



ETELÄ-POHJANMAAN
liitto



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

LAAKI. PoC 1: metalliosien mittaukset. Loppuraportti.

Juha Hirvonen

22.3.2022

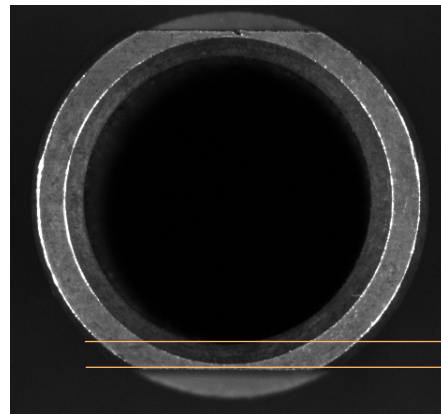
SeAMK 

Kuvauskohde

- Kuvauskohde oli pyöreä metallinen osa, jonka ulkohalkaisija oli n. 20 mm ja pituus noin 45 mm
- Osasta pyrittiin mittaamaan konenäöllä sen sisähalkaisija, sen sivussa olevien viisteiden paksuudet ja osan pituus



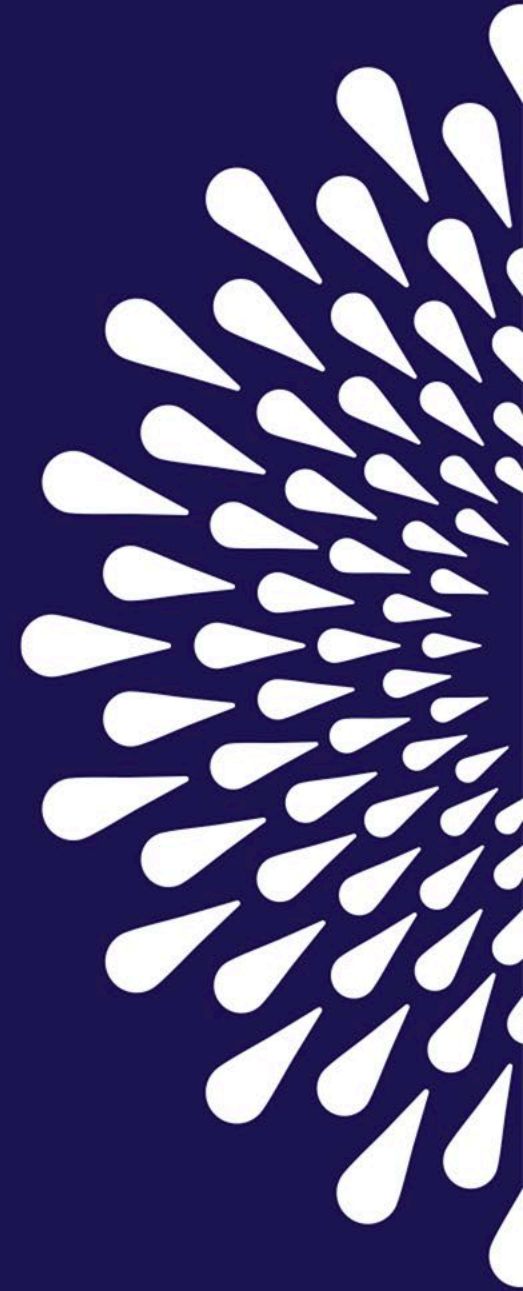
Osa sivulta



Osa ylhäältä

Viisteen paksuus
(viisteen reunasta osan reiän reunaan)

Järjestelmän mitoitus



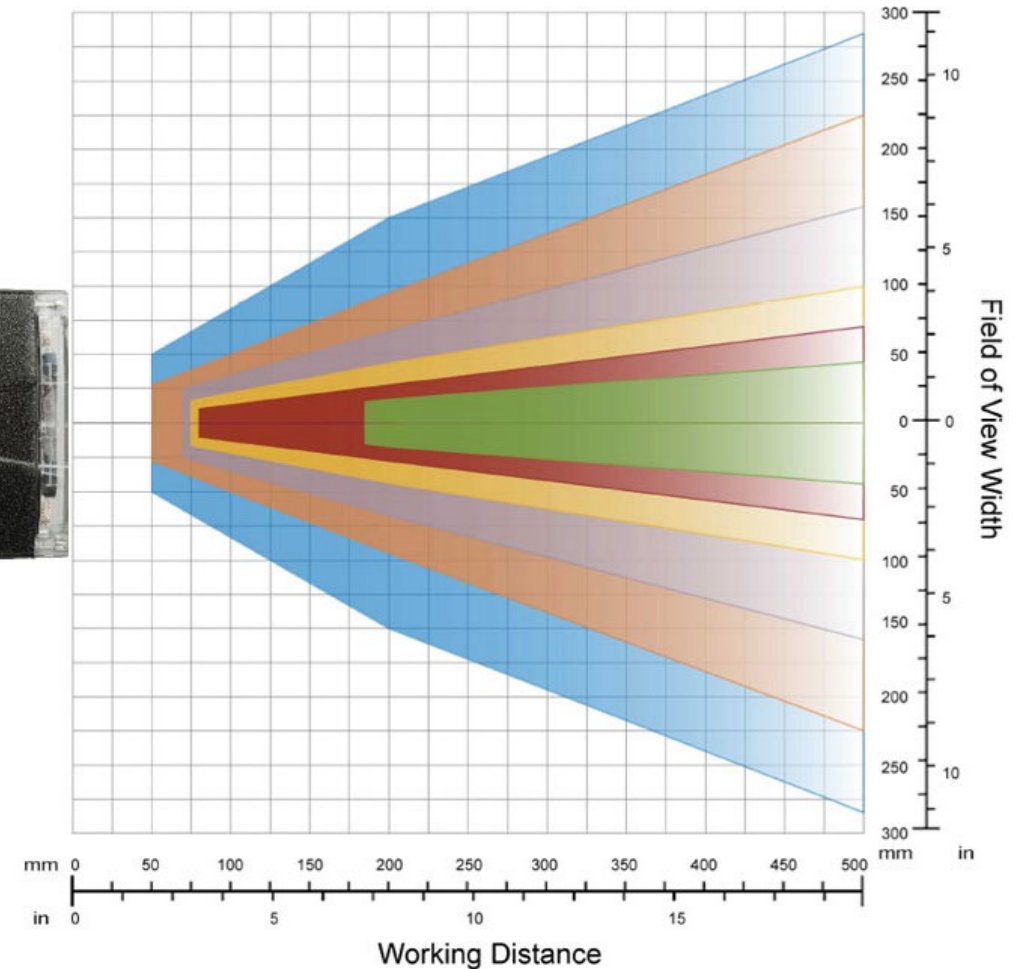
Järjestelmän mitoitus

- Kuvausjärjestelmän mitoituksessa mitoitetaan linssi, kamera ja valaistus
- Tärkeää, jotta kuvausjärjestelmä soveltuu tarvittavaan mittaukseen



Linssin merkitys (1/2)

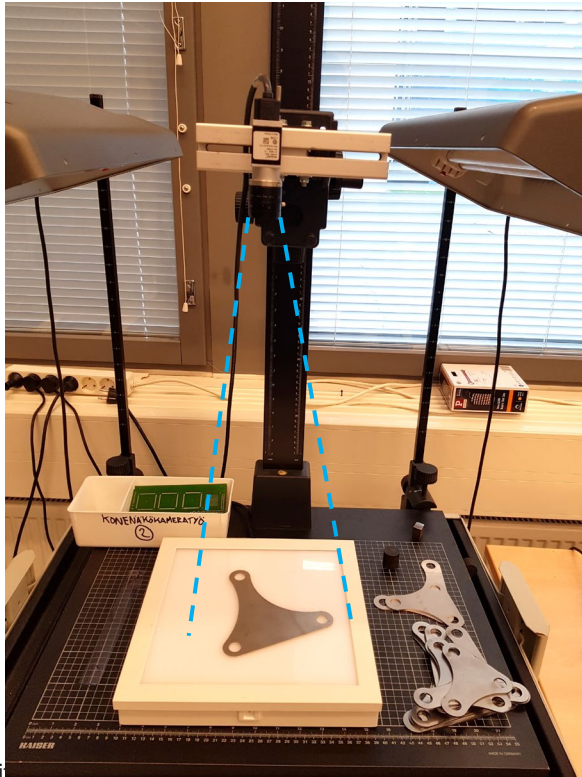
- Linssin polttoväli vaikuttaa
 - Kuvakulman leveyteen
 - Työskentelyetäisyyteen
- Oikea mitoitus: kuvattava kohde peittää mahdollisimman suuren osan kennosta työskentelyetäisyydellä



Havainnekuva työskentelyetäisyydestä ja kuvakulmasta eri polttoväleillä (Cognex)

Linssin merkitys (2/2)

- Polttoväli 16 mm,
kuvausetäisyys 50 cm



- Polttoväli 50 mm,
kuvausetäisyys 160 cm



→ sama kuva-ala

Kameran kennon merkitys

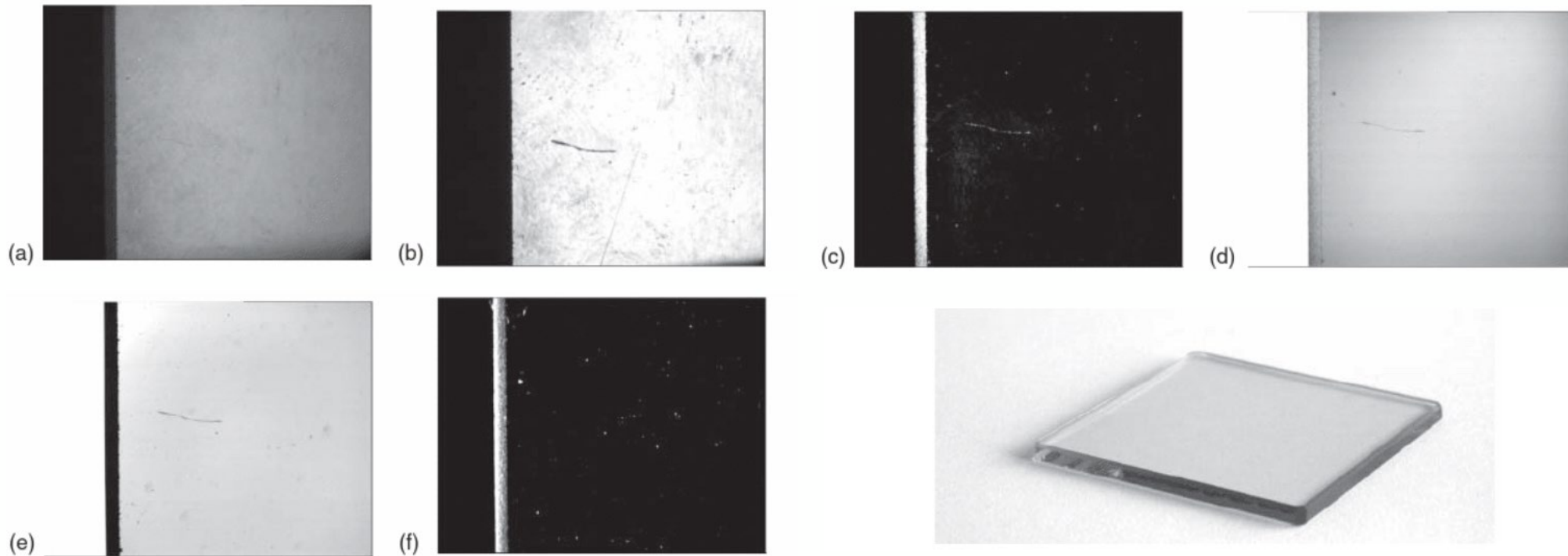
- Mitä suurempi kameran kennon resoluutio (Mpix), sitä enemmän pikseleitä käytössä → suurempi erottelutarkkuus
 - Kennon koko nostaa myös kameran hintaa, joten ei kannata ylimitoittaa
- Jos esim. piirteen leveys on 5 mm
 - Käytettävissä 10 pikseliä: 2 pix/mm
 - Käytettävissä 200 pikseliä: 40 pix/mm → 1 pikselin virheet kuvassa haittaavat vähemmän

Muita kameran mitoitettavia ominaisuuksia

- Kuvausnopeus
- Harmaasävy- vai värikamera
- Kohina
- Liitäntä

Valaistuksen merkitys

- Oikealla valaistuksella mitattavat piirteet erottuvat kuvasta paremmin → ne on helpompi löytää siitä automaattisesti



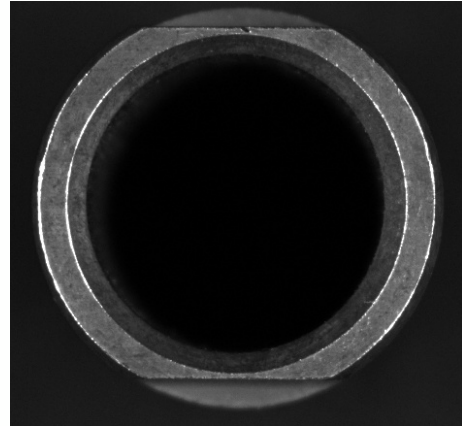
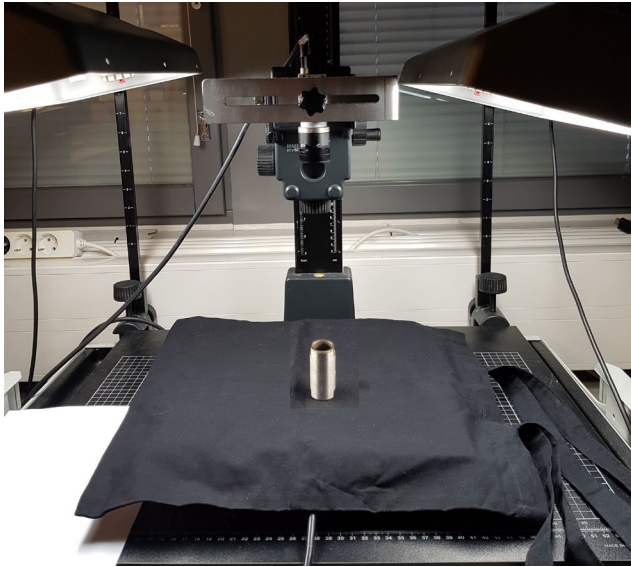
Testeissä käytetyt linssit

- Koska kuvattavien metalliosien ulkohalkaisijat olivat n. 20 mm, tarvittaisiin makro-optiikka, jotta kuva-alue olisi vain 20 mm korkea (mahdollisimman suuri osuus kameran kennosta olisi hyötykäytössä)
- Nyt kokeiltiin 16 mm:n ja 35 mm:n polttovälien linssejä
 - Molempien tapauksessa kuva-alaa tuhlaantui eli suurin osa kuvasta on taustaa

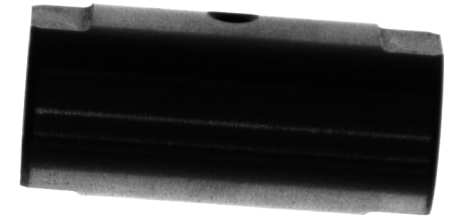
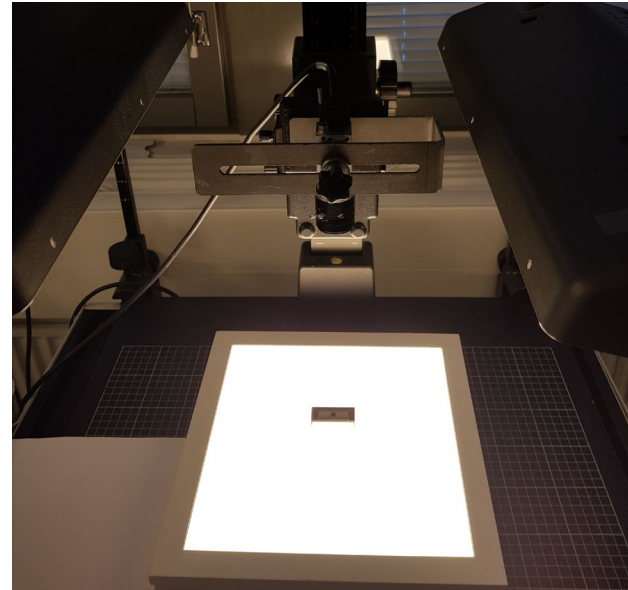
Testeissä käytetyt kamerat

- Ensin kokeiltiin 2 Mpix kameraa
- Koska kummallakaan linssillä ei saatu tarpeeksi pientä kuva-alaa, kokeiltiin vielä 12 Mpix:n kameraa, jotta saataisiin enemmän pikseleitä hyötykäyttöön
 - 12 Mpix:n kameran kanssa käytettiin 35 mm:n polttovälin kennoa, sillä sen avulla saatiin pienempi kuva-ala
 - 12 Mpix:n kamera oli värikamera, mutta näissä mittauksissa väreistä ei ole mitään hyötyä (meillä vain ei ole 12 Mpix:n harmaasävykameraa)

Testeissä käytetyt valot

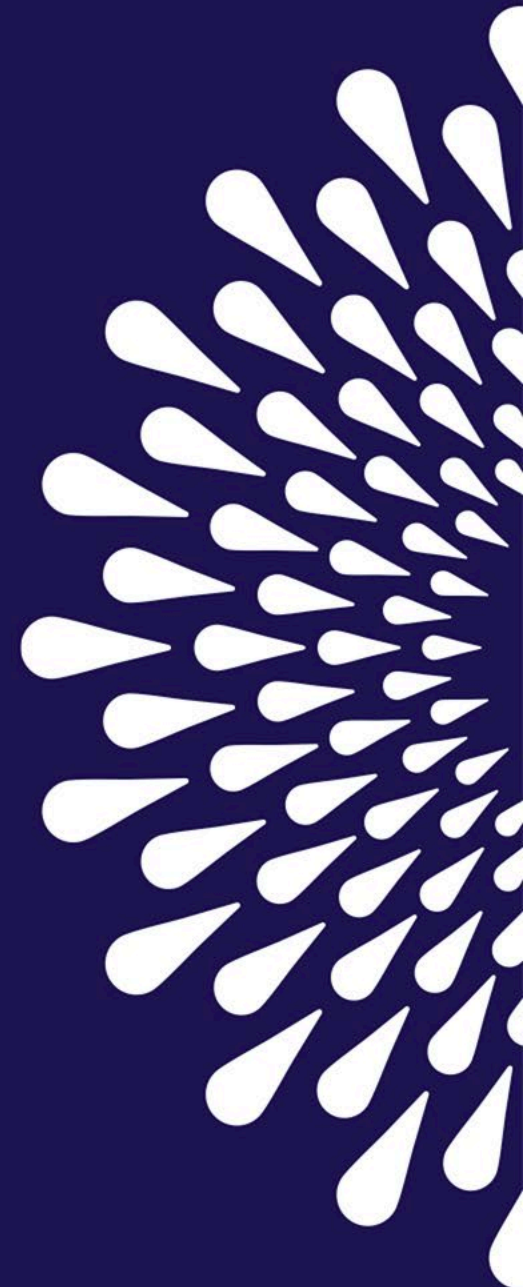


- Yläsivuvalot: reunat erottuvat hyvin → sisähalkaisija ja viisteiden paksuudet



- Taustavallo: selkeää siluetti → osan pituus

Mittaukset



Referenssimittaukset

- Referenssimittaukset tehtiin Mitutoyn digitaalisella työntömitalla
 - Tulokset merkattu 0,01 mm tarkkuudella, mutta tuohon tarkkuuteen tuskin päästään (korkeintaan $\pm 0,02$ mm)
 - Viisteen paksuuksissa ja osan pituudessa mittaus toistettiin 5–10 kertaa ja valittiin pienin tulos
 - Sisähalkaisijassa mittaus toistettiin 5–10 kertaa eri kohdista ja merkittiin tulosten vaihteluväli
 - Mittaustuloksissa esiintyi siis aika paljon vaihtelua



Konenäkömittaukset

- Käytettiin kahta eri ohjelmistoa

1. Cognex In-Sight Explorer

- Kaupallinen Cognexin älykameroiden mukana tuleva konenäköohjelmisto
- Helppokäyttöinen graafinen käyttöliittymä, jossa mittausrutiinit rakennetaan

2. OpenCV

- Alkujaan Intelin kehittämä avoimen lähdekoodin konenäkökirjasto
- Rutiinit kirjoitetaan rivi riviltä, edellyttää ohjelmointitaitoja
- Toteutettu C++:lla, myös Python- ja JavaScript-rajapinnat



Kuvaukset (1/6)

- Sama osa kuvattiin 10 kertaa hieman eri kohdassa ja orientaatioissa
 - Tällä selvitettiin mittausten toistettavuutta ja luotettavuutta
- Seuraavalla dialla esimerkkinä kuusi samasta osasta otettua kuvaa

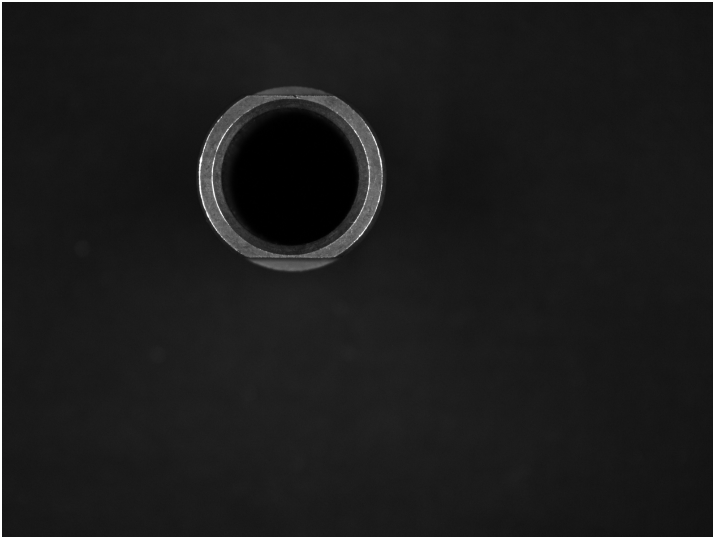


Kuvaukset (2/6)



Kuvaukset (3/6)

- Vasemmalla 2 Mpix:n harmaasävykameran ja 12 Mpix:n värikameran kuvat samankokoisina
 - Kuten nähdään, osa vie murto-osan kuvasta

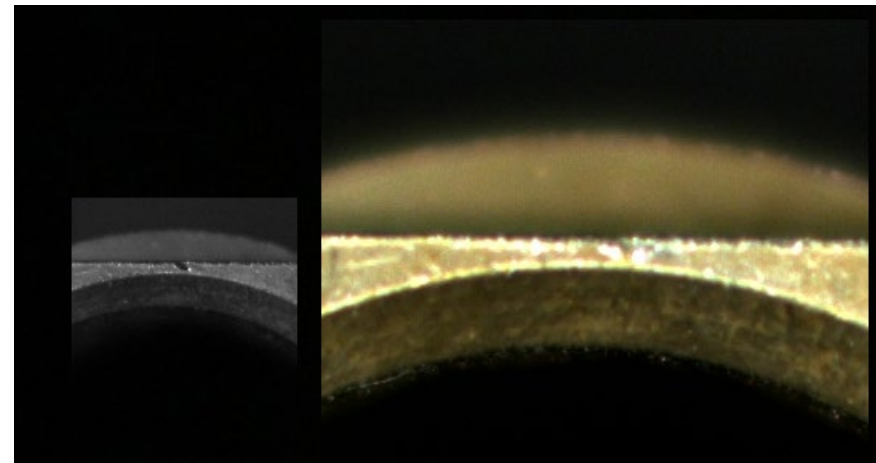


Kuvaukset (4/6)

- Vasemmalla kuvien osat suhteessa toisiinsa, oikealla yksityiskohta 1:1-koossa molemmista kuvista

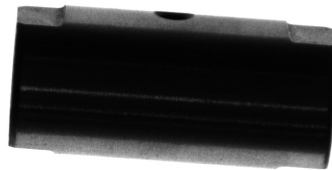
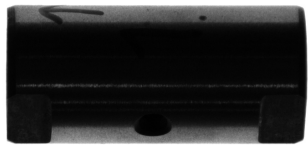


- 2 Mpix: 20,1 pix/mm
- 12 Mpix: 47,7 pix/mm



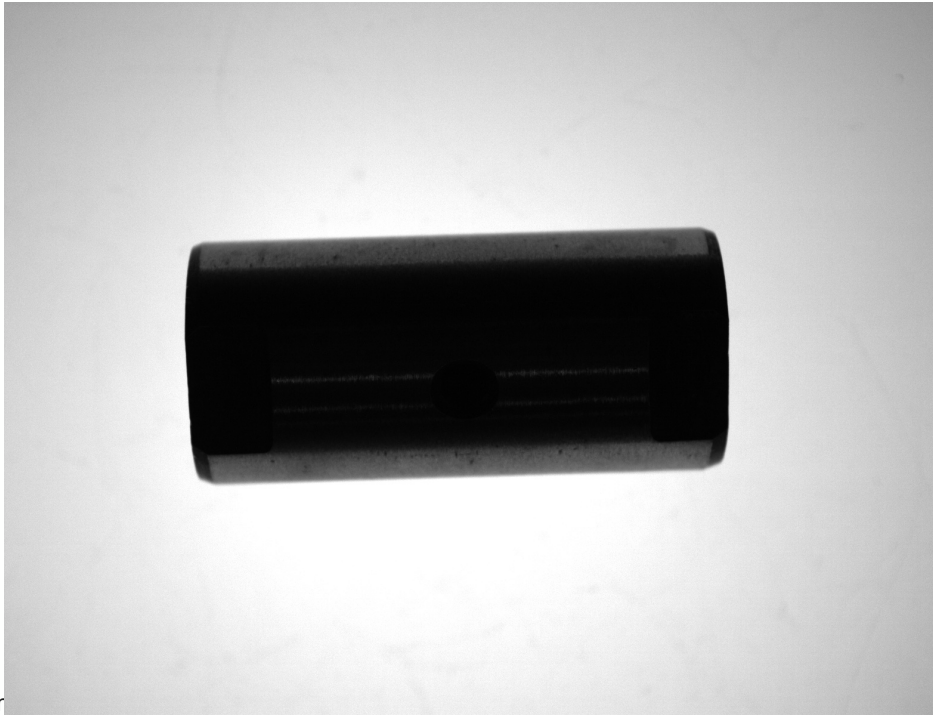
Kuvaukset (5/6)

- Pituusmittauksessa otettiin myös 10 kuvaa sivulta samaan tyyliin
 - Käytettiin vain 2 Mpix kameraa
 - Kamera oli etäämmällä, jotta perspektiivivääristymä olisi pieni
 - Mittauksen resoluutio: 14,75 pix/mm



Kuvaukset (6/6)

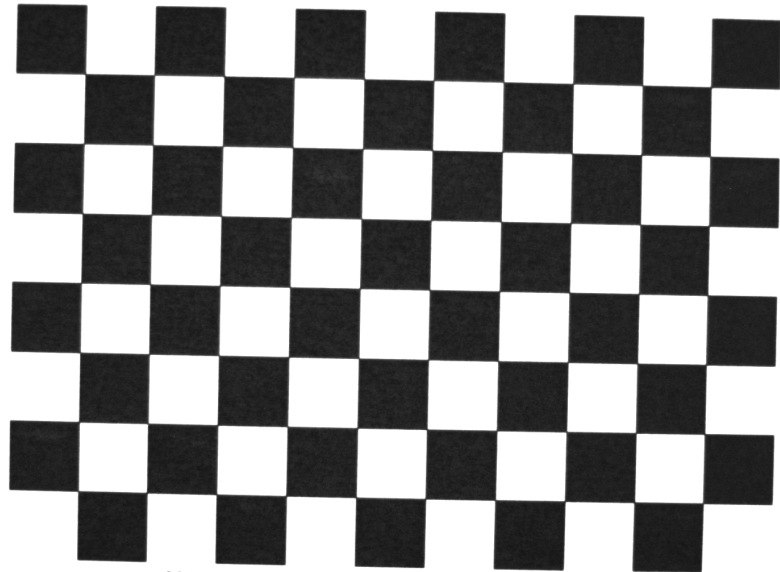
- Vasemmalla holkki kuvattuna lähempää: huomattava perspektiivipullistuma osan päissä (vrt. oikeanpuoleinen)



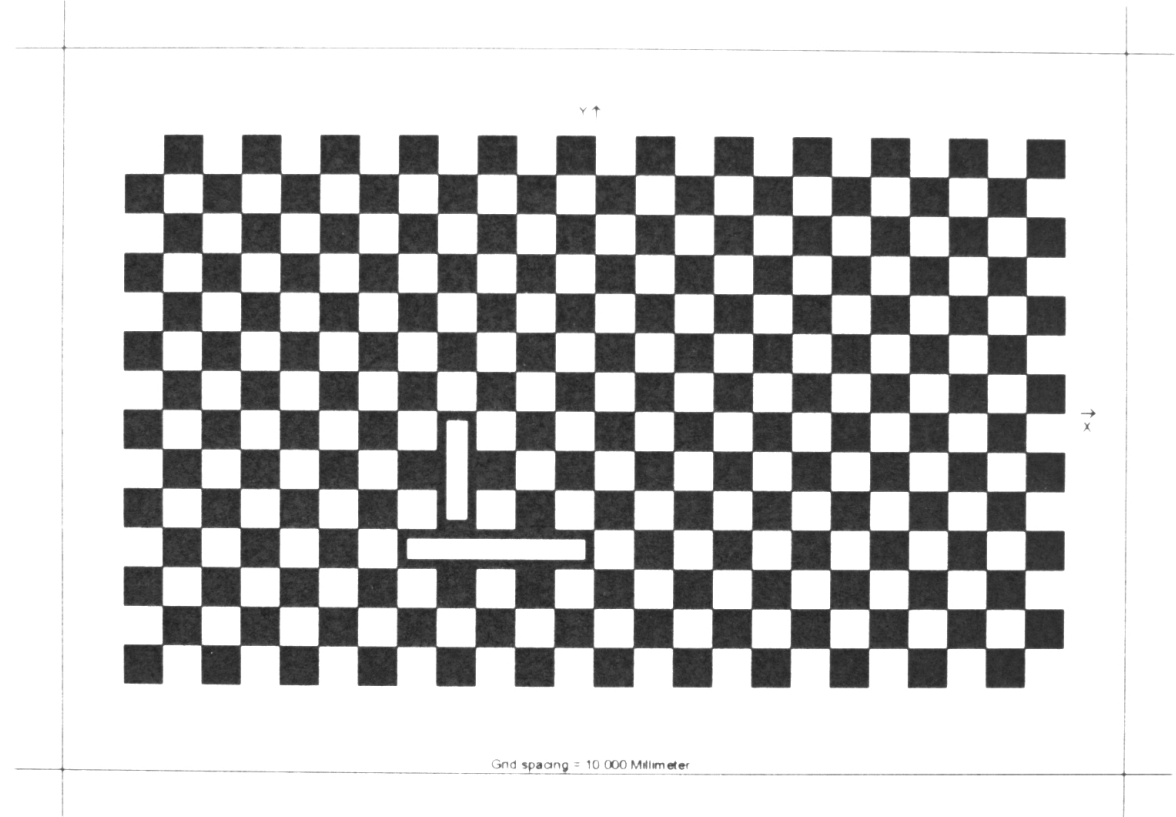
Kalibrointi (1/3)

- Jotta kuvasta tehdyt mittaukset saadaan pikseleistä millimetreiksi, täytyy kamara kalibroida
 - Tällä poistetaan myös linssin tuottama vääristymä
- Tätä varten otettiin kuvat erityisistä kalibraatiokohteista
- OpenCV:n tapauksessa shakkilauta, In-Sight Explorerin tapauksessa Cognexin oma kalibraatiokuvio
- Kuviot tulostettiin tavallisella lasertulostimella paperille

Kalibrointi (2/3)

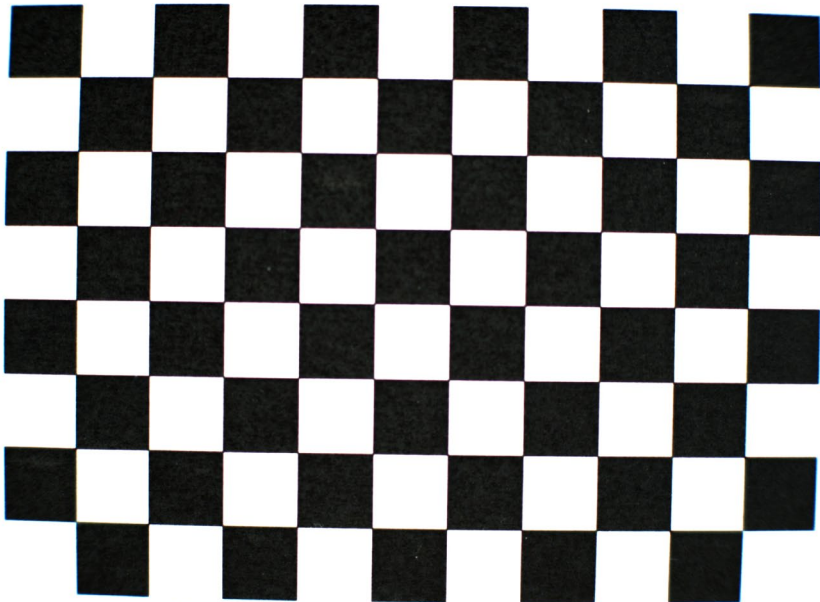


www.calib.io | 8x11 | Checker Size: 6 mm.



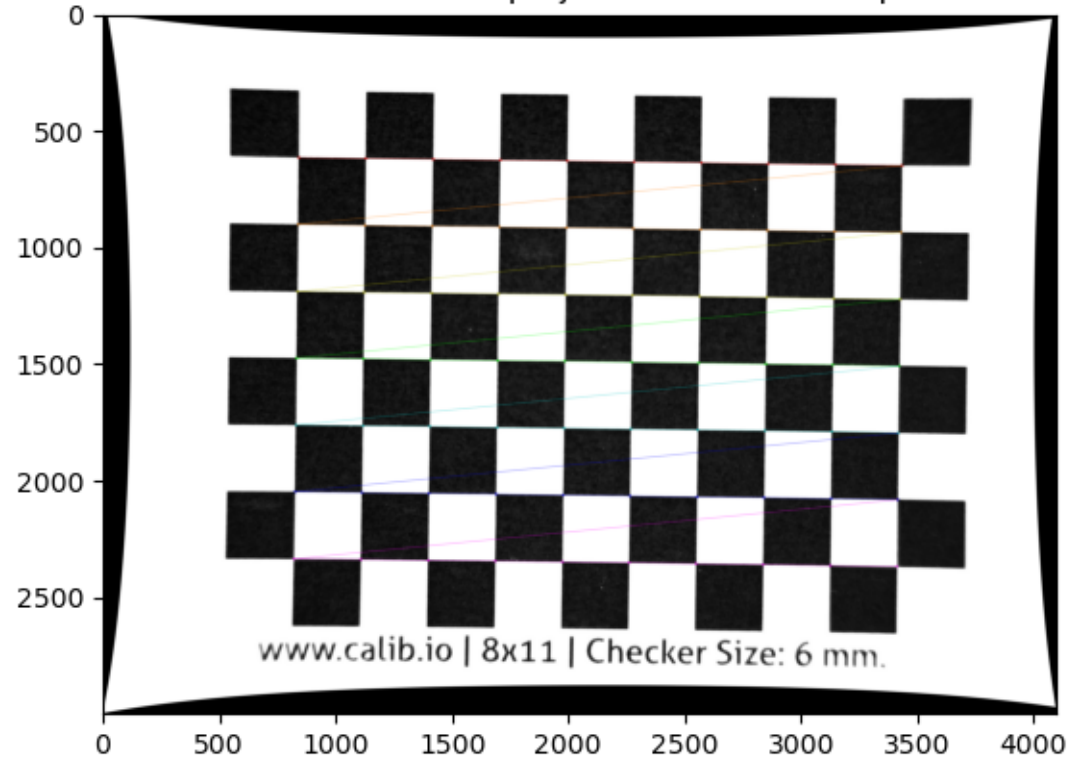
Vasemmalla shakkilauta, oikealla Cognexin kalibrointikuvio

Kalibrointi (3/3)



www.calib.io | 8x11 | Checker Size: 6 mm.

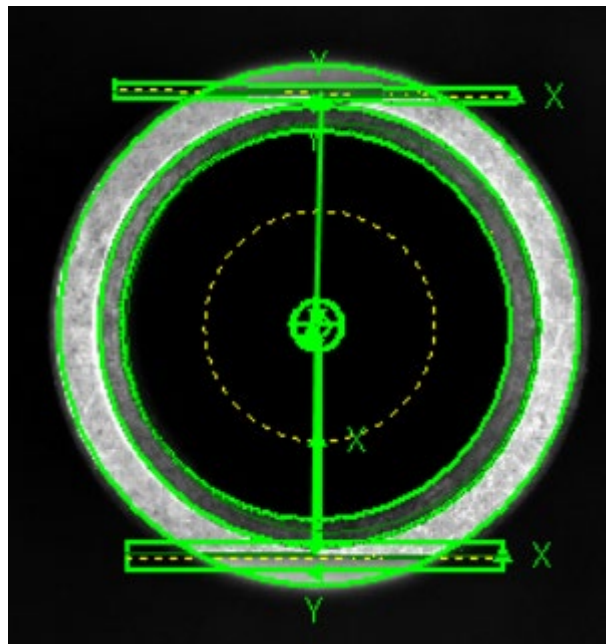
Found corners shown on the corrected image
reprojection error: 0.118 pix



- Etenkin 35 mm:n linssissä oli lyhyellä työskentelyetäisyydellä suuri vääristymä (vas.: alkuperäinen kuva, oik.: korjattu)

Mittausalgoritmit: viisteiden paksuudet ja reiän halkaisija (1/2)

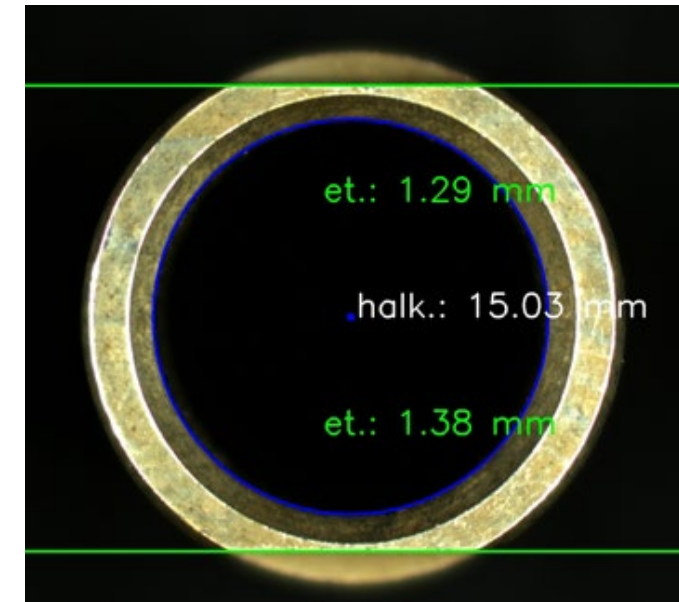
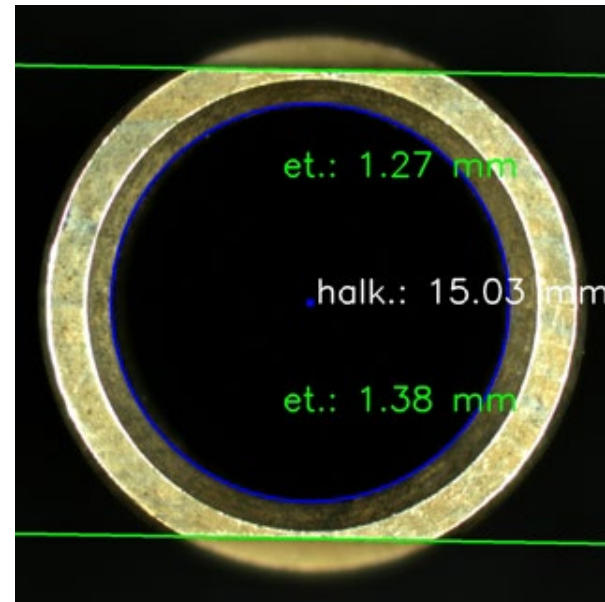
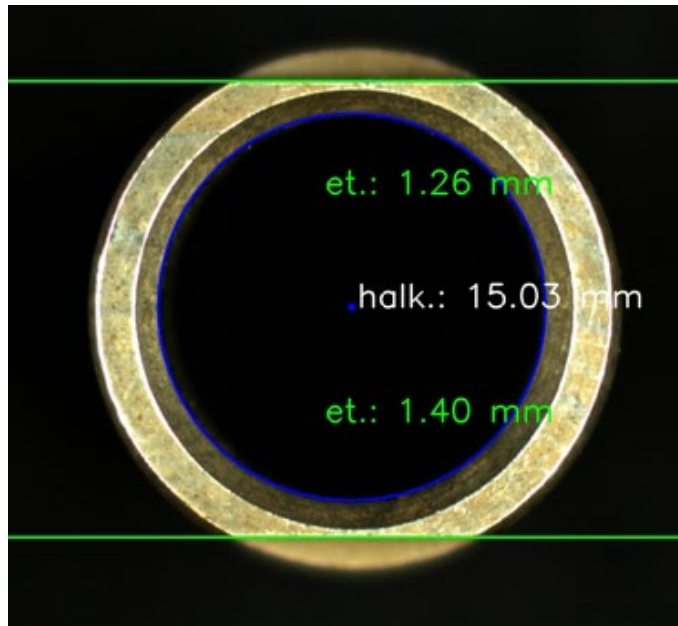
- InSight Explorer: sisäympyrän etsintä, viivasovitus viisteisiin, viivojen etäisyys ympyrästä → viisteiden paksuus, sisäympyrän halkaisija



	Name	Result	Type
	Pattern_1	(2.1,1.6) -0.0° score =...	PatMax Red...
	Diameter...	15.015 mm	Circle Diame...
	LineFit_1	(10.0,10.9), (-5.4,10.9)	Line Fit
	LineFit_2	(9.9,-6.7), (-4.7,-6.8)	Line Fit
	Circle_1	Present	Circle
	Math_1	1.343	Math
	Math_2	1.253	Math
	Concentri...	0.10 mm	Circle Conce...
	CircleFit_1	(3.0,1.9) diameter=15.8	Circle Fit
	Distance_1	8.851 mm	Distance
	Distance_2	8.760 mm	Distance

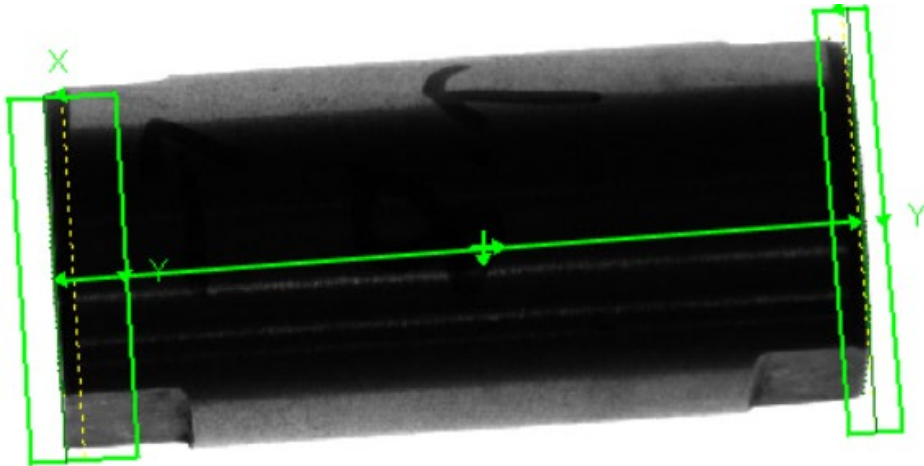
Mittausalgoritmit: viisteiden paksuudet ja reiän halkaisija

- OpenCV: sisäympyrän ja viivojen etsintä, etäisyyden ja halkaisijan laskenta



Mittausalgoritmit: osan pituus (1/2)

- InSight Explorer: viivasovitukset päihin, viivojen etäisyyden laskenta

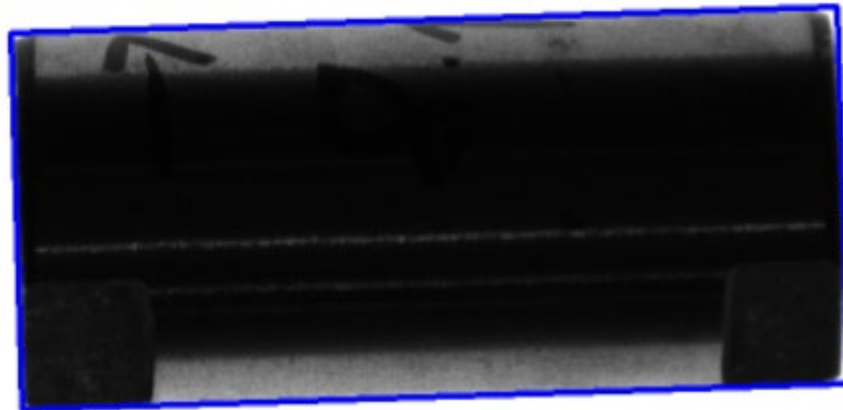


		Name	Result
		Pattern_1	(1.2,-2.8) 3.9° score =...
		LineFit_1	(-23.2,5.3), (-21.9,-14...
		LineFit_2	(21.2,10.3), (22.9,-13.1)
		Distance...	44.742 mm

Mittausalgoritmit: osan pituus (2/2)

- OpenCV: pienimmän mahdollisimman suorakulmion sovitus osan ympärille ja sen pituuden laskenta

Pituus: 44.8 mm



Mittausten tulokset

- Tulostaulukoissa esitetään mittausten (10 kuvaa) keskiarvo sekä keskihajonta
 - Lisäksi laskettiin mittausten keskimääräinen ero referenssiin sekä keskimääräinen keskihajonta
- Taulukoissa *kursivoitu* tulos tarkoittaa, että vähintään yhdellä kuvalla 10:stä mittaus epäonnistui



Viisteen paksuudet, 2 Mpix:n kamera

Osa #	Paksuus 1 (mm)			Paksuus 2 (mm)		
	Tönäri	InSight	OpenCV	Tönäri	InSight	OpenCV
1	1,34	1,28±0,03	1,32±0,05	1,36	1,36±0,04	1,28±0,03
2	1,42	1,35±0,01	1,31±0,11	1,28	1,24±0,01	1,18±0,12
3	1,51	1,50±0,01	1,54±0,07	1,25	0,97±0,03	-
4	1,35	1,36±0,02	1,33±0,13	1,32	1,29±0,03	1,18±0,20
5	1,26	1,23±0,02	1,23±0,02	1,45	1,44±0,02	1,44±0,10
6	1,43	1,41±0,02	1,43±0,02	1,30	1,27±0,02	1,28±0,07
7	1,41	1,28	1,31±0,03	1,36	1,28±0,02	1,29±0,02
8	1,42	1,34±0,01	1,32±0,14	1,27	1,21±0,03	1,20±0,06
Keskim. ero tönäriin		0,05	0,05		0,07	0,07
Keskim. keskihajonta		0,02	0,08		0,01	0,09

Viisteen paksuudet, 12 Mpix:n kamera

(Osa #4 oli jäänyt toiseen tilaan näitä mittauksia tehdessä, ja sen tulokset puuttuvat)

Osa #	Paksuus 1 (mm)			Paksuus 2 (mm)		
	Tönäri	InSight	OpenCV	Tönäri	InSight	OpenCV
1	1,34	1,25±0,01	1,27±0,02	1,36	1,31±0,03	1,36±0,02
2	1,42	1,45±0,13	1,23±0,17	1,28	1,26±0,02	1,26±0,00
3	1,51	1,30±0,05	1,23±0,18	1,25	1,32±0,02	1,15±0,05
5	1,26	1,31±0,03	1,25±0,10	1,45	1,39±0,03	1,42±0,01
6	1,43	1,28±0,01	1,26±0,04	1,30	1,37±0,02	-
7	1,41	1,24±0,04	1,31±0,01	1,36	1,35±0,05	1,31±0,01
8	1,42	1,28±0,05	1,35±0,05	1,27	1,32±0,04	1,15±0,21
Keskim. ero tönäriin		0,12	0,13		0,05	0,05
Keskim. keskihajonta		0,04	0,08		0,03	0,05



Sisähalkaisijat, 2 Mpix:n kamera

Osa #	Sisähalkaisija (mm)		
	Tönäri	InSight	OpenCV
1	15,12–15,26	15,07±0,01	15,37±0,07
2	15,13–15,22	14,99±0,02	15,47±0,21
3	15,16–15,22	14,99±0,01	15,30±0,05
4	15,13–15,21	14,99±0,02	15,47±0,24
5	15,11–15,22	15,02±0,08	15,30±0,16
6	15,08–15,12	14,99±0,02	15,29±0,05
7	15,07–15,17	15,02±0,02	15,34±0,01
8	15,19–15,22	15,00±0,05	15,36±0,14
Keskim. ero tönäriin ka:han		0,15	0,20
Keskim. keskihajonta		0,03	0,08

Sisähalkaisijat, 12 Mpix:n kamera

(Osa #4 oli jäänyt toiseen tilaan näitä mittauksia tehdessä, ja sen tulokset puuttuvat)

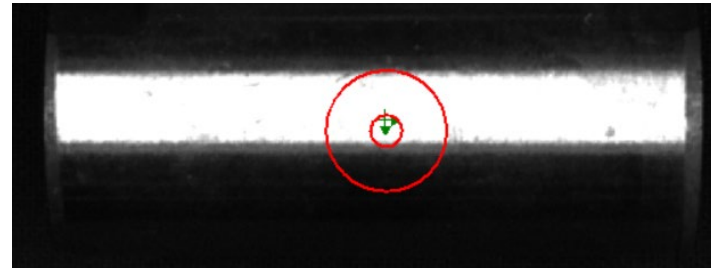
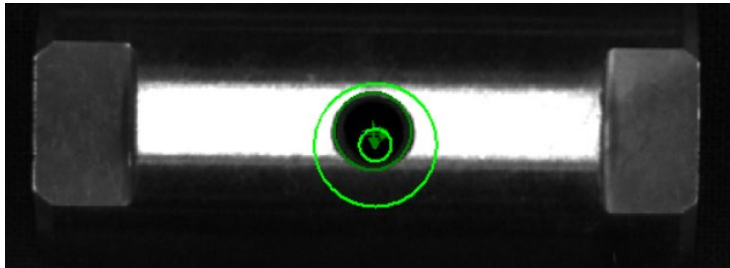
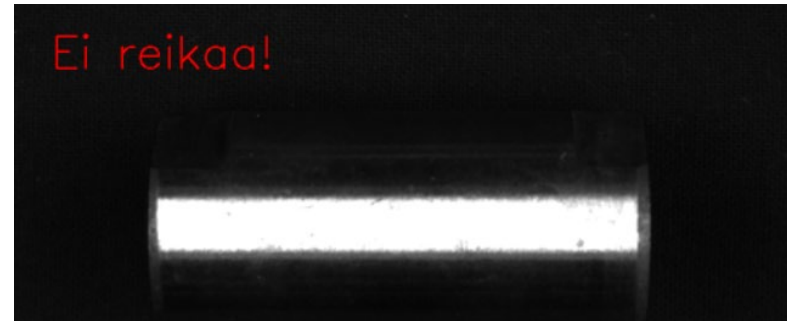
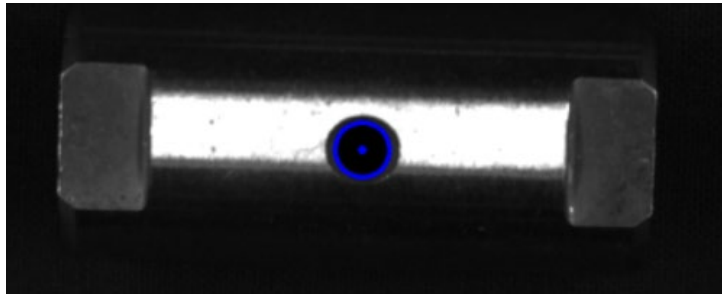
Osa #	Sisähalkaisija (mm)		
	Tönäri	InSight	OpenCV
1	15,12–15,26	15,03±0,01	15,06±0,04
2	15,13–15,22	14,94±0,08	15,16±0,27
3	15,16–15,22	15,00±0,05	15,10±0,23
5	15,13–15,21	14,90±0,05	15,03±0,02
6	15,11–15,22	14,94±0,03	15,02±0,03
7	15,08–15,12	15,01±0,10	15,04±0,01
8	15,07–15,17	14,96±0,06	15,08±0,20
Keskim. ero tönäriin ka:han		0,05	0,09
Keskim. keskihajonta		0,05	0,11

Osan pituus (vain 2 Mpix kamera)

Osa #	Pituus (mm)		
	Tönäri	InSight	OpenCV
1	44,95	44,66±0,04	44,74±0,06
2	44,95	44,62±0,03	44,68±0,06
3	45,05	44,69±0,05	44,82±0,07
4	45,03	44,67±0,06	44,75±0,09
5	44,95	44,65±0,07	44,71±0,11
6	44,94	44,77±0,04	44,91±0,09
7	45,02	44,75±0,06	44,85±0,08
8	44,99	44,71±0,03	44,81±0,04
Keskim. ero tönäriin		0,30	0,20
Keskim. keskihajonta		0,05	0,08

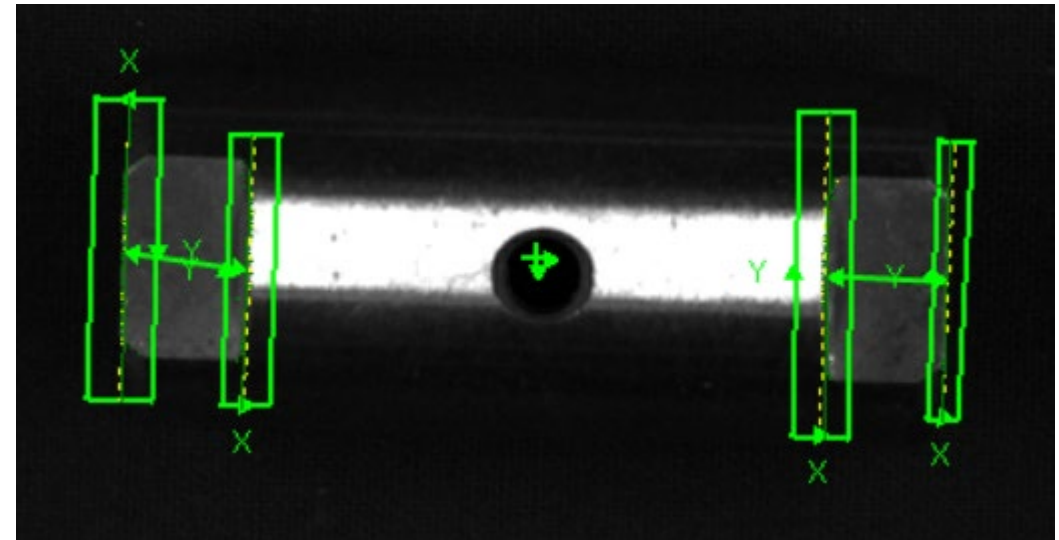
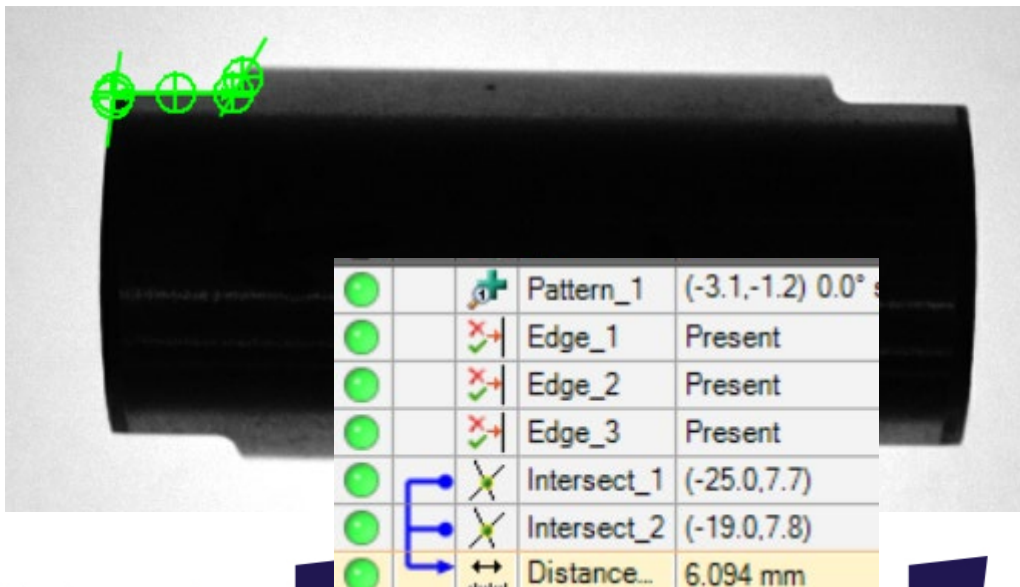
Muut mittaukset (1/2)

- Sivureiän puuttuminen oli yksi mielenkiinnon kohde
- Se on helppo havaita, koska reikä on niin selkeä

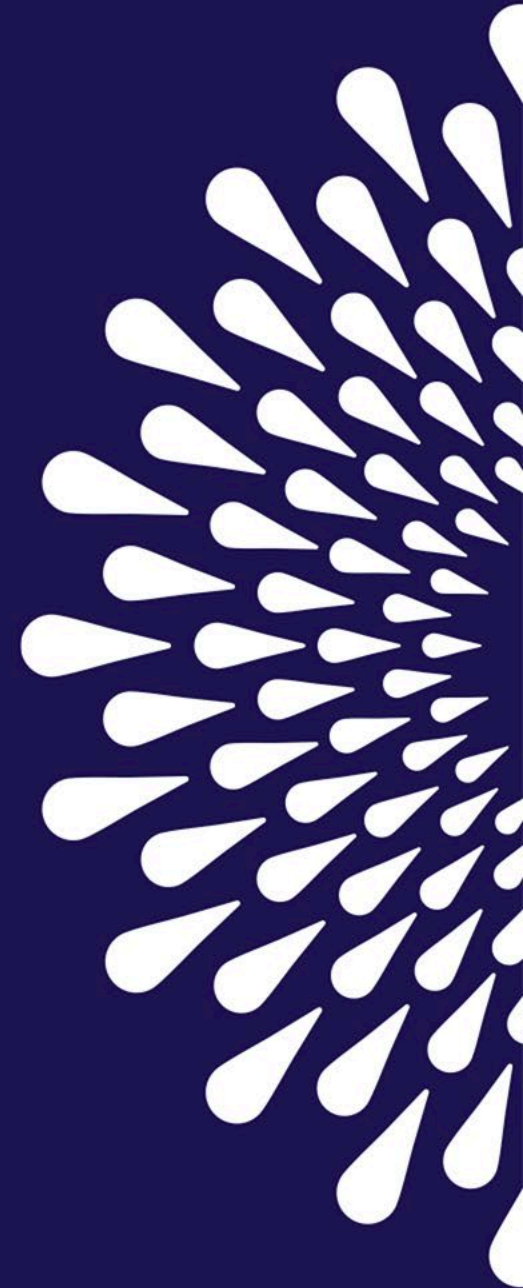


Muut mittaukset (2/2)

- Viisteen pituus voidaan mitata sivulta otetusta kuvasta siluetista tai sivureiän suunnasta kuvattuna reunojen avulla
 - Referenssimittausta ei pystytty tönärillä tekemään

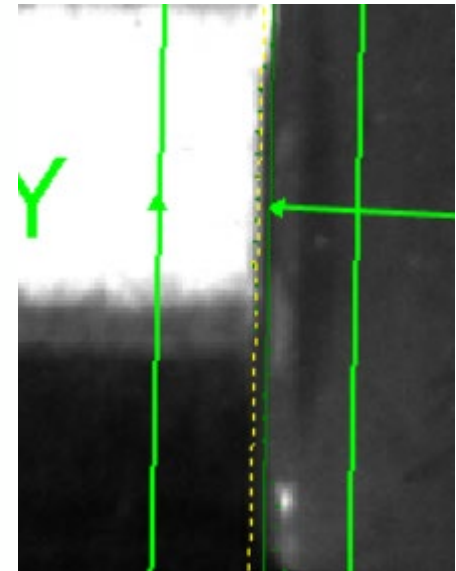
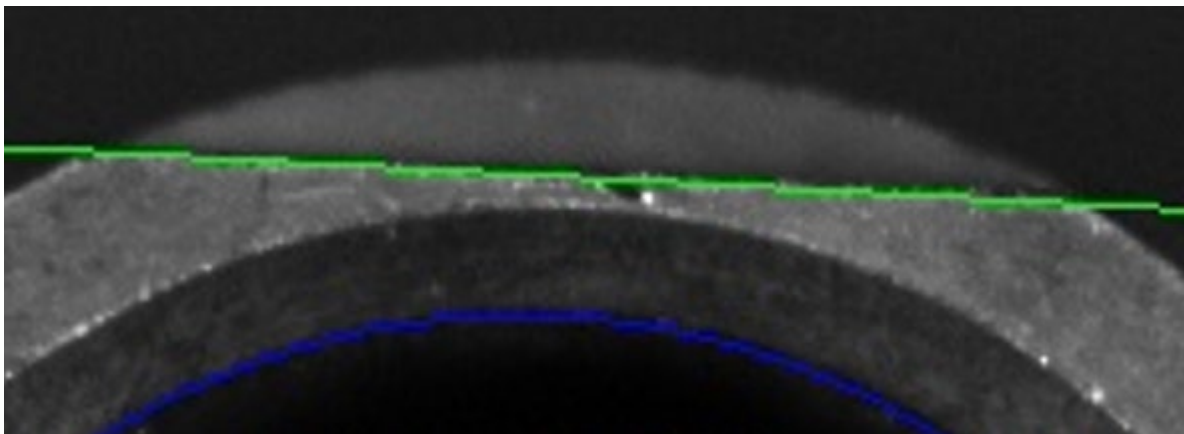


Yhteenveto ja pohdinta



Yhteenveto

- Mittauksissa vaadittavat piirteet (reunat) saatiin kuvasta löydettyä kohtalaisen helposti (ei tosin joka kuvasta)
- Reunojen etsinnässä tulee väkisin pikselin parin heittoa → kennon resoluution tulee olla riittävä
- Hajontaa on toki myös tönärimitauksissa



Mittauksien tarkkuus (1/3)

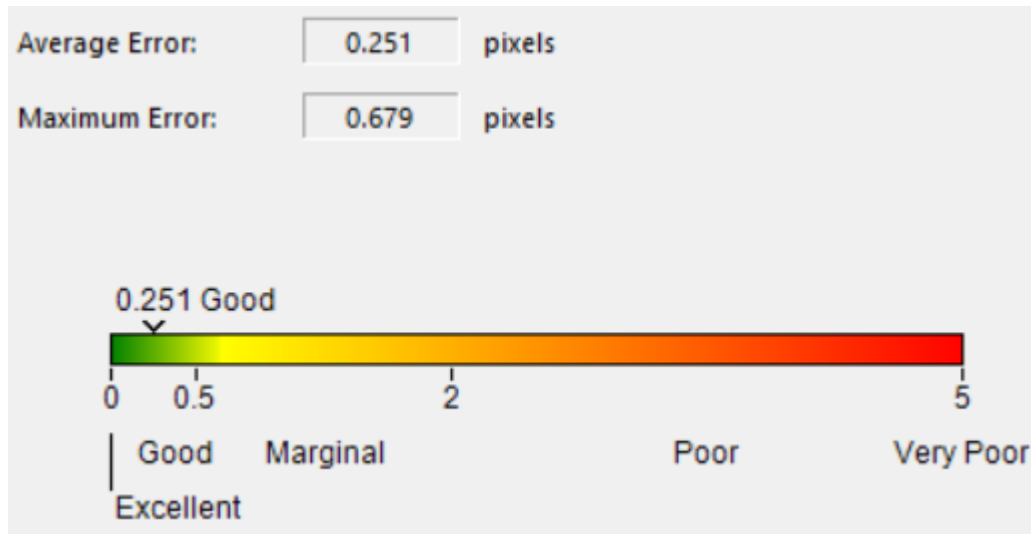
- 12 Mpix:n kameran käyttö paransi tarkkuutta ja pienensi mittausten hajontaa viisteiden paksuuksien ja sisähalkaisijan mittauksessa
 - Ei kuitenkaan niin paljon kuin oletettiin
- Hieman yllättäen osan pituusmittaus oli epätarkin mittaus, vaikka periaate on siinä yksinkertainen
 - Johtuu ehkä siitä, että mitattava pinta ei ollut tasainen vaan kupera

Mittauksien tarkkuus (2/3)

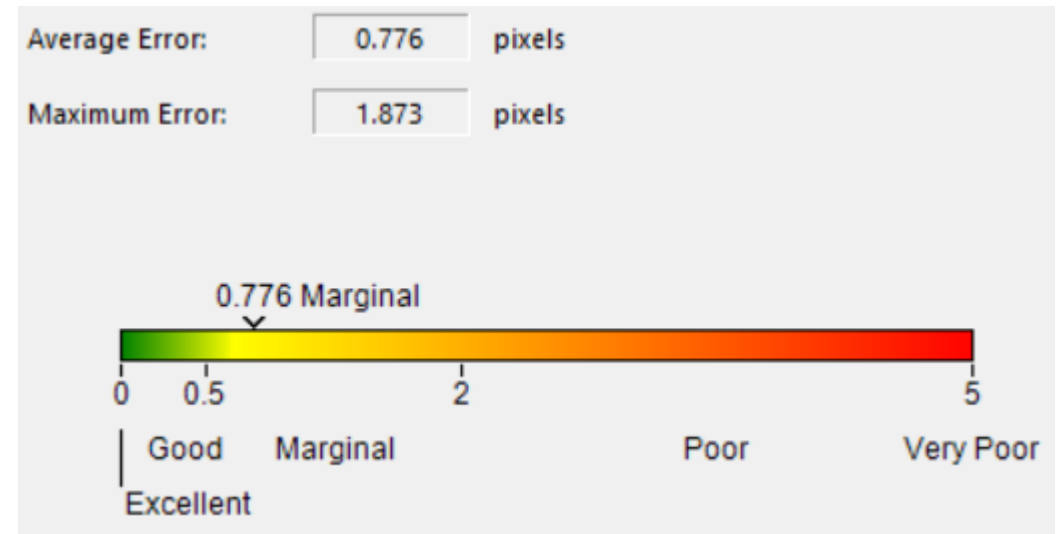
- Mittauksen tarkkuus saadaan maksimoitua kun
 - Kamera ja linssi on mitoitettu mittauskohteen mukaan
 - Kalibraatio-objekti on oikeankokoinen ja riittävän tarkka
- Viisteiden paksuuden mittauksessa käytetty linssi ei ollut optimaalinen
- Kalibrointiobjektikin olisi voinut olla tarkempi (nyt tavallinen tuloste)
- Valmiita mitoitustyökaluja löytyy eri valmistajien sivuilta
 - Esim. [Edmund Opticsilla](#)
- Valmiita kalibrointiobjekteja voi ostaa tai tehdä itse
 - Esim. [täältä](#)

Mittauksien tarkkuus (3/3)

- Kalibraatio onnistui huonommin 12 Mpix:n kameralla → vaikutti todennäköisesti tuloksiin
 - Kalibroinnissa käytetyn ruudukon tiheys tai tulostimen tarkkuus ei ehkä ollut riittävä
 - Parempi kalibrointiobjekti tarpeen



Kalibraatiotulokset 2 Mpix:n kameran kuvasta



Kalibraatiotulokset 12 Mpix:n kameran kuvasta



ETELÄ-POHJANMAAN
liitto



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa

EU:lta
2014–2020

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES