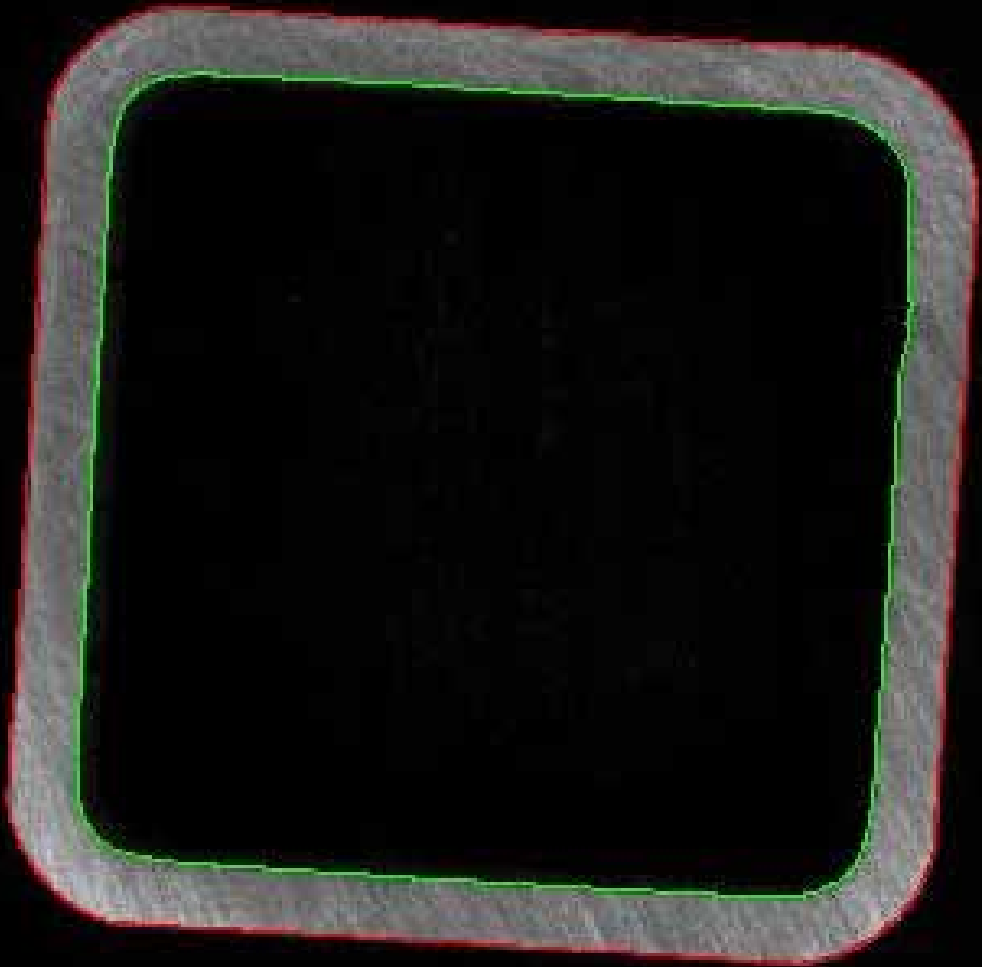


Jani Sipola & Timo Kauppi

Konenäkö putkiprofiilien dimensiomittauksissa



Jani Sipola & Timo Kauppi

Konenäkö putkiprofiilien dimensiomittauksissa

Materiaalien käytettävyyden tutkimusryhmän tekninen raportti

Sarja E. Työpapereita 2/2010

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
Kemi 2010

© Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-9785-97-1 (pdf)
ISSN 1456-1093

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
PL 504, 94101 Kemi
Puh. 010 353 50

www.tokem.fi/kirjasto/julkaisut

Sisällys

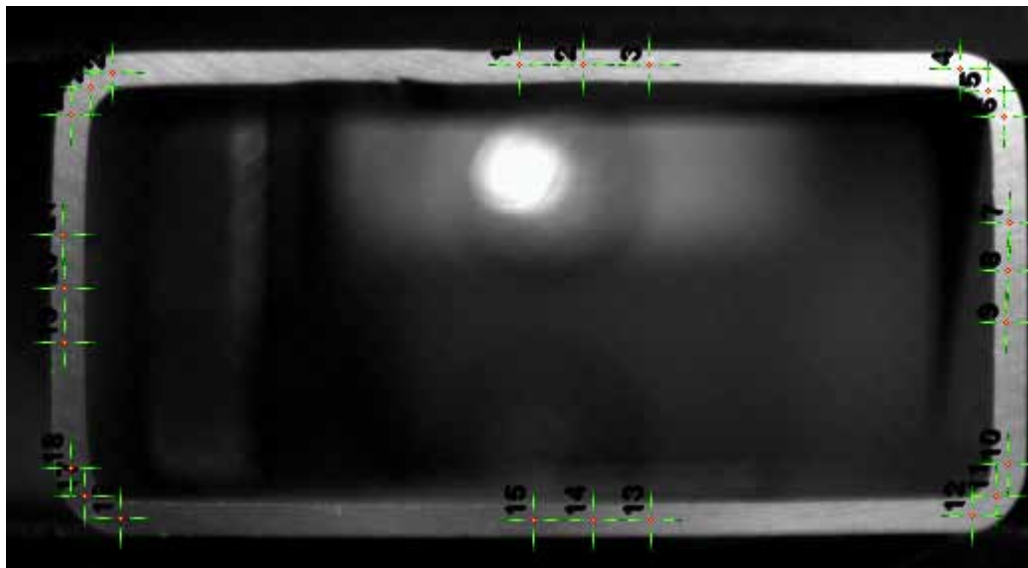
1	JOHDANTO	3
1.1	Mittausten tarkoitus	3
2	MITTAUSYMPÄRISTÖ	4
2.1	Ohjelmistot	5
3	MITTAUSMENETELMÄT	6
3.1	Kameran kalibrointi	6
3.1.1	Mittaustarkkuuden varmentaminen	7
3.2	Putkiprofiilien dimensiomittaus	8
4	MENETELMÄN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI.	13
4.1	Mittausten toteutus	13
4.2	t-testi	17
5	LÄHTEET	19

1 Johdanto

Putkiprofilien dimensiomittaukset konenäöllä liittyvät FERRAK-projektiin. FERRAK-projektissa tutkitaan ruostumattoman rakenneteräksen ominaisuuksien parantamista. Tässä raportissa selvitetään konenäöllä tehtävää putkien dimensiomittausta. Raportti keskittyy kertomaan käytetyistä mittausten menetelmistä. Varsinaisia dimensiomittauksia ei esitellä niiden luottamuksellisuuden takia. Tutkimus on toteutettu Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön tiloissa olevilla laitteistoilla.

1.1 MITTAUSTEN TARKOITUS

Mittauksilla on tarkoitus selvittää profiiliputken poikkileikkauksen (kts. kuva 1.) seinämepaksuuden vaihteluja. Tyypillisesti tällaisia mittauksia voi joutua tekemään useita satoja näytemäärästä riippuen. Tästä syystä mittausten mahdollisimman pitkälle tehty automatisointi on tarpeen.



Kuva 1. Profiiliputken poikkileikkaus valokuvattuna (numeroidut kohdat ovat kovuusmittausta varten määritellyjä mittauspisteitä).

2 Mittausympäristö

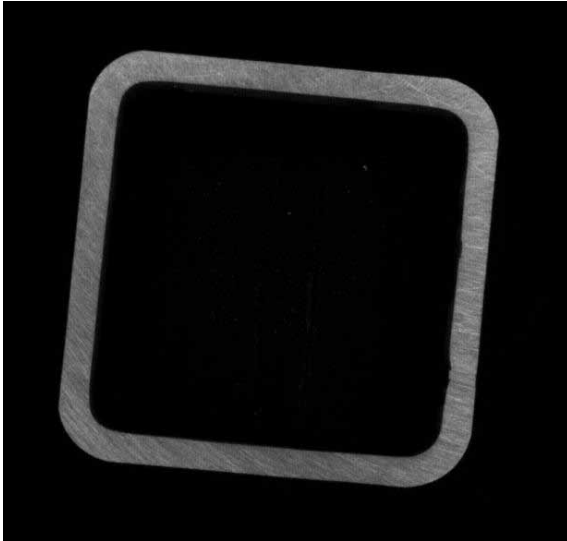
Kuvassa 2. on esitetty mittausympäristö kameroineen ja valaistuksineen, jossa putkinäytteet kuvattiin. Kameralla kuvattiin lasin päällä olevaa putkinäytettä alapuolelta kuva-alaan ollessa noin 90 mm. Valaistukseen käytettiin ledeillä toimivaa rengasvaloa. Kuvaustaustan täytyi olla musta, jotta saataisiin mahdollisimman hyvä kuva putken seinämästä.



Kuva 2. Putkinäytteiden mittausympäristö.

Kamera oli harmaasävy kuvia tuottava *Foculus NET FO442SB firewire* -kamera, jonka resoluutio on 1392×1040 pikseliä. Optiikkana käytettiin *Rainbow S6X11 zoom* -optiikkaa, jonka polttoväli on säädettävissä 11,5–69 mm välillä.

Mittausympäristöllä muodostetaan kuvan 3. mukainen kuva putkesta, josta suoritetaan dimensiomittaukset.



Kuva 3. Mittausympäristöllä muodostettu kuva putkesta.

2.1 OHJELMISTOT

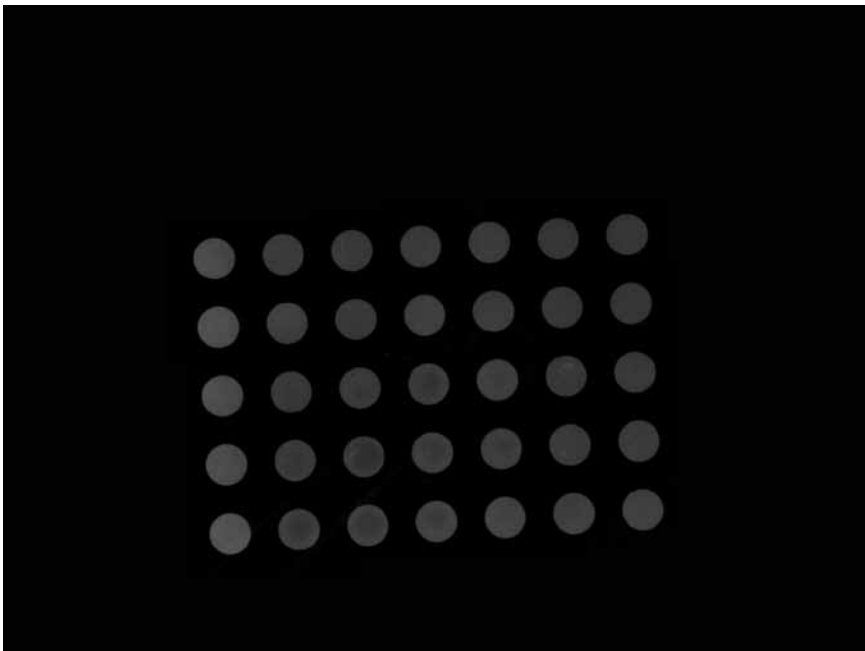
Kuvat otettiin kameran omalla *FOcontrol*-ohjelmistolla. Varsinainen kuvankäsittely ja putkien mittausohjelmisto tehtiin *MVTec Halcon* -ohjelmistolla. Halcon on kuvankäsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto, jonka kehitysympäristössä putkien dimensiomittaussovellus on kehitetty.

3 Mittausmenetelmät

Kameran avulla tehtäviin mittauksiin liittyy kameran kalibrointi, jos halutaan mitata tarkasti kuvasta haluttuja asioita. Aluksi esitellään lyhyesti kameran kalibrointia ja sen jälkeen putkiprofiilien dimensiomittauksiin kehitetty konenäkösovellus.

3.1 KAMERAN KALIBROINTI

Kameran kalibroinnin avulla mallinnetaan kuvautumisvirheet ja muodostetaan kameran pikseleiden vastaavuus millimetreissä. Kuvautumisvirheiden mallintamisen avulla poistetaan kuvassa olevia vääristymiä, jolloin mittauksista saadaan tarkempia. Kameran tuottavat kuvatiedon pikseleissä ja kameran omassa kuvakoordinaatistossa. Kalibroinnin avulla nämä tiedot muutetaan millimetreiksi, jotta kappaleiden dimensiomittaukset voidaan suorittaa.



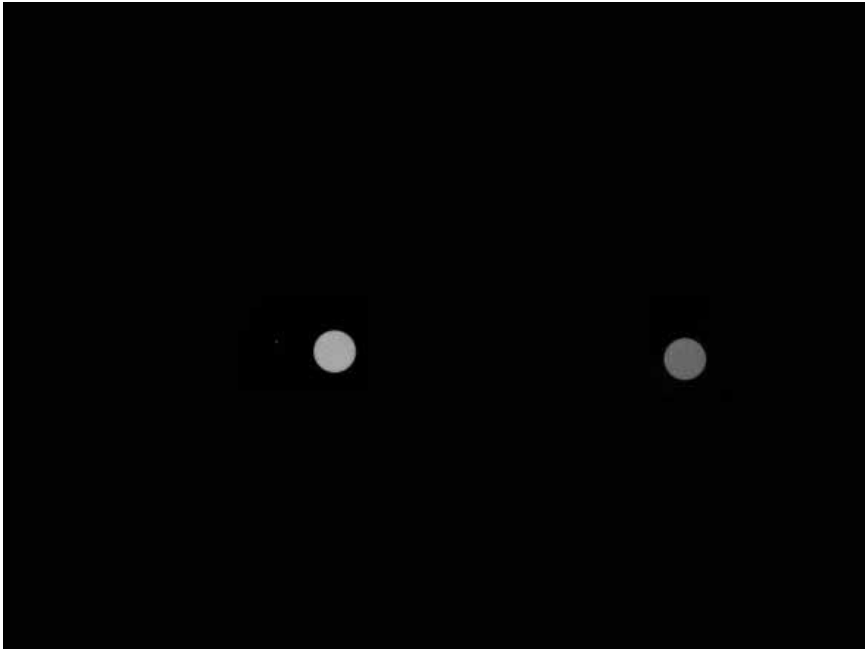
Kuva 4. Kameran kalibrointikuva.

Kalibrointiin käytettiin tarkkaa kalibrointikappaletta, jossa oli ympyröitä 10 mm välein ja niiden säde oli 6 mm. Ympyröiden mitat tunnetaan alle 1 µm:n tarkkuudella. Kalibroinnissa otettiin yhdeksän kuvaa ympäri kuva-alueetta, joista yksi on esitetty kuvassa 4. Kalibroinnissa käytettiin Halconista löytyvää kalibrointialgoritmia.

3.1.1 Mittaustarkkuuden varmentaminen

Kalibroinnin tarkkuutta testattiin käyttämällä kalibrointikappaletta. Kalibrointikappaletta liikuteltiin ympäri kuva-alueetta ja kuvista rajattiin 10 mm ja 50 mm etäisyydellä olevat kalibrointiympyrät. Kuvassa 5. on esitetty 50 mm etäisyydellä olevat kalibrointiympyrät. Lyhyemmällä 10 mm etäisyydellä käytettiin vierekkäisiä ympyröitä.

Kuvista haettiin ympyröiden keskipisteet sovittamalla ympyröiden reunapisteisiin ympyrä. Sovitettujen ympyröiden keskipisteiden välinen etäisyys mitattiin ja sitä verrattiin tunnettuun etäisyyteen.



Kuva 5. Mittaustarkkuuden määrittäminen 50 mm etäisyydellä.

Molemmilla (10 mm ja 50 mm) etäisyyksillä otettiin kuusi testikuvaa. Taulukossa 1. on esitetty mittausten keskiarvot ja keskihajonnat. Kuten tuloksista nähdään, voidaan olettaa kalibroinnin onnistuneen riittävällä tarkkuudella.

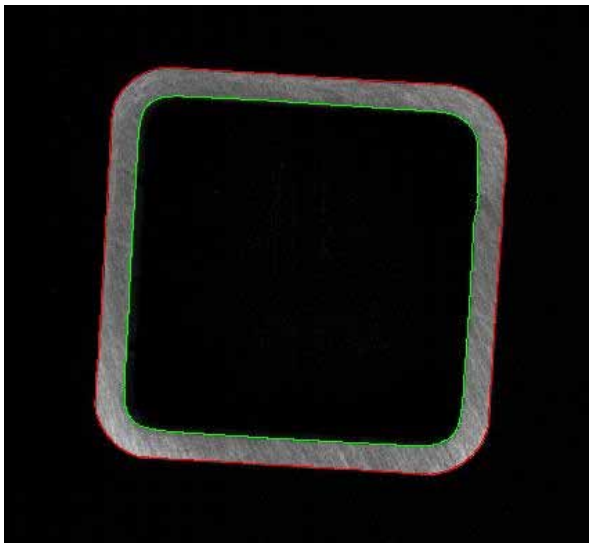
Taulukko 1. Mittaustarkkuus 10 mm ja 50 mm etäisyyksillä

Etäisyys	10 mm	50 mm
Keskiarvo	10.007	50.000
Keskihajonta	0.008	0.015

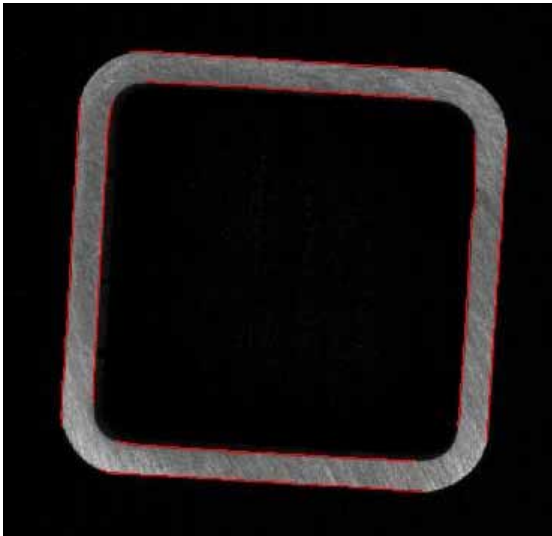
3.2 PUTKIPROFIILIN DIMENSIOMITTAUS

Putkiprofiilien dimensiomittaussovellus kehitettiin Halconilla ja mittaus suoritettiin Halconin kehitysympäristöllä. Dimensiomittauksissa mitattiin putkiprofiilien jokaisen neljän sivun seinämän paksuus, putkien pituus ja leveys neljästä kohtaa, jokaisen kulman ulko- ja sisäpyöristyssäde ja kulmien seinämäpaksuudet. Putkien mittaus suoritettiin eri vaiheissa, joiden toiminta pääpiirteittäin on esitetty seuraavissa kappaleissa.

Ensimmäisessä vaiheessa haetaan kappaleen sisä- ja ulkoreunat, jotka on merkitty kuvaan 6. vihreällä ja punaisella värillä. Putken seinämän paksuuden mittausta ja ulkomittausta varten haetaan edellä löydettyistä sisä- ja ulkoreunoista putken seinämän suorat alueet. Suorat reunat on merkitty kuvaan 7. punaisella värillä.



Kuva 6. Putken ulko- ja sisäreunat.

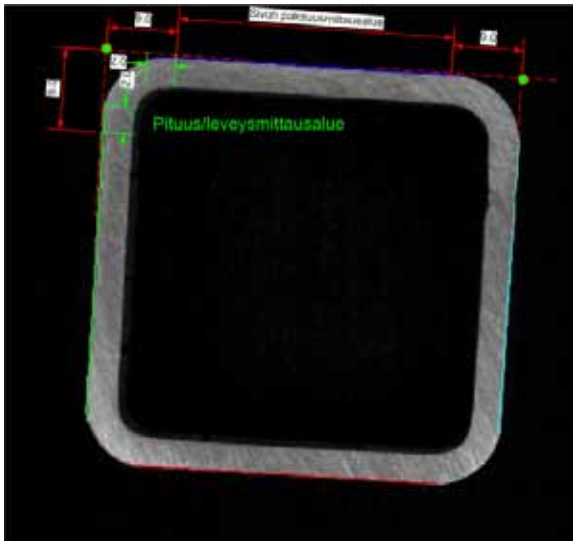


Kuva 7. Putken suorien alueiden reunapisteet.

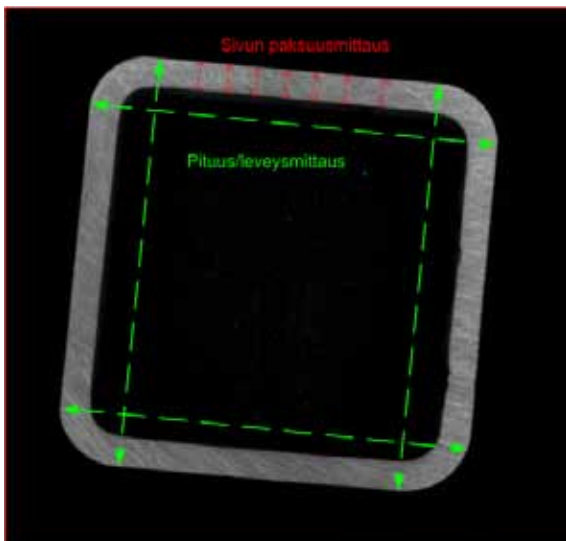
Putken seinämän paksuuden mittauksessa sovitetaan ulkoreunaan suora. Seinämän paksuus on sisäreunan pisteestä kohtisuora etäisyys sovitettuun suoraan. Seinämän paksuus mitataan 9 mm päästä putken oletetusta nurkkapisteestä 1 mm välein koko seinämän pituudelta. Nurkkapiste on määritetty sovitettujen ulkoreunojen leikkauspisteessä.

Putken ulkomittojen mittaukseen käytetään edellä löydettyjä ulkoreunoja. Putken oikean puoleiseen ulkoreunaan sovitetaan suora ja vastakkaisella puolella olevasta pisteestä mitataan kohtisuora etäisyys sovitettuun suoraan, joka on samalla putken leveys siltä kohtaa. Vastaavalla tavalla mitataan putken pystymitta sovittamalla ylimmäiseen ulkoreunaan suora ja laskemalla kohtisuora etäisyys vastakkaiselta puolelta. Ulkomitat mitataan 7–9 mm päästä oletetusta nurkkapisteestä.

Kuviin 8. ja 9. on merkitty paksuusmittausalueet sekä pituus- ja leveysmittausalueet.

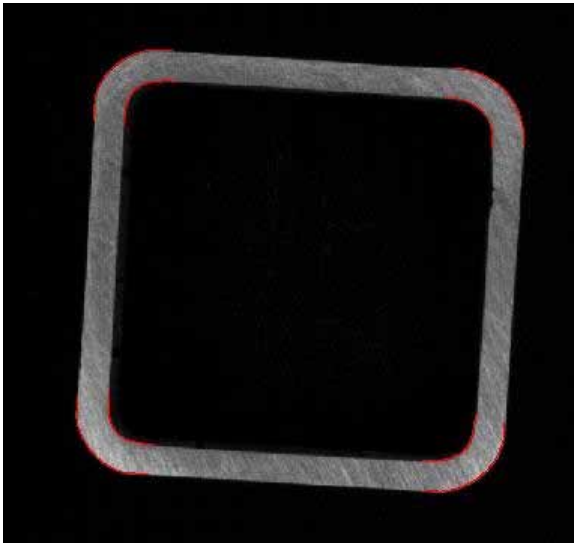


Kuva 8. Paikat, joista sivun paksuusmittaus ja leveys/pituusmittaus on suoritettu.



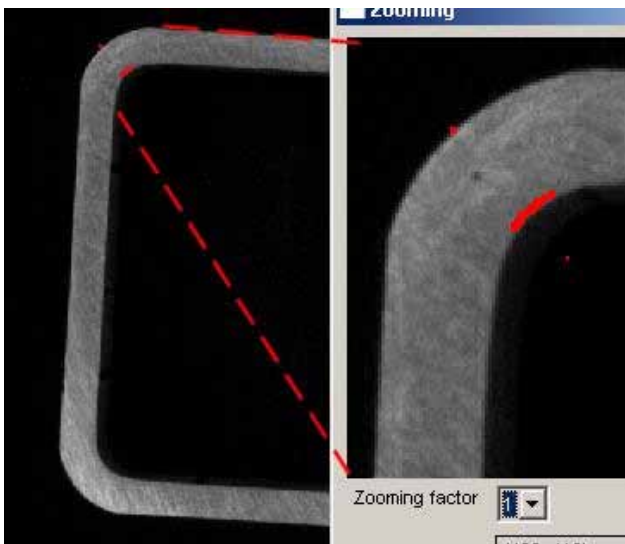
Kuva 9. Sivun paksuusmittaus ja pituus/leveysmittaus.

Putken kulma-alueiden paksuusmittauksiin ja pyöristyssäteiden mittaamiseen haetaan ulko- ja sisäreunan pisteet kulmista. Kuvaan 10. on merkitty punaisella löydetyt kulma-alueiden reunapisteet.



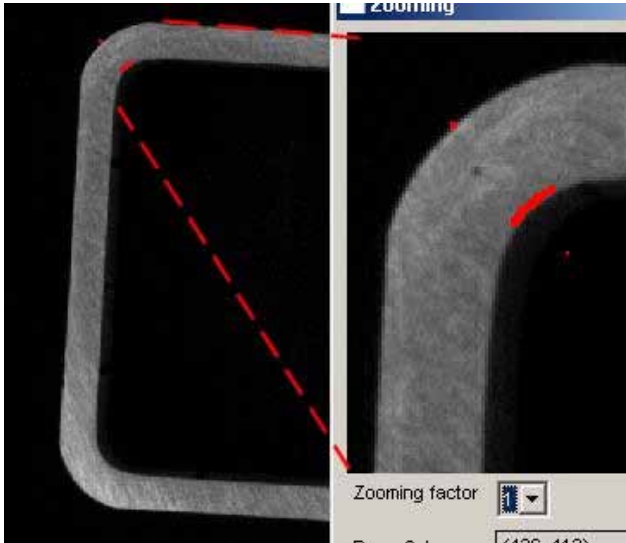
Kuva 10. Kulmien sisä- ja ulkoreunojen pisteet.

Kulma-alueiden nurkkapisteisiin sovitetaan ympyrä ja sovitetun ympyrän säde määrää putken ulko- ja sisäpyöristyssäteiden. Kuvassa 11. on esitetty kulmien pyöristyssäteiden mittaus ympyröiden avulla. Punaisella värillä on merkitty löydetty putken reunapisteet ja vihreällä niihin sovitettu ympyrä.



Kuva 11. Kulmien pyöristyssäteiden mittaus.

Putken kulma-alueen paksuusmittauksessa mitataan ulkoreunan yksittäisestä pisteestä etäisyyksiä sisäreunan pisteisiin. Lyhin etäisyys valitaan siltä kohtaa putken paksuudeksi. Ulkoreunalla on neljäkymmentä erillistä pistettä, joista paksuusmittaus suoritetaan ja pisteet sijaitsevat kaaren puolivälissä. Kuvassa 12. on esitetty ulkoreunan yksittäinen piste ja sisäreunan pistejoukko, josta lasketaan lyhyin etäisyys ulkoreunan pisteeseen ja joka samalla määrittää putken paksuuden.



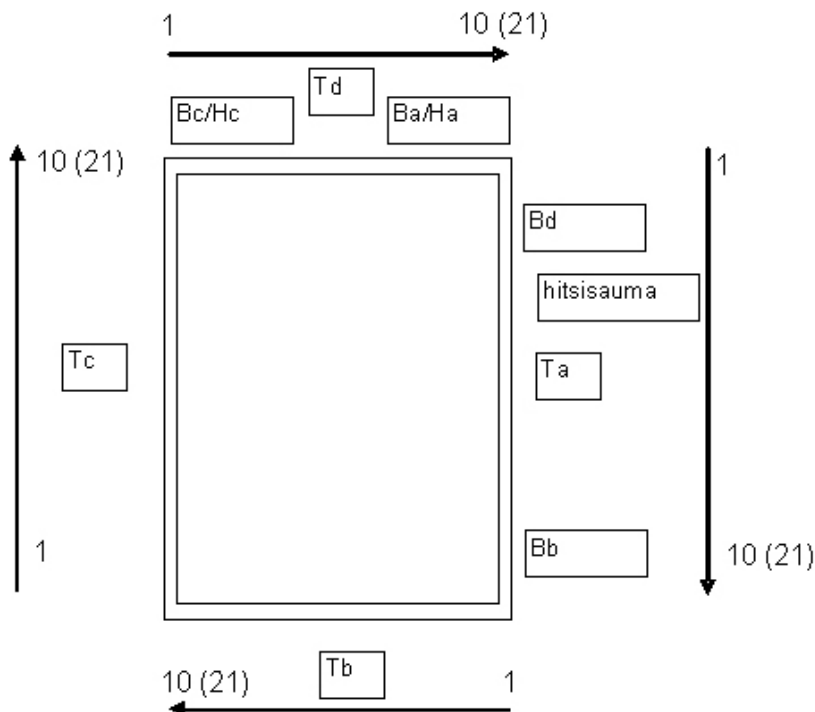
Kuva 12. Kulman paksuuden mittaaminen.

4 Menetelmän luotettavuuden arviointi

Menetelmän tarkkuuden selvittämiseksi tehtiin vertailumittauskampanja. Siinä tehtiin satunnaisesti valikoiduille putkinäytteille paksuusmittaukset käsin mikrometriruuvilla sekä konenäkömittauksella.

4.1 MITTAUSTEN TOTEUTUS

Koejärjestely toteutettiin siten, että paksuutta mitattiin vain suorilta sivuilta (kuvassa 13 sivut Ta, Tb, Tc ja Td). Mittauksia tehtiin käsin 10 kpl/sivu ja konenäöllä 20–30 kpl/sivu kuvan 13. osoittamalla tavalla.



Kuva 13. Putken sivujen merkinnät.

Mittaustulokset taulukoitiin MS Excel -työkirjaan t-testin tekemistä varten. Taulukossa 2. on annettu käsin tehtyjen mittausten välittömät mittaustulokset ja taulukossa 3. konenäkömittausten välittömät mittaustulokset.

Taulukko 2. Vertailumittausten käsin mitatut seinämänpaksuudet.

kappaleen nro	mittaus	seinämän vahvuus T (mm)			
		Tc	Tb	Ta	Td
15	1	2.86	2.83	2.82	2.80
	2	2.92	2.88	2.84	2.88
	3	2.86	2.87	2.82	2.83
	4	2.85	2.85	2.81	2.82
	5	2.84	2.83	2.81	2.81
	6	2.84	2.83	2.82	2.81
	7	2.83	2.83	2.83	2.81
	8	2.83	2.83	2.83	2.84
	9	2.83	2.85	2.87	2.82
	10	2.84	2.85	2.83	2.81
	keskiarvo	2.85	2.85	2.83	2.82
67	1	2.85	2.92	2.87	2.87
	2	2.92	2.88	2.87	2.87
	3	2.91	2.87	2.87	2.87
	4	2.91	2.87	2.87	2.87
	5	2.86	2.90	2.87	2.87
	6	2.92	2.90	2.86	2.89
	7	2.89	2.91	2.85	2.86
	8	2.89	2.90	2.85	2.88
	9	2.85	2.90	2.92	2.90
	10	2.85	2.88	2.92	2.90
	keskiarvo	2.89	2.89	2.88	2.88
119	1.	1.96	1.96	1.94	1.97
	2.	1.94	1.95	1.94	1.95
	3.	1.93	1.95	1.93	1.95
	4.	1.93	1.94	1.93	1.95
	5.	1.93	1.95	1.93	1.95
	6.	1.94	1.95	1.94	1.95
	7.	1.94	1.95	1.94	1.95
	8.	1.94	1.94	1.94	1.95
	9.	1.94	1.94	1.94	1.96
	10.	1.98	1.94	1.97	1.96
	keskiarvo	1.943	1.947	1.94	1.954

Taulukko 3. Vertailumittausten koneäöllä mitatut seinämnpaksuudet.

a) näyte 15

kappaleen nro	mittaus	seinämän vahvuus T (mm)			
		Tc	Tb	Ta	Td
15	1	2.91	2.91	2.90	2.85
	2	2.93	2.91	2.75	2.85
	3	2.92	2.89	2.63	2.87
	4	2.91	2.91	2.85	2.84
	5	2.90	2.87	2.93	2.82
	6	2.88	2.88	2.93	2.81
	7	2.87	2.85	2.91	2.84
	8	2.86	2.83	2.88	2.82
	9	2.88	2.84	2.86	2.81
	10	2.85	2.84	2.84	2.80
	11	2.83	2.82	2.84	2.82
	12	2.84	2.84	2.85	2.82
	13	2.84	2.80	2.84	2.83
	14	2.81	2.81	2.85	2.81
	15	2.83	2.80	2.82	2.80
	16	2.81	2.79	2.84	2.82
	17	2.82	2.80	2.84	2.84
	18	2.85	2.83	2.86	2.85
	19	2.83	2.87	2.85	2.83
	20	2.81	2.84	2.86	2.85
	21	2.84	2.88	2.85	2.83

b) Näyte 67

kappaleen nro	mittaus	seinämän vahvuus T (mm)			
		Tc	Tb	Ta	Td
	1	2.96	2.94	2.59	2.91
	2	2.94	2.92	2.66	2.90
	3	2.94	2.94	2.88	2.89
	4	2.92	2.91	2.96	2.91
	5	2.92	2.86	2.97	2.89
	6	2.88	2.87	2.91	2.87
	7	2.86	2.85	2.89	2.88
	8	2.86	2.84	2.85	2.86
	9	2.84	2.88	2.83	2.83
	10	2.84	2.83	2.80	2.83
	11	2.84	2.83	2.82	2.83
	12	2.84	2.83	2.81	2.85
	13	2.82	2.97	2.83	2.85
	14	2.84	2.86	2.86	2.86
	15	2.84	2.84	2.83	2.86
	16	2.82	2.93	2.85	2.87
	17	2.80	2.85	2.82	2.83
	18	2.82	2.85	2.80	2.78
	19	2.82	2.91	2.81	2.82
	20	2.82	2.85	2.81	2.79
	21	2.80	2.86	2.80	2.81
	22	2.80	2.90	2.81	2.85
	23	2.82	2.90	2.82	2.89
	24	2.81	2.89	2.85	2.87
	25	2.84	2.88	2.93	2.91
	26	2.84	2.89	2.90	2.89
	27	2.86	2.90	2.90	2.88
	28	2.86	2.92	2.91	2.89
	29	2.86	2.92	2.90	2.90
	30	2.88		2.89	2.92
67	31	2.86			2.92

c) Näyte 119.

kappaleen nro	mittaus	seinämän vahvuus T (mm)			
		Tc	Tb	Ta	Td
	1	2.08	1.99	2.06	2.00
	2	2.05	1.96	2.06	1.98
	3	2.06	1.94	2.04	1.95
	4	2.02	1.92	2.02	1.95
	5	2.00	1.91	2.02	1.91
	6	2.00	1.89	2.01	1.91
	7	1.97	1.86	1.99	1.90
	8	1.96	1.81	1.97	1.88
	9	1.94	1.81	1.95	1.89
	10	1.91	1.85	1.94	1.92
	11	1.89	1.84	1.92	1.87
	12	1.88	1.85	1.91	1.84
	13	1.85	1.84	1.90	1.89
	14	1.84	1.88	1.88	1.87
	15	1.83	1.87	1.89	1.90
	16	1.83	1.91	1.87	1.88
	17	1.82	1.91	1.86	1.92
	18	1.80	1.93	1.85	1.92
	19	1.78	1.95	1.84	1.94
	20	1.79	1.97	1.84	1.94
	21	1.78	2.00	1.83	1.97
	22	1.79		1.83	
	23	1.81		1.82	
119	24	1.80		1.82	

4.2 T-TESTI

Mittaustuloksia käytettäessä ongelmana on se, että ei voida varmuudella tietää, ovatko kosketuksettomalla konenäköteknologialla tehdyt mittaukset yhtä luotettavia kuin mekaanisella mittavälineellä käsin tehdyt.

Mittausmenetelmien tulosten vastaavuuden arviointi on tyypillinen kahden toisista riippumattoman populaation arvojoukon tilastollisen eron selvittämisiongelma. Sen ratkaisemiseen voidaan käyttää Studentin t-jakaumaa, jota voidaan soveltaa pienille otoksille.

Studentin t-jakaumassa otetaan huomioon vapausaste df ja merkitsevyysarvo p . Vapausasteluku df saadaan summaamalla vertailtavien ryhmien otoskoko ja vähentämällä tästä vertailtavien ryhmien määrä. Käytetyimpiä p :n arvoja taas ovat 0,05, 0,01 ja 0,001. Luku 0,05 on tarkoittaa, että ryhmien välillä on "tilastollisesti jonkinlaista merkitsevyyttä", luku 0,01 puolestaan tarkoittaa, että ryhmien välillä on "tilastollista merkitsevyyttä" ja luku 0,001 tarkoittaa tilastollisesti "erittäin merkittävää". (Matikka, Ville 2004.)

Saatua t-arvoa verrataan arvoon $\pm t_{n_1+n_2-2}$. Arvo $\pm t_{n_1+n_2-2}$ on kriittinen arvo, jonka sisäpuolella t-arvon tulisi olla, jotta voitaisiin todeta vertailtavien ryhmien keskiarvot toisiaan vastaaviksi. Kriittinen arvo saadaan määritettyä esimerkiksi MS Excelin TJAKAUMA.KÄÄNT-funktiolla antamalla parametreiksi tutkittavan populaation vapausaste ja haluttu merkitsevyysarvo (yleensä 0.01 tai 0.05). Jos t-arvo ylittää $\pm t_{\text{critical}}$ -arvon rajat, näyteryhmät poikkeavat toisistaan eivätkä ole keskenään verrattavissa. Tämän työn yhteydessä t-testi tehtiin Excel-ohjelmiston *data analysis* -toiminnolla. (Mellin 1996.)

Testin tulokset on annettu taulukossa 3 ja sen perusteella voidaan todeta, että tilastollisesti nollahypoteesi: ”Konenäkömittaus poikkeaa käsin tehdystä putkiprofili näytteen seinämänpaksuuden mittauksesta” on epätosi.

Näyte	sivu	t	t _{crit}
15	Ta	0.360	2.045
15	Tb	0.931	2.045
15	Tc	0.557	2.045
15	Td	0.515	2.045
67	Ta	0.198	2.024
67	Tb	0.444	2.026
67	Tc	0.031	2.023
67	Td	0.347	2.023
119	Ta	0.140	2.023
119	Tb	0.160	2.028
119	Tc	0.208	2.023
119	Td	0.143	2.028
	k.a.	0.336	2.032

Taulukko 4. Vertailumittausten t-testin tulokset.

Voidaan siis todeta, että konenäköön perustuvaa seinämänpaksuuden mittausta voidaan käyttää ja tulokset eivät tilastollisesti poikkeaa käsin tehdyistä mittauksista.

5 Lähteet

MATIKKA, VILLE (2004). *Paikkatietojärjestelmien soveltamismahdollisuudet ja digitaalisten keräyspisteiden sijaintitarkkuus jätehuollossa* -tutkintotehtävä. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Oulun yliopisto.

MELLIN (1996). *Johdatus Tilastotieteeseen, Kirja 1*. Tilastotieteen laitos.

Raportissa esitellään FERRAK-projektin yhteydessä kehitetty putki-profiilien dimensionmittausmenetelmä. Mittausympäristö käsitti harmaasävy kuvia tuottava Foculus NET FO442SB firewire -kameran ja dimensionmittaukseen kehitetyn konenäkösovelluksen.

Dimensionmittauksissa mitattiin putkiprofiilien jokaisen neljän sivun seinämän paksuus, putkien pituus ja leveys neljästä kohtaa, jokaisen kulman ulko- ja sisäpöörityssäde ja kulmien seinämäpaksuudet.

Menetelmän tarkkuuden selvittämiseksi tehtiin vertailumittauskampanja. Siinä tehtiin satunnaisesti valikoiduille putkinäytteille paksuusmittaukset käsin mikrometriruuvilla sekä kehitetyllä konenäkömittauksella. Mittaussarjoille tehtiin Studentin t -testi, jonka mukaan konenäköön perustuvaa seinämäpaksuuden mittausta voidaan käyttää ja tulokset eivät tilastollisesti poikkea käsin tehdyistä mittauksista.