virtaustestilaitteistojen vertailu	15
4.3	K-arvon vertailu eri paineella	18
4.4	Kappaleiden fyysiset mittaukset	19
5	Johtopäätökset	22
5.1	Laitteistojen vastaavuuden parantaminen	22
5.2	Hylätyt kappaleet	Error! Bookmark not defined.
6	Yhteenveto	Error! Bookmark not defined.
	Lähteet	26

Lyhenteet

CEN	<i>European Committee for Standardization</i> . Järjestö, jonka päätehtävänä on edistää eurooppalaista standardisointia.
EFTA	<i>European Free Trade Association</i> . Euroopan vapaakauppajärjestö.
EN	<i>European Standard</i> . Euroopassa vahvistettu standardi.
LSL	<i>Lower Specification Limit</i> . Kriittinen alempi toleranssiraja tuotteen toimivuuden kannalta.
SFS	<i>Finnish Standards Association</i> . Suomessa vahvistettu standardi.
USL	<i>Upper Specification Limit</i> . Kriittinen ylempi toleranssiraja tuotteen toimivuuden kannalta.
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i> . Alkuaineen määrityksessä käytetty röntgenfluoresenssispektroskopia.

1 Johdanto

Tämä insinöörityö keskittyy vertailuun erilaisten virtauslaitetestijärjestelmien välillä ja pyrkii varmistamaan niiden luotettavuuden. Työ tehdään Marioff Corporation Oy:lle, ja vertailu keskittyy kahteen virtaustestilaitteistoon, jotka ovat Marioff Oy:llä toinen tuotannon ja toinen tuotekehityksen käytössä. Virtaustestilaitteistojen välillä tehdään vertailu, jotta pystytään määrittelemään vastaavuus testeissä. Myös tulosten toistettavuutta tullaan tutkimaan. Tutkimuksessa selvitetään myös erään sprinklerityypin vaihtelun syytä. Näin työssä pyritään tekemään juurisyyanalyysejä näiden erojen selvittämiseksi. Työ on laadunvarmistuspainotteinen ja se tehtiin vahvasti yhteistyössä laatutiimin kanssa.



Kuva 1. Marioff Corporation Oy HI-FOG (Marioff kuvapankki).

Marioff Corporation Oy (kuva 1) on suomalaisen Göran Sundholmin vuonna 1985 perustama yritys. Se on nykyisin osa Carrier konsernia. Yritys työllistää yhteensä noin 400 henkilöä ympäri Eurooppaa. Marioff valmistaa vesisummuun perustuvia sprinklerijärjestelmiä laivoihin ja rakennuksiin. Yrityksen lanseeraama Hi-Fog-vegisammutusjärjestelmä sammuttaa palot tehokkaammin kuin perinteiset sammutusjärjestelmät käyttäen hyödyksi hienojakoista vesisumua. Näin veden kulutus on huomattavasti pienempää, kuin perinteisessä sprinklerijärjestelmässä, jolloin saavutetaan myös parempi soveltuvuus erilaisiin kohteisiin. Analyysissä käytettävä sprinklerimalli on automaattinen ampullilla toimiva sprinkleri. Sprinkleri aktivoituu ampullin rikkouduttua lämmön nousun seurauksena. Perinteisessä sprinklerijärjestelmässä koko alue aktivoituu palon sattuessa, jolloin vesivahingot ovat suuria. Hi-Fog-vegisammutusjärjestelmässä ainoastaan sprinkleri, jonka

ampulli on rikkoutunut, aktivoituu. Näin vesivahingon mahdollisuus on huomattavasti pienempi, kuin perinteisessä järjestelmässä. Hi-Fog-järjestelmää voidaan käyttää myös esimerkiksi rasvakeitinpalojen sammuttamiseen. Yhtiön suurimmat asiakkaat ovat laivayhtiöt, hotellit, ravintolat ja datakeskukset.

2 Sprinklerin laadunvarmistus

Kappaleessa käsitellään sprinklerin valmistusta laadunvarmistuksen näkökulmasta ja käydään läpi tärkeitä työkaluja, joita tarvitaan laadunvarmistusketjussa.

2.1 Materiaalin vastaanottotarkastus

Materiaalin saapuessa tehtaalle on sille tehtävä vastaanottotarkastus. Materiaalin vastaanottaminen tilattuun tavaraan varmistetaan toimittajalta saadun materiaalitodistuksen perusteella. Tilattujen tuotteiden tulee olla merkitty oikein, jotta erä voidaan jäljittää mahdollisten ongelmatilanteiden sattuessa. Joissain tapauksissa tilaaja voi vaatia vielä erillisen todistuksen toimittajan toimittaman materiaalitodistuksen lisäksi. Tällaisissa tilanteissa analyysi voidaan tilata tehtaan ulkopuoliselta taholta tai analysoida materiaali tehtaan sisäisesti esimerkiksi kuvassa 2 näkyvän XRF-laitteen avulla.



Kuva 2. Niton XL3t XRF -analysaattori (Thermofisher)

XRF-analysaattorin toiminta perustuu röntgenfluoresenssiin, joka on fysikaalinen ilmiö. Laite sisältää komponentteina röntgenputken ja detektorin, jotka mahdollistavat kyseisen ilmiön aktivoitumisen ja mittauksen. Menetelmä perustuu atomien elektronien virittymiseen korkeampaan energiatilaan röntgensäteilyn absorptiossa. Pienimmät käsi käyttöiset analysaattorit pääsevät muutaman ppm:n tarkkuuksiin CO-pitoisuudessa terästä mittaessa (Holger Hartmann 2019)

Marioffille toimitettavissa materiaalitodistuksissa käytetään pääasiassa SFS-EN 10204 -standardia. Kyseinen standardi on laadittu Euroopan komission ja EFTAn CENin antaman valtuutuksen perusteella ja on käytössä kaikissa Euroopan jäsenmaissa. Kyseisessä standardissa esitetään kaikkien metallituotteiden ainetodistusten eri tyypit, jotka tulee toimittaa ostajalle toimituksen yhteydessä. Standardin käytössä sovelletaan taulukon 1 mukaisia termejä ja määritelmiä.

Taulukko 1. EN 10204 -standardin termit ja määritelmät (EN 10204 Certificate Types 2004).

2.1 valmistusmenetelmäkohtainen tarkastus	Valmistajan jatkuvan laadunvalvonnan yhteydessä suorittama tarkastus, jolla vahvistetaan täyttävätkö saman tuotespesifikaation mukaiset ja samalla menetelmällä valmistetut tuotteet tilauksen vaatimukset
2.2 toimituseräkohtainen tarkastus	Ennen toimitusta tapahtuva tuotteiden tuotespesifikaation mukainen tarkastus, jolla toimituserä tai koetuserä, jonka osa toimituserä on, täyttää laatuvaatimukset
2.3 Valmistaja	Organisaatio, joka valmistaa tuotteet tilauksen ja viitatus tuotespesifikaation vaatimusten mukaisesti.
2.4 Jälleenmyyjä	Organisaatio, jolle valmistaja on toimittanut tuotteet ja joka toimittaa ne edelleen ilman jatkokäsittelyä tai jatkokäsittellen, ne muuttamatta tilauksessa ja viitatussa tuotespesifikaatiossa määritellyjä ominaisuuksia.
2.5 tuotespesifikaatio	Kirjallisessa muodossa esitettävät tilausta koskevat täydelliset tekniset vaatimukset, esim, määräykset, standardit ja muut spesifikaatiot
3.1 Laatuvaakuutus "tyyppi 2.1"	Asiakirja, jossa valmistaja vakuuttaa toimitettujen tuotteiden olevan tilauksen mukaisia

2.2 Tuotteen koneistus

Koneistuksella tarkoitetaan lastuavaa työstöä, ja se on yksi eniten käytetyistä valmistusmenetelmistä. Koneistus voidaan jakaa kahteen päätyövaiheeseen: rouhinta ja viimeistely. Rouhinnassa poistetaan kappaleesta suuria ainemääriä, minkä jälkeen kappale viimeistellään mittatarkkuuteen ja haluttuun pinnanlaatuun. (Maaranen, 2007.)

Kun koneen käyttäjä aloittaa uuden valmistuserän tekemisen, hän varmistaa materiaalin valmistuserän ja merkitsee sen järjestelmään, jotta jäljitettävyyksensä kyseiseen erään säilyy. Ongelmatilanteiden varalta on tärkeää, että mahdollinen hylätty erä pystytään jäljittämään materiaalin valmistuserään. (Laatuinsinööri, 2019.)

Koneen käyttäjä tekee sprinklerin runkoihin mittaukset mittapöytäkirjan mukaisesti. Mittapöytäkirjaan on merkitty vaadittavat toleranssit ja mittaustarpeet. Mitattavat kappaleet valitaan säännöllisillä näytteenotoilla, mikä riittää SPC-menetelmän käytön yhteydessä.

Kun tarvittavat toleranssit on varmistettu, voidaan erä lähettää tuotantoketjussa eteenpäin. (Laatuinsinööri, 2019.)

2.3 Tuotteen kokoonpano ja testaus

Kun sprinklerit on kokoonpantu tuotantolinjalla työohjeiden mukaisesti, tehdään niille virtausarvomittaus eli K-arvotesti. K-arvo on virtaus jaettuna paineen neliöllä (kaava 1) ja sillä mitataan kuinka paljon vettä menee läpi tässä tapauksessa sprinkleristä. K-arvo on kriittinen elementti, kun mietitään järjestelmän toimintaa tulipalon sammutuksen kannalta. K-arvo vaihtelee paljon sprinklerityyppien välillä. Erilaisia virtaamia tarvitaan käyttöpaikasta ja suojattavasta tilasta riippuen. Tutkimuksessa käytetyn sprinklerin K-arvo on suhteellisen suuri verrattuna muihin sovelluksiin.

Tuotannossa on erillinen testilaitte K-arvon mittaukseen. Tuotannon testilaitte laskee automaattisesti K-arvon siinä olevan ohjelmiston avulla. K-arvo voidaan myös laskea kaavalla:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (1)$$

jossa

K = K-arvo

Q = Virtaus

P = Paine

Kun K-arvon on todettu olevan toleranssien sisällä, voidaan suorittaa loppukokoonpano. Loppukokoonpanossa asennetaan ampulli. Tämän jälkeen sprinklerit menevät painetestiin. Sprinklereitä testataan 210 baarin paineessa. Painetestillä varmistetaan, ettei sprinkleri vuoda. Kaikkien testien jälkeen hyväksytyt erät laitetaan laserleimaukseen, jonka jälkeen robotti tarkistaa kaikki sprinklerit. Robotti tarkistaa, että sprinklerissä on oikean rikkoutumislämpötilan omaava ampulli ja leimaus on paikallaan. (Laatuinsinööri, 2019.)

2.4 Standardoitu työ

Standardoitu työ (*Standard Work*) kuuluu Lean-työkaluihin ja sitä käytetään laadun parantamiseen. Lean on laatujohtamisen soveltamista tuottamiseen. Lean-filosofia perustuu kokonaisuuden optimointiin, jotta voidaan tuottaa asiakkaalle arvoa parhaalla mahdollisella tavalla tuottajan tarpeet huomioiden. (Quality Knowhow Karjalainen Oy, 2019).

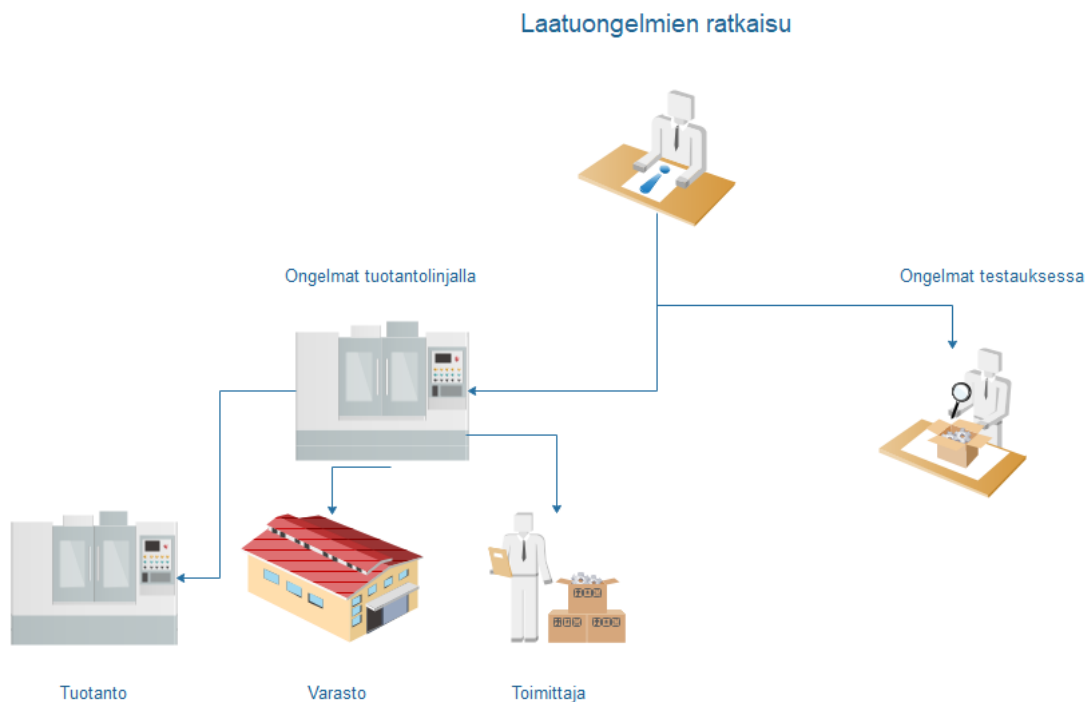
Standardoitu työ pohjautuu vahvasti dokumentointiin parhaista tunnetuista käytännöistä. Se mahdollistaa hyvän pohjan jatkuvalle kehittymiselle (*Kaizen*). Kun standardia parannetaan, tulee siitä vertailukohta tuleville parannuksille. Standardoitu työ perustuu kolmeen peruselementtiin, jotka ovat *takt time*, tarkka työjärjestys ja inventaario.

Takt time tarkoittaa aikaa, jolla tuotteet on valmistettava prosessissa. Tämän ajan tulee vastata asiakkaan vaatimuksia.

Tarkka työjärjestys määrittelee operaattorin tekemät työtehtävät. Näille on määritelty myös läpimenoajat.

Inventaariossa varmistetaan prosessin sujuvuus, tämä koskee koko tuotteen läpimenoaikaa ja kaikkia siinä käytäviä prosesseja.

Standardoitu työ perustuu tietojen keräämiseen ja dokumentointiin muutaman lomakkeen avulla. Ongelmien ratkaisussa käytetään kuvan 3 mukaista mallia. Dokumentoinnin hoitaa pääasiallisesti laatutiimi ja tuotannon insinöörit. Myös operaattorit ovat vahvasti mukana dokumentoinnissa, jotta prosesseja voidaan helpottaa ja nopeuttaa. Selkeimmät hyödyt ovat dokumentoinnin helpottuminen, prosessien selkeytyminen ja uusien työntekijöiden helpompi kouluttaminen. (The Lean Enterprise Institute Inc, 2019.)



Kuva 3. Määrittely Laatuongelmien ratkaisun jaottelusta.

Jokaiselle työvaiheelle on määritelty omat vastuualueet. Nämä voidaan jakaa esimerkiksi laatutiimin kesken. Kuvan 3 mukaan vastuualueet on jaettu tuotantoon, varastoon, toimittajille ja ongelmiin testauksessa. Jokainen tiimin jäsen vastaa omasta vastuualueestaan ja raportoi tuloksista ja huomioista.

3 Testaus

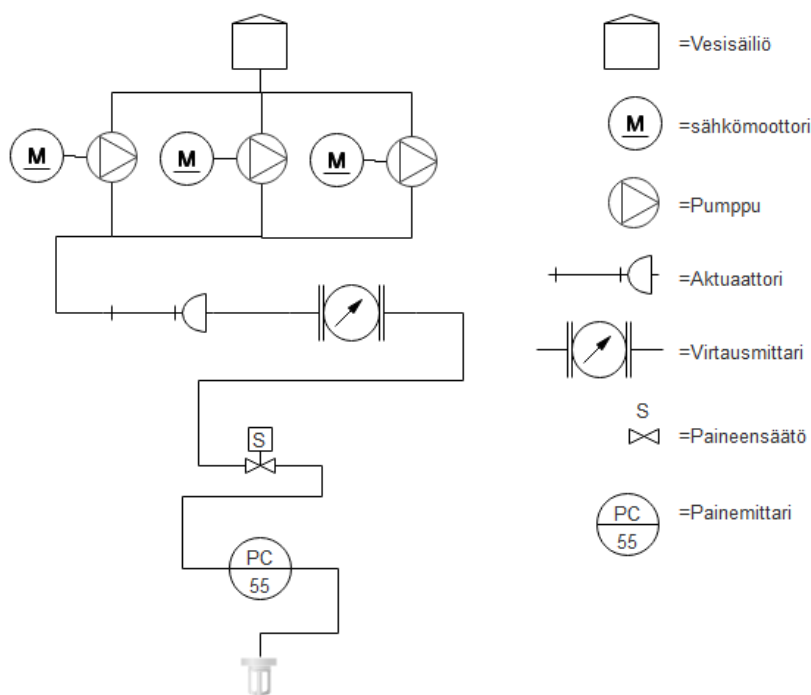
Insinööritö keskittyy vertailuun erilaisten käytössä olevien virtaustestijärjestelmien välillä ja pyrkii varmistamaan niiden luotettavuuden.

3.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksessa vertaillaan testilaitteistojen toistettavuutta ja vertaillaan mittaustuloksia keskenään. Tavoitteena on todeta laitteistot toisiaan vastaaviksi ja luotettaviksi. Jos tarvetta muutoksille havaitaan, laaditaan testilaitteistoihin muutossuositukset. Tämän lisäksi tehdään mittaustuloksiin ja haastatteluihin perustuva juurisyyanalyysi sprinklerien mittauservojen vaihtelulle. Ennen testejä tehdään vertailu laitteistoiden välisistä eroista, koska eroavaisuudet voivat vaikuttaa testien tuloksiin.

3.2 Keravan virtaustestilaitteisto

Keravan testipenkki laskee suoraan ohjelman avulla K-arvon. Tämän lisäksi se antaa virtauksen, paineen ja veden lämpötilan. Kyseinen järjestelmä poistaa käytännössä kokonaan mittaajasta johtuvan epätarkkuuden, pois lukien mahdolliset sprinklerin väärinasennukset testikantaan. Laitteiston rakenne on esitetty kuvassa 4.

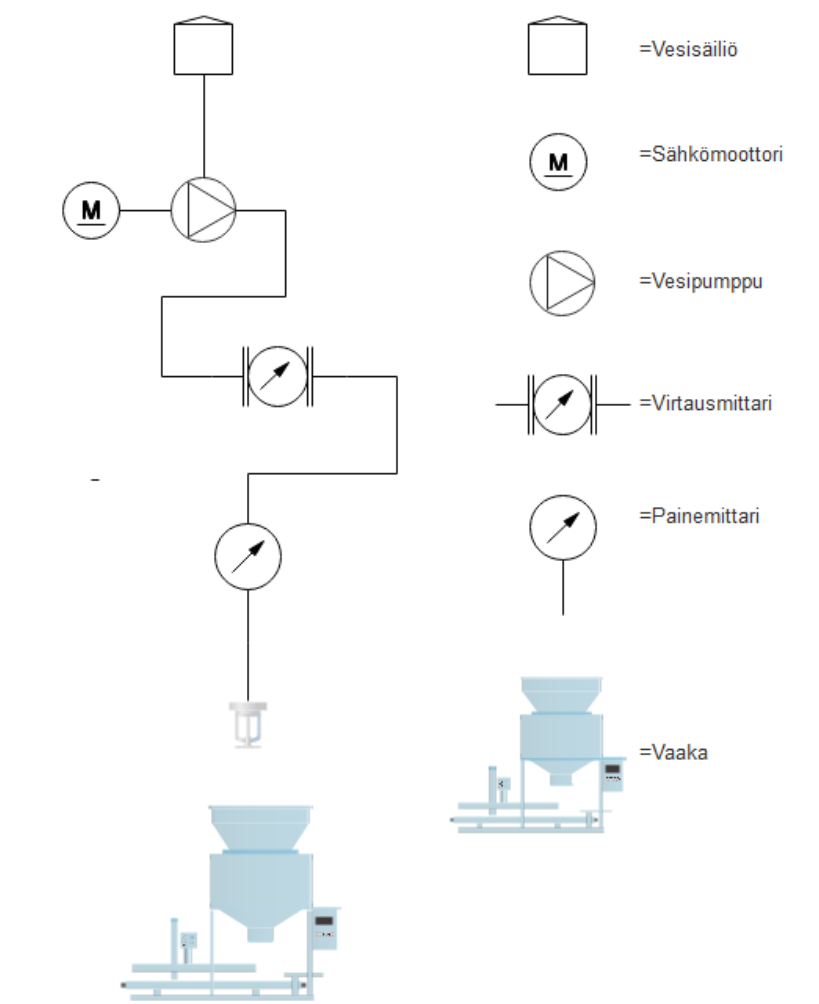


Kuva 4. Rakennekuva Keravan virtaustestilaitteistosta.

Keravan testipenkki toimii kolmella ABB:n moottorilla, jotka tuottavat jokainen 18 kW:n tehon. Moottoreiden jälkeen ovat pumput, jotka tuottavat virtausta 48,7 l/min. Penkin ohjauspaneelista voidaan määritellä, monellako pumpulla testiä halutaan ajaa. Virtausta mitataan Siemens Sitrans Massflo -laitteistolla. Painetta säädetään Bukert 2-tie-servo-ohjauksella ja paine säädetään manuaalisesti, ja sitä voi tarkkailla painemittarin avulla tietokoneen ohjelmasta. Tulokset saadaan suoraan tietokoneelle ohjelmiston avulla, joka on suunniteltu juuri kyseiselle penkille. K-arvon ja paineen on tasaannuttava ennen kuin tulokset voidaan tallentaa. Kyseinen järjestelmä mahdollistaa sen, ettei mittaajasta johtuvaa mittausepävarmuutta tule.

3.3 Vantaan virtaustestilaitteisto

Vantaan testipenkki eroaa huomattavasti Keravan testipenkistä. Penkki on varustettu yhdellä pumpulla. Laitteiston rakenne on esitelty kuvassa 5.



Kuva 5. Rakennekuva Vantaan virtaustestilaitteistosta.

Paine katsotaan mekaanisesta painemittarista, joten mittaustulos ei ole yhtä tarkka kuin Keravan penkissä. Näin ollen mittaajasta johtuva mittavirhe on suurempi, kuin Keravan penkissä. Vedenmäärä mitataan vaa'alla, jonka mittaustarkkuus on 0,02 kg. Vedenmäärästä, paineesta ja ajasta saadaan laskettua K-arvo.

3.4 Näytteet

Vertailuun valittiin satunnaisesti 20 kappaletta testattuja sprinklereitä, joiden K-arvot ovat läpäisseet testit. Huomioon otettiin myös eri koneistuserät, joten vertailussa oli sprinklereitä kahdesta eri koneistuserästä. Vertailun vuoksi mukaan otettiin myös 10 kappaleen erä testissä hylättyjä sprinklereitä. Niiden hylkäyssyy ei ollut tiedossa ennen tutkimuksen aloittamista. Vertailussa oli siis yhteensä 30 sprinkleriä. Nämä kaikki numeroitiin ja testattiin sekä Keravan, että Vantaan testipenkissä, jotta saatiin kattava vertailu penkkien välille. Myös penkkien toistettavuutta vertailtiin, joten samat sprinklerit testattiin eri pävinä. Näin voitiin varmistaa penkkien luotettavuus testin toistettavuuden kannalta.

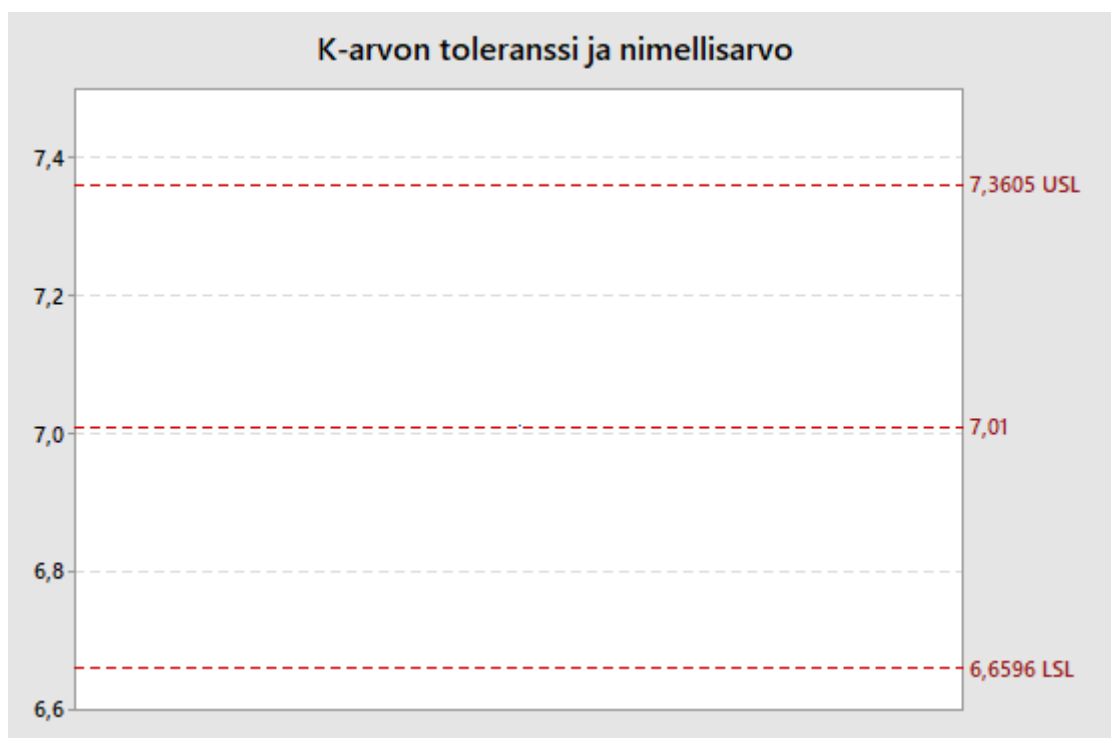
3.5 Mittaukset

Ensimmäisessä vaiheessa Keravan penkin toistettavuutta testattiin kolmen eri testin toistolla 50 baarin paineella. Tämän testin tarkoituksena oli selvittää Keravan virtaustestilaitteiston toistettavuus mittauksissa.

Vantaan testipenkki on varustettu vain yhdellä pumpulla, joten kyseisellä testausjärjestelmällä ei päästy kuin 25 baariin kyseisen sprinklerin kohdalla. Tämän takia molemmista testipenkeistä otettiin 25 baarin testit suunnitelman mukaisesti molemmista kolmeen kertaan. Tässä testissä verrattiin tuloksia keskenään ja pyrittiin varmistamaan virtaustestilaitteistojen vastaavuus testeissä.

Näiden testien lisäksi vertailtiin Keravan virtaustestilaitteiston eroja 25 baarin ja 50 baarin testeissä. Tällä testillä pystytään vertailemaan paineen vaikutusta K-arvoon.

K-arvon toleranssirajat on määritelty kuvassa 6.



Kuva 6. K-arvon toleranssi ja nimellisarvo.

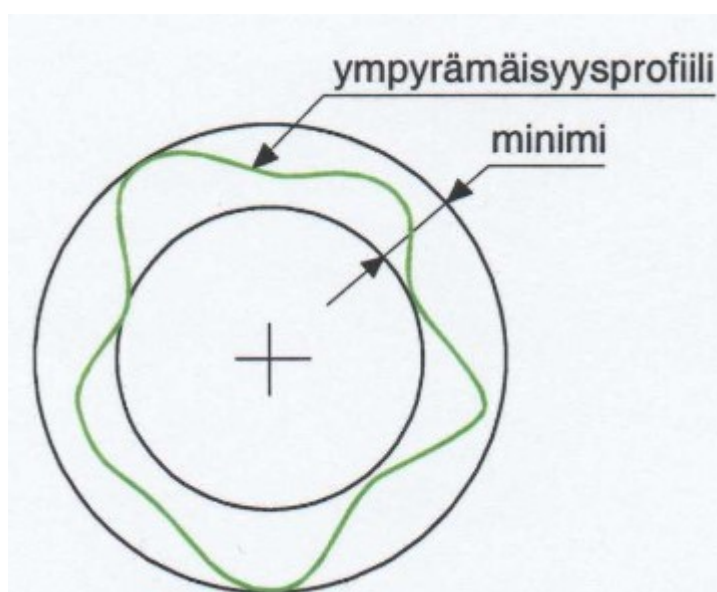
Kuvassa nähdään testeissä käytettävän sprinklerin K-arvon toleranssit (USL ja LSL) ja nimellisarvo 7,01. Sprinklerin valmistuksessa pyritään pääsemään mahdollisimman lähelle nimellisarvoa. Jos K-arvo on yli toleranssirajojen, sen toimintakyky on häiriintynyt.

3.6 Hylättyjen kappaleiden tarkastelu

Testeihin otettiin mukaan myös hylätty erä. Kyseisten sprinklereiden toimintakyvyssä oli havaittu tuotannon testeissä poikkeavuuksia. Näistä sprinklereistä otettiin myös 10 kappaleen erä testeihin, jotka suoritettiin hyväksytyille sprinklereille. Tämän testin tarkoituksena oli huomioida penkkien toimivuus ja toistettavuus, kun K-arvo on yli toleranssirajojen. Kappaleille tehtiin erillisiä tutkimuksia ja mittauksia, jotta selvitetäisiin, miksi K-arvot ovat yli sallittujen rajojen.

Kappaleille tehtiin virtaustestien jälkeen mittaussuunnitelma, johon valikoitiin vaikuttavat mitat. Mittauksissa mitattiin karan ja rungon välistä kosketuspinnan ympyrämuotoisuutta, rungon sisäosan halkaisijoita ja suutinreikien kokoa ja kulmia. Mittaukset suoritettiin 3D-mittalaitteella, jonka ohjelmistona toimi pc-dmis-ohjelmisto. Suutinreikiä ei voitu mitata pienen halkaisijansa takia 3D-laitteella, vaan reiät tulkittiin.

Ympyrämuotoisuus määritellään poikkeaman kautta täydellisestä ympyrästä kuvan 7 osoittamalla tavalla. Vertaamalla mittaustulosta täydelliseen ympyrämuotoisuuteen saadaan selville kappaleen säteiden ero. Ympyrämuotoisuus on siis säteiserojen minimin ja maksimin erotus (Koulutusmateriaali, 2016)



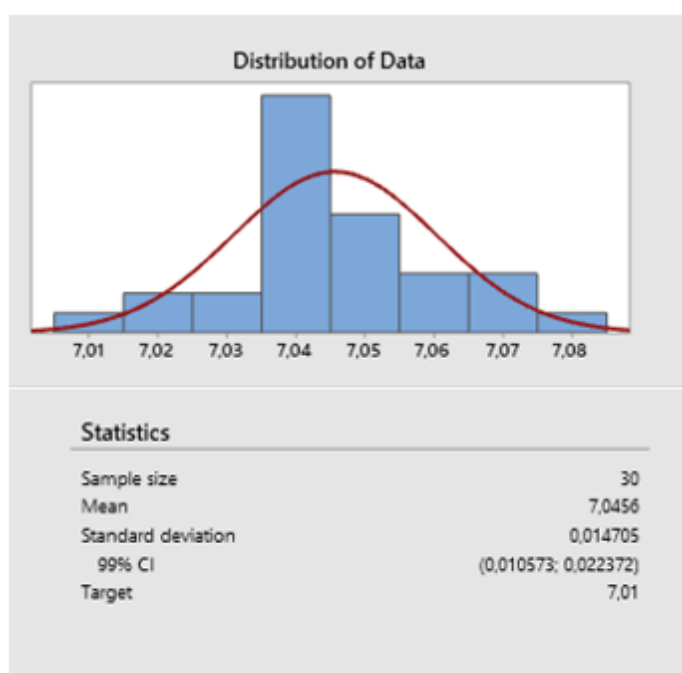
Kuva 7. Ympyrämuotoisuuden määrittely (Kojonen 2003, 31).

4 Tulokset ja niiden tarkastelu

Tulosten tarkastelu on jaettu otsikoinnin mukaisesti. Tulokset on saatu noudattamalla mittaussuunnitelmaa ja analysoitu Minitab-ohjelmistolla.

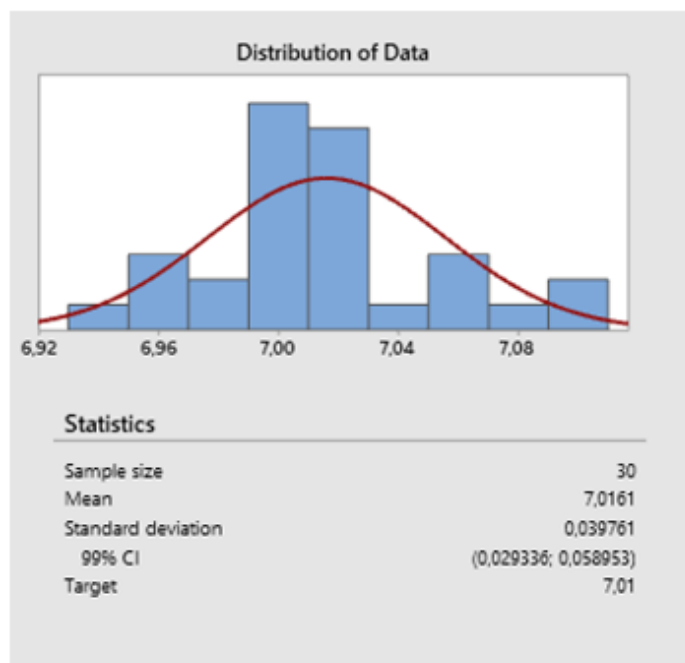
4.1 Keravan virtaustestilaitteiston toistettavuus

Testillä pyritään varmistamaan, että tulokset testipenkin suhteen ovat toistettavuudeltaan ja vastaavuudeltaan tarpeeksi lähellä toisiaan. Analyysissä on huomioitu erikseen valmistusnumeron mukaan tehdyt mittaukset, joista on omat kaaviot. Molemmista sarjoista on tehty eri päivinä kolme eri testiä. Molemmissa sarjoissa on kymmenen sprinkleriä, näin ollen testikooksi tulee 30 kappaletta sarjaa kohden. Kuvassa 8 on esitetty sarjan normaalijakauma, keskiarvo ja keskihajonta histogrammin ja normaalijakauman kautta.



Kuva 8. Ensimmäisen sarjan normaalijakauma, keskiarvo ja keskihajonta.

Tulosten keskiarvo on 7,0456 K-arvon suhteen. Keskihajonta on 0,014705. Kuvasta voidaan myös hyvin tulkita, että testatut kappaleet noudattavat normaalijakaumaa hyvin. Kolmen kappaleen testeissä pienin keskihajonta sprinklerikohtaisesti oli 0,010573 ja suurin 0,022372. Kuvassa 9 on esitetty sarjan normaalijakauma, keskiarvo ja keskihajonta histogrammin ja normaalijakauman kautta.

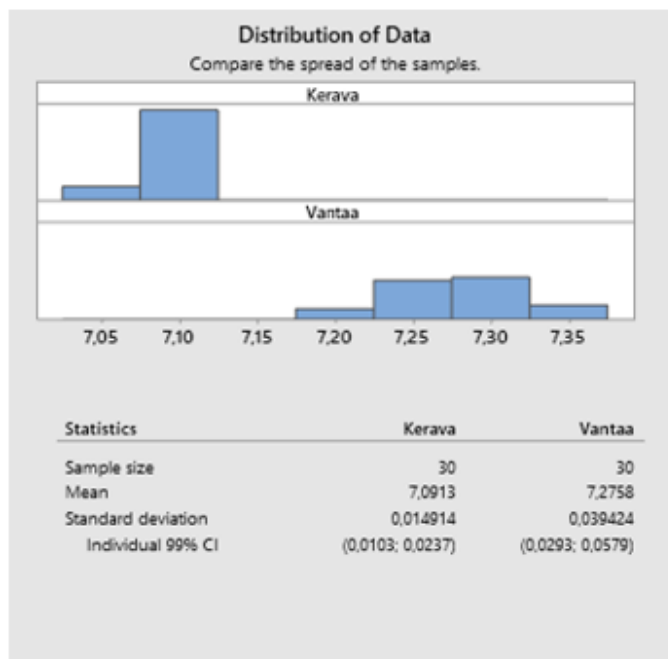


Kuva 9. Toisen sarjan normaalijakauma, keskiarvo ja keskihajonta.

Toisen sarjan mittauksista voidaan huomata, että keskiarvo on 7,0161. Keskihajonnassa on hieman enemmän vaihtelua kuin ensimmäisessä sarjassa, eli 0,039761. Kolmen kappaleen testeissä pienin keskihajonta sprinklerikohtaisesti oli 0,029336 ja suurin 0,058953.

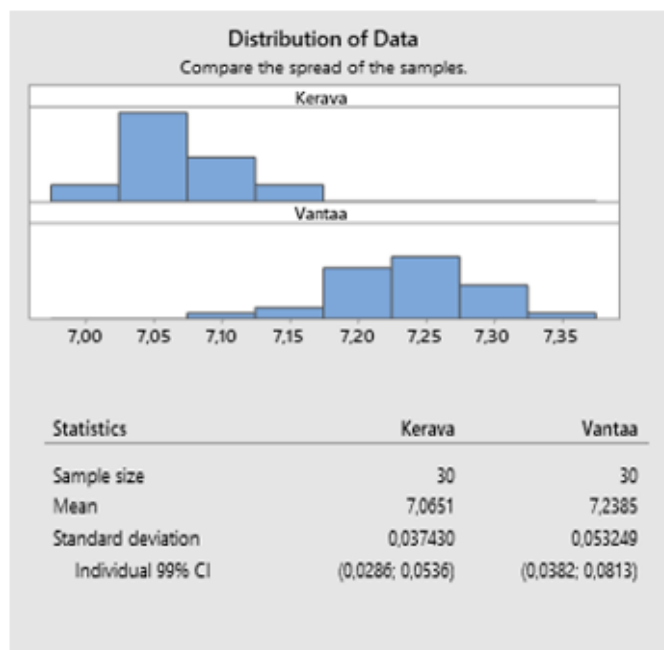
4.2 Virtaustestilaitteistojen vertailu

Tässä vertailussa tutkitaan eroavaisuuksia virtaustestilaitteistoiden välillä. Kerava on tuotannon käytössä ja Vantaa on tuotteiden kehityksen käytössä. Kaikki tuotannosta tulevat ja asiakkaille menevät tuotteet testataan Keravan testilaitteistolla. Kuvassa 10 on esitetty tulosten eroavaisuus mittauksissa Keravan ja Vantaan laitteistojen osalta



Kuva 10. Ensimmäisen sarjan vertailu virtaustestilaitteistoiden välillä.

Ensimmäisen sarjan kohdalla keskiarvo Keravan testeissä oli 7,0913 ja Vantaan 7,2758, eroa siis keskiarvojen välillä 0,1845. Ero on suuri, kun otetaan huomioon sallitut toleranssirajat. Keskihajonta Keravalla oli 0,014914 ja Vantaalla 0,039424. Ero keskihajonnassa siis 0,02451. Tarkastelussa on myös hyvä huomioida suurin ja pienin heitto yksittäisen sprinklerin kohdalla. Keravalla pienin heitto sprinklerikohtaisesti oli 0,0103, kun Vantaalla taas samassa sprinklerissä 0,0293. Tästä tulee eroa 0,019. Suurin heitto Keravalla oli 0,0237 ja Vantaalla 0,0579, eli niissä oli eroa 0,0342. Tämän sarjan kohdalla osa sprinklereistä oli Vantaalla tehtyjen mittausten mukaan yli toleranssirajojen. Kuvassa 11 on esitetty poikkeavuudet mittauksissa Keravan ja Vantaan laitteistojen osalta



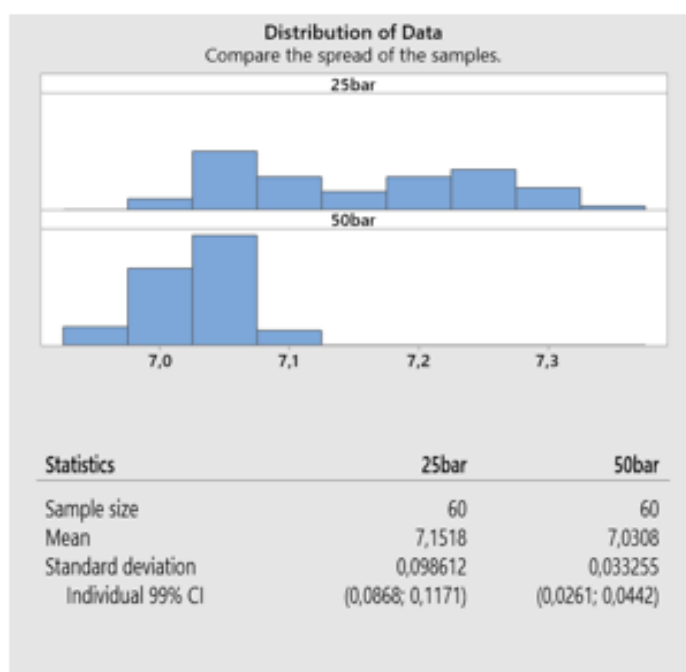
Kuva 11. Toisen sarjan vertailu virtaustestilaitteistoiden välillä.

Toisen sarjan kohdalla keskiarvo Keravan testeissä oli 7,0651 ja Vantaan 7,2385, eroa siis keskiarvojen välillä 0,1734. Ero on hieman pienempi kuin sarjassa yksi, mutta ero on silti merkittävä. Keskihajonta Keravalla oli 0,037430 ja Vantaalla 0,053249. Eroa keskihajonnassa on siis 0,015819. Keravalla pienin heitto sprinklerikohtaisesti oli 0,0286, kun Vantaalla taas samassa sprinklerissä 0,0382. Tästä tulee eroa 0,0096. Suurin heitto Keravalla oli 0,0536 ja Vantaalla 0,0813, eli niissä eroa 0,0277.

Vantaan laitteistossa joudutaan huomioimaan mittaaajasta johtuvaa epävarmuutta, jota on avattu enemmän kappaleessa 5.1.

4.3 K-arvon vertailu eri paineella

Paineen vaikutusta K-arvoon vertailtiin Keravan virtauslaitteistolla. Testit tehtiin 25 baarin ja 50 baarin paineella. Testissä otettiin huomioon kaikki aiemmin testatut hyväksytyt sprinklerit, jotka myös testattiin kolmeen kertaan, eli analyysi kattaa yhteensä 60 mitausta. Paineen vaikutus K-arvoon nähdään kuvasta 12.



Kuva 12. Vertailu 25 baarin ja 50 baarin välillä.

Kuvasta voidaan päätellä, että paineella on vaikutusta mittauksen tulokseen. 25 baarin paineella keskiarvo näytteistä oli 7,1518, kun taas 50 baarin paineella 7,0308. Tärkeämpi mittapuu testeille on kuitenkin keskihajonta, joka kertoo enemmän testin toistettavuudesta. 25 baarilla keskihajonta oli 0,098612 ja 50 baarilla 0,033255.

4.4 Kappaleiden fyysiset mittaukset

Hylätyn erän sprinklereiden K-arvot olivat yli toleranssirajojen. Muutamasta kappaleesta ei saatu K-arvoja ollenkaan mitattua, koska vaihtelut olivat niin suuria, jolloin mittausjärjestelmä ei stabiloitunut. Nämä otettiin lähempään tarkasteluun. Yhden kohdalla voidaan puhua kokoonpanovirheestä, jossa o-rengas oli päässyt karan ja rungon väliin. Tämä aiheuttaa virtauksen voimakasta vaihtelua.

Kosketuspinnan ja karan ympyrämuotoisuutta mitattiin, koska epäiltiin, että kappale voisi vuotaa sieltä ja näin ollen aiheuttaa K-arvon suuren heittelyn. Suurin vaihteluväli oli taulukossa 2 näkyvä eli yhteensä heittoa kappaleiden välillä on 0,016 mm. Tällaisen vuodonmerkityksen varmistamiseksi koneistuksessa ajettiin vastaavanlaiset rungot ilman suutinreikiä, jolloin mahdollinen vuodon suuruus pystyttäisiin todentamaan

Taulukko 2. Vertailu Karan ja rungon koneistuksen ympyrämuotoisuudesta. Suurin ero. Ympyrämuotoisuus ilmaistuna millimetreissä (mm).

Kappale	Ympyrämuotoisuus (mm)
Runko	0,009
Kara	0,007

Taulukko 3. Vertailu ilman suutinreikiä ajetun karan ja rungon ympyrämaisuudesta. Suurin ero. Ympyrämaisyys ilmaistuna millimetreissä (mm).

Kappale	Ympyrämaisyys (mm)
Runko	0,014
Kara	0,007

Suurin ero, joka saatiin näissä testikappaleissa, oli 0,021 mm. Kaikki kolme testikappaleita testattiin 5 min ajan 150 baarin paineessa. Minkäänlaista vuotoa ei ollut havaittavissa, joten tiivistepintaa voidaan pitää riittävänä.

Myös rungon sisämittoja mitattiin 3D-mittalaitteella. Ennen mittausta arvioitiin, että kaksi halkaisijaa voisivat vaikuttaa sprinklerin toimivuuteen K-arvon kannalta. Testikappaleet on numeroitu seuraavasti: 1–3 ovat K-arvotestit läpäisseet kappaleet ja H2–H3 ovat hylätyt kappaleet. (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Vertailu kappaleiden sisähalkaisijoiden ympyrämaisuudesta. Halkaisijat ilmaistuna millimetreissä (mm).

Kappale nro	Sisähalkaisija 1 (mm)	Sisähalkaisija 2 (mm)
1	7,991	10,47
2	7,98	10,45
3	7,835	10,45
H1	7,988	10,46
H2	7,985	10,46
H3	7,987	10,45
Toleranssi	8+0,038 -0,030	10,5±0,1

Näiden mittausten perusteella kaikki merkitsevät sisähalkaisijat ovat toleranssien sisällä, eikä vaihtelua kappaleiden välillä ole merkitsevissä määrin. Koska tulokset ovat vastavuodeltaan hyvällä tasolla, voidaan kyseisten kappaleiden sisähalkaisijoita pitää hyväksyttävinä K-arvon suhteen.

Viimeisessä merkitsevässä mittauksessa suuttimien reiät tulkattiin käyttämällä reikätulkkia. Tulkkien mittatarkkuus on 0,01 mm. (Taulukko 5.)

Taulukko 5. Suuttimien reikien halkaisijoiden mittaaminen tulkin avulla. Halkaisijat ilmaistuna millimetreissä (mm).

Kappale Nro	Suutinreikien halkaisija (mm)
1	1,06
2	1,06
3	1,06
H1	1,12
H2	1,12
H3	1,12
Toleranssi	1,1±0,1

Hyväksytyjen ja hylättyjen kappaleiden välillä on merkittävää eroa. Edellisen taulukon mittausten mukaan 0,06 mm. Vaikuttava toleranssi ±0,1 on yleistoleranssi, eikä kyseiselle sprinklerityypille ole tarkemmin määritelty erillistä toleranssia.

5 Johtopäätökset

5.1 Laitteistojen vastaavuuden parantaminen

Voidaan olettaa, että Keravan virtaustestilaitteiston K-arvo on vastaavuudeltaan ja tuloksiltaan luotettava. Mittaajasta johtuvaa virhettä ei voida saada aikaiseksi ohjelmiston suunnittelun takia. Laite on myös kalibroitu kesken mittauksen, eikä tuloksissa näy eroja tätä ennen ja tämän jälkeen.

Vantaan virtaustestilaitteistossa mittaajasta johtuva epävarmuus kasvaa, jolloin myös mittauksen keskihajonta kasvaa ja luotettavuus huononee. Tuloksista voidaan myös päätellä, että K-arvot ovat systemaattisesti noin 0,18 koholla verrattuna Keravan virtaustestilaitteistoon.

Mittauksissa tulisi huomioida mittaajan reaktioaika suhteessa koneen ja sekuntikellon käynnistykseen välille. Mittausaikaa pidentämällä saataisiin minimoitua mittaajasta johtuvaa mittaepävarmuutta. Kyseisen sprinklerimallin kohdalla tätä ei kuitenkaan voitu tehdä suuren K-arvon takia, sillä vaa'an kantokyky täyttyi. Myöskin vaa'an heitto tulisi ottaa huomioon. Vaaka on tarkkuudeltaan 0,02 kg. Lisäksi testikopin seinästä jäi pisaroita, jotka tulisi ottaa huomioon laskelmia tehdessä. Keskiarvallisesti pisaroita jäi mittauksen perusteella 0,10 kg kopin seinämiin. Hydac-laitteisto parantaisi paineen tarkkailua ja tulisi ottaa käyttöön aina, kun tehdään mittauksia Vantaalla. Näin saataisiin mittaajasta johtuvia heittoja minimoitua.

Kyseinen sprinklerimalli on K-arvoltaan Marioff-tuoteperheen yksi suuriarvoisimmista. Tämä voi vaikuttaa vertailuun virtaustestilaitteistojen välillä, koska Vantaan testilaitteistolla ei voida minimoida vaa'an kapasiteetin puutteen takia mittaajasta johtuvaa mittaepävarmuutta.

5.2 Hylätyt kappaleet

Kappaleen valmistuskuvassa on määritelty reikien toleranssi yleistoleranssiin, jotta kuvaa voidaan soveltaa useisiin eri ratkaisuihin. Kyseisen sprinklerityypin kohdalla K-arvo on määritelty kohdalleen aloittamalla suutinreikien poraaminen 1,01 mm ja nostettu 0,01 mm, kunnes K-arvo on saatu keskelle toleranssia. Nykyinen porakoko on 1,08 mm ja tuotteiden pinnoittaja on ilmoittanut pinnoitteen paksuudeksi 0,010–0,015 mm. Testien perusteella voidaankin päätellä, että hylätyissä kappaleissa suutinreikien 1,12 mm:n poraus on liian suuri kyseiselle sprinklerille. Tämä on todennäköisesti johtunut väärästä poran valinnasta tai mahdollisesti rikkoutuneesta terästä (Laatuinsinööri, 2019).

Kyseiselle sprinklerityypille tulisi määritellä tarkemmin toleranssi porauksille. Todennäköisesti koneen käyttäjä on hyväksynyt koneistetun erän pohjaten mittaukset yleistoleranssiin, joka on valmistuskuvassa, tai mittapöytäkirjan muihin toleransseihin. On myös mahdollista, että kyseinen erä on mennyt sekaisin jonkin toisen saman tuoteperheen sprinklerin kanssa. Mittapöytäkirjassa ei ole määritelty kyseiselle kappaleelle tarkempaa toleranssia.

Laadunvarmistuksen kannalta olisi tärkeää, että sprinklerin suutinrei'ille määritettäisiin tarkemmin toleranssi. Ylä- ja alatoleranssin määrittämiseen tulisi valmistaa koneistuksessa runkoja 0,01 mm:n välein. Nykyinen 1,08 mm:n reikä on suhteellisen keskellä toleranssia, kun mitataan K-arvoa.

Ehdotuksessa runkojen suutinreikiä porataan taulukon 6 mukaisesti kolme kappaletta jokaista, jotta hajonta saadaan katettua. Suunnitelman mukaisesti aloitetaan toleransien ääripäistä, jotta testiä pystytään nopeuttamaan. Reikien mittaaminen suoritetaan tulkeilla, jotta voidaan todeta reikien olevan oikean kokoisia. Tämän jälkeen rungot lähetetään pinnoitettavaksi, tämän jälkeen tulkkaus suoritetaan uudestaan. Pinnoituksen jälkeiset halkaisijat kirjataan taulukkoon. Näin pystytään varmistamaan, ettei pinnoituksen paksuudessa ole eroja. Tämän jälkeen sprinklerit kokoonpannaan ja niille suoritetaan normaalit K-arvotestit. Tulokset kirjataan taulukkoon. Tuloksista voidaan arvioida sopivat porauskoot kyseiselle sprinklerille ja päivittää tieto nykyiseen mittapöytäkirjaan.

Taulukko 6. Suunnitelma porauskoon määrittelyyn.

Koneistus Halkaisija (mm)	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,1	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
Pinnoituksen paksuus (mm)											
K-arvo											

6 Yhteenveto

Työn lähtökohtana oli selvittää käytössä olevien virtaustestilaitteistojen mahdollisia eroavaisuuksia ja varmistamaan molempien laitteistojen luotettavuus. Sprinklerityyppi valikoitui toteutukseen siinä huomattujen toimintaparametrien muutosten takia. Myös näille muutoksille pyrittiin löytämään juurisyy.

Virtaustestilaitteistojen eroavaisuuksien määrittely kyseisen sprinklerityypin kohdalla oli vaikea toteuttaa penkkien eroavaisuuksien ja muuttujien takia. Kyseisen sprinklerityypin suuri K-arvo rajoitti mittauksien tekemistä Vantaan testilaitteistossa vaa'an rajallisuuden takia. Näin ollen mittaajasta johtuvaa epävarmuutta ei aikaa kasvattamalla saatu tarkalleen ottaen testattua. Tuloksien vertailu ja niiden johdonmukaisuus antavat kuitenkin viitteitä siihen, kuinka paljon kyseiset vertailupenkit eroavat toisistaan.

Loppupuolella työtä keskityttiin enemmän K-arvon heittelyiden juurisyiden arviointiin kyseisen sprinklerin kohdalla. Tulokset olivat hyviä ja voidaan todeta, että työssä pystyttiin vastaamaan, mistä K-arvon heittelyt johtuivat hylättyjen sprinklereiden osalta.

Lähteet

Maaranen, K. 2007. Koneistustekniikat. WSOY Sanoma Pro.

EN 10204 Certificate Types. 3.2. 2004.

Haastattelu. Laatuinsinööri. Marioff. 25.6.2019.

Haastattelu. Laatuinsinööri. Marioff. 3.7.2019.

Holger Hartmann. 2019. Verkkodokumentti. <https://www.holgerhartmann.fi/niton-xrf>
Tarkastettu 2019. Luettu 10.07.2019.

Kojonen Antti 2003. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto. Tutkimus 3D-telähionnan tuomista hyödyistä. Diplomityö. Oulu.

Mitutoyo koulutusmateriaali. 2016. Verkkodokumentti. https://www.mitutoyo.fi/files/4015/2542/8470/Poster_Set_3_FI.pdf
Tarkastettu 06.2016. Luettu 09.07.2019.

Quality Knowhow Karjalainen Oy. 2019.verkkodokumentti. <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/>
Luettu 08.07.2019.

The Lean Enterprise Institute Inc. 2019. Verkkodokumentti.
<https://www.lean.org/Workshops/WorkshopDescription.cfm?WorkshopId=20>
Luettu 09.07.2019