



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

ITE INSTYTUT
PIB TECHNOLOGII
EKSPLOATACJI
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY RADOM

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

Algorytmy analizy danych 2D/3D w optomechatronicznym systemie kontroli jakości wyrobów

Piotr Garbacz

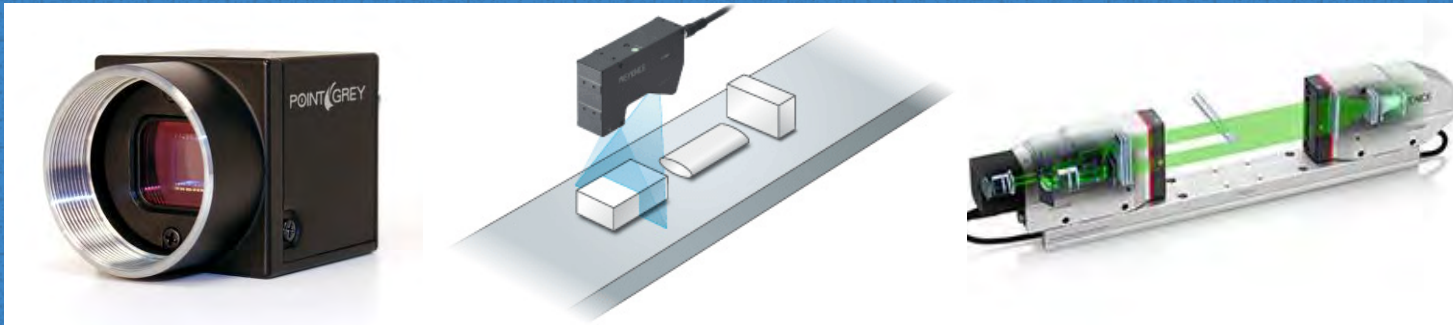
Plan prezentacji

1. Rodzaje analizowanych danych
2. Opracowane algorytmy analizy danych
3. Weryfikacja modułów pomiarowych
4. Parametryzacja procesu inspekcji
5. Podsumowanie
6. Dorobek publikacyjny

1

Rodzaje analizowanych danych

Bezkontaktowe pomiary optyczne



Rodzaje analizowanych danych

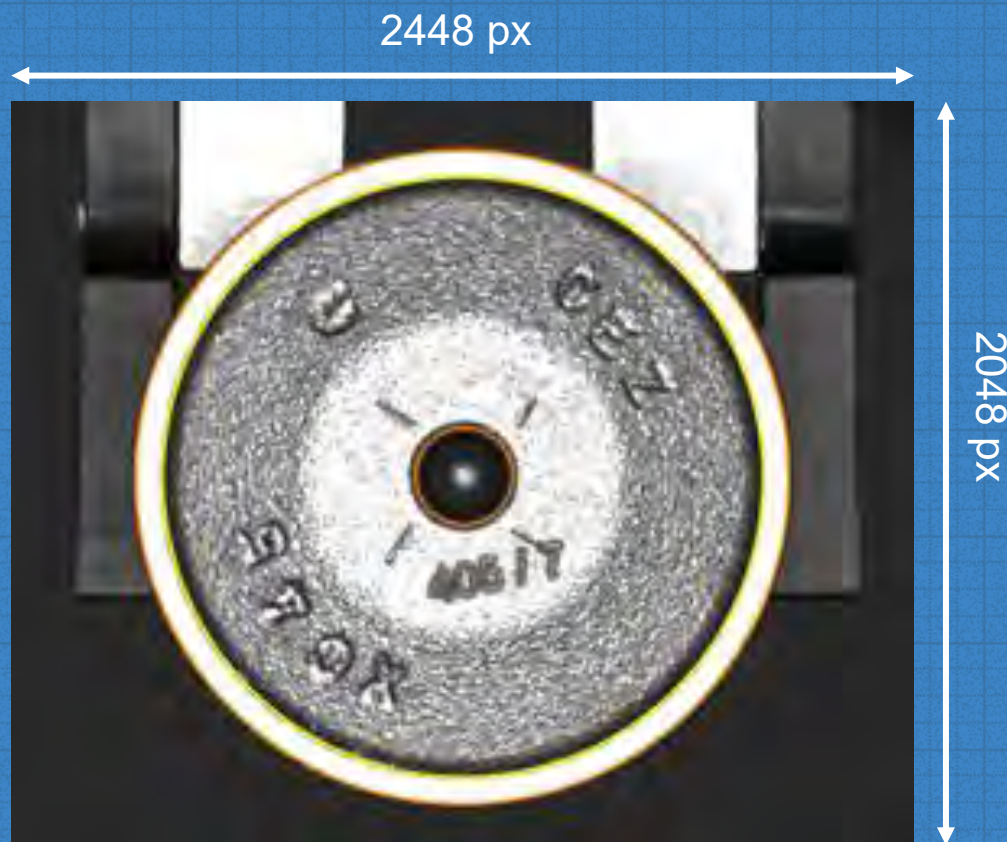
4/29



Kamera monochromatyczna
Rozdzielczość – 5 Mpx
Głębina danych – 8 bit
Fizyczny rozmiar piksela – $3,45 \mu\text{m}$

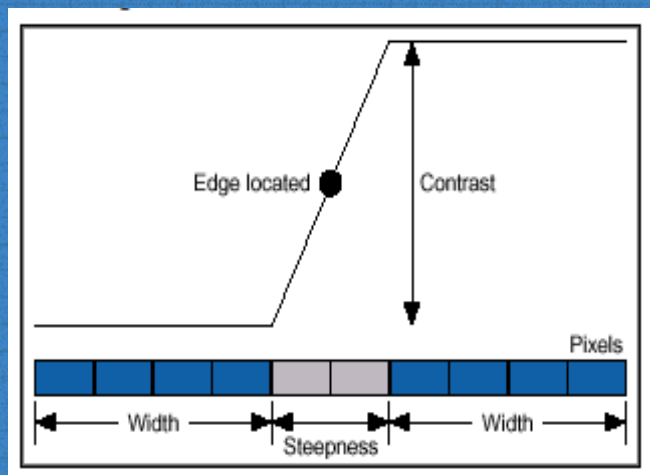
$1\text{px} = 34,5 \mu\text{m}$

Mag. = 0,100



Rodzaje analizowanych danych

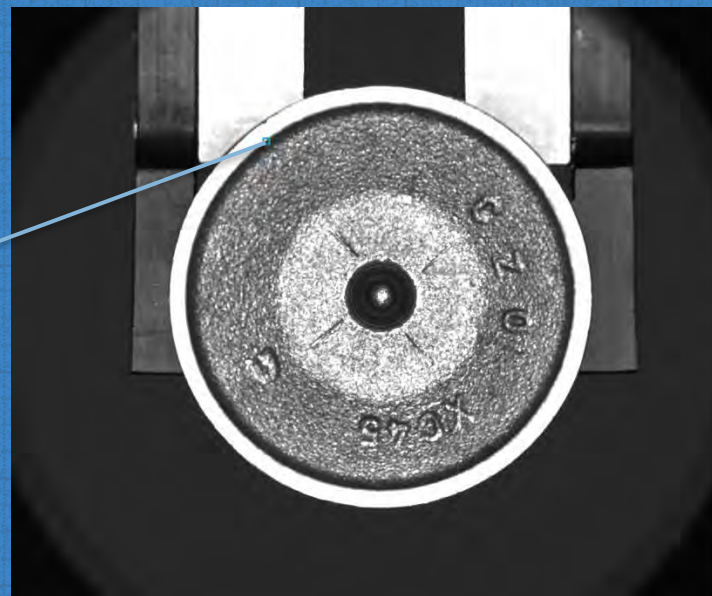
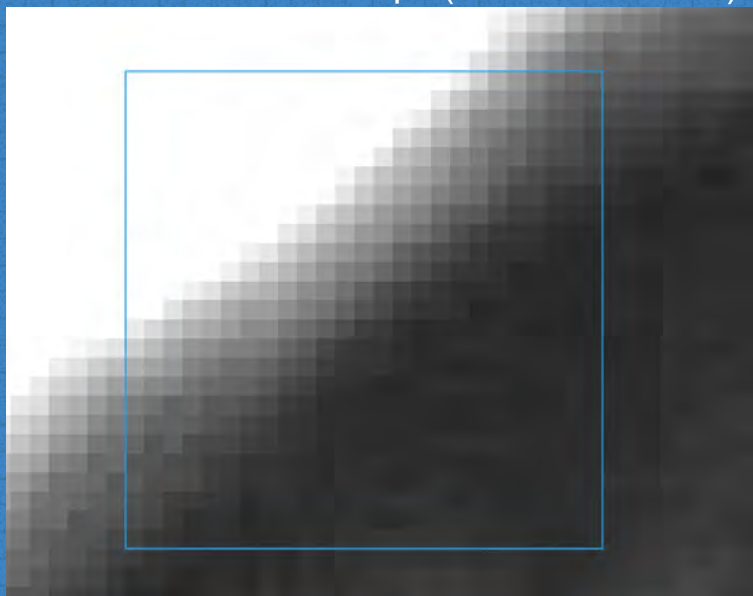
5/29



1px=34,5 μ m

Szerokość zbocza ok.8px (Kontrast ok. 200)

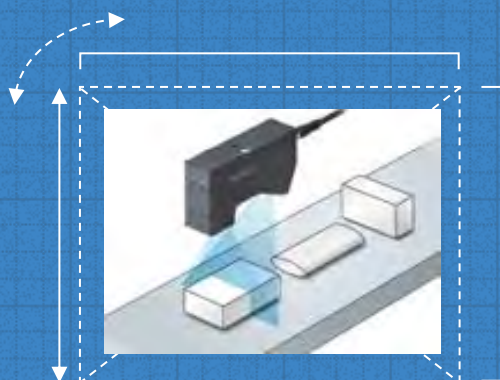
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	254,0	254,0	253,0	253,0	255,0	255,0	254,0	255,0	254,0	239,0	209,0	178,0	155,0	133,0	115,0	103,0	97,0
1	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	253,0	255,0	255,0	253,0	255,0	255,0	255,0	254,0	255,0	255,0	232,0	203,0	177,0	156,0	141,0	118,0	101,0	93,0	85,0
2	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	254,0	255,0	254,0	254,0	255,0	255,0	252,0	255,0	250,0	236,0	203,0	175,0	145,0	140,0	122,0	107,0	93,0	87,0	76,0
3	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	254,0	254,0	255,0	253,0	252,0	255,0	255,0	223,0	201,0	176,0	160,0	134,0	121,0	106,0	95,0	84,0	79,0	68,0
4	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	253,0	255,0	255,0	253,0	255,0	253,0	229,0	195,0	180,0	156,0	136,0	123,0	107,0	103,0	88,0	78,0	75,0	66,0
5	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	255,0	253,0	255,0	255,0	253,0	255,0	246,0	220,0	195,0	180,0	162,0	147,0	124,0	115,0	101,0	85,0	76,0	67,0	61,0
6	255,0	253,0	255,0	254,0	255,0	253,0	255,0	255,0	254,0	255,0	251,0	228,0	201,0	180,0	161,0	147,0	128,0	115,0	107,0	86,0	71,0	70,0	57,0	50,0
7	255,0	254,0	255,0	254,0	255,0	255,0	253,0	255,0	252,0	242,0	215,0	193,0	177,0	155,0	142,0	130,0	109,0	94,0	89,0	74,0	63,0	59,0	51,0	46,0
8	253,0	252,0	255,0	255,0	254,0	255,0	255,0	255,0	233,0	216,0	192,0	174,0	153,0	145,0	125,0	112,0	96,0	79,0	68,0	57,0	54,0	52,0	45,0	42,0
9	255,0	255,0	255,0	254,0	255,0	253,0	241,0	230,0	206,0	187,0	166,0	151,0	137,0	124,0	101,0	87,0	78,0	67,0	57,0	50,0	49,0	48,0	41,0	41,0
10	253,0	254,0	255,0	255,0	253,0	240,0	217,0	200,0	183,0	164,0	146,0	129,0	120,0	105,0	90,0	76,0	64,0	56,0	48,0	41,0	43,0	42,0	43,0	41,0
11	253,0	255,0	252,0	241,0	226,0	200,0	186,0	176,0	159,0	141,0	133,0	114,0	97,0	79,0	69,0	60,0	54,0	48,0	46,0	46,0	43,0	42,0	42,0	41,0
12	255,0	254,0	227,0	204,0	191,0	172,0	158,0	156,0	142,0	127,0	116,0	98,0	83,0	73,0	60,0	53,0	48,0	41,0	42,0	41,0	43,0	41,0	39,0	40,0
13	235,0	216,0	194,0	180,0	169,0	156,0	140,0	139,0	120,0	107,0	94,0	79,0	63,0	59,0	50,0	44,0	45,0	44,0	43,0	45,0	42,0	40,0	40,0	41,0
14	207,0	187,0	166,0	148,0	142,0	129,0	127,0	118,0	102,0	90,0	72,0	60,0	54,0	53,0	46,0	42,0	44,0	46,0	46,0	46,0	45,0	43,0	42,0	42,0
15	174,0	162,0	151,0	131,0	122,0	111,0	109,0	100,0	86,0	77,0	63,0	55,0	52,0	52,0	46,0	42,0	42,0	41,0	42,0	43,0	44,0	44,0	45,0	43,0
16	148,0	134,0	129,0	115,0	106,0	102,0	97,0	87,0	72,0	64,0	53,0	48,0	47,0	42,0	42,0	44,0	46,0	46,0	45,0	45,0	42,0	42,0	46,0	42,0
17	123,0	114,0	99,0	103,0	90,0	90,0	82,0	73,0	61,0	55,0	48,0	46,0	45,0	44,0	43,0	43,0	42,0	41,0	42,0	43,0	41,0	41,0	45,0	43,0
18	114,0	100,0	98,0	94,0	85,0	79,0	70,0	63,0	54,0	52,0	47,0	47,0	45,0	45,0	44,0	43,0	43,0	42,0	44,0	45,0	43,0	43,0	44,0	45,0
19	101,0	85,0	93,0	77,0	74,0	72,0	64,0	59,0	53,0	51,0	46,0	47,0	44,0	44,0	43,0	45,0	47,0	48,0	49,0	48,0	46,0	44,0	45,0	46,0
20	87,0	85,0	77,0	74,0	65,0	61,0	54,0	53,0	50,0	48,0	45,0	48,0	46,0	49,0	45,0	45,0	45,0	43,0	43,0	44,0	45,0	44,0	44,0	46,0
21	91,0	79,0	78,0	75,0	63,0	58,0	52,0	53,0	50,0	47,0	44,0	49,0	49,0	46,0	44,0	46,0	49,0	47,0	44,0	43,0	44,0	44,0	48,0	46,0
22	81,0	74,0	64,0	60,0	56,0	53,0	45,0	50,0	50,0	46,0	48,0	45,0	50,0	49,0	53,0	51,0	49,0	45,0	48,0	44,0	42,0	44,0	44,0	47,0
23	75,0	70,0	58,0	48,0	51,0	49,0	43,0	46,0	47,0	46,0	46,0	48,0	49,0	43,0	46,0	49,0	51,0	51,0	50,0	47,0	45,0	46,0	47,0	48,0
24	67,0	56,0	52,0	48,0	50,0	48,0	45,0	46,0	47,0	50,0	47,0	53,0	51,0	55,0	53,0	54,0	54,0	54,0	49,0	48,0	47,0	45,0	44,0	47,0



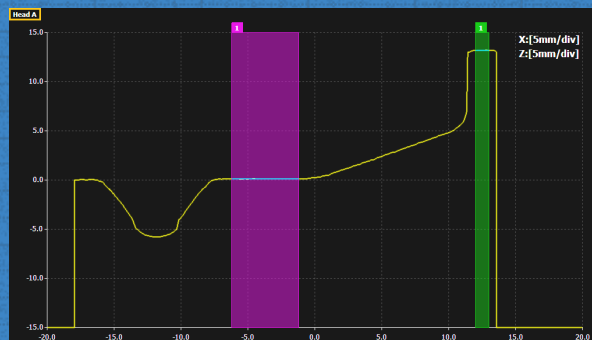
Rodzaje analizowanych danych

6/29

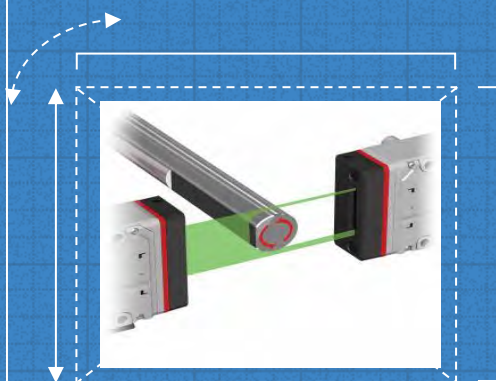
Głowica laserowa



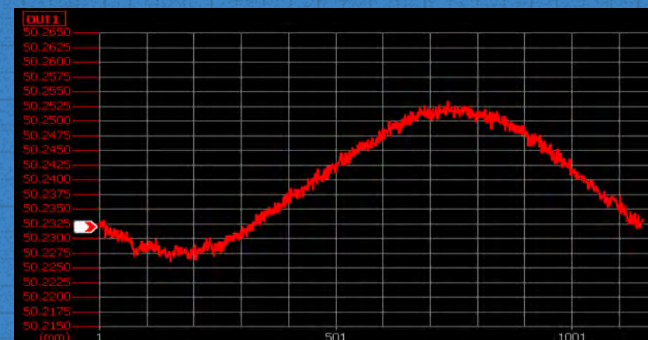
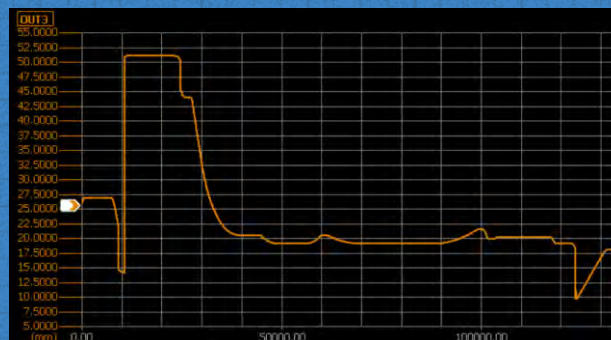
- Profil odległości, zmiana położenia krawędzi

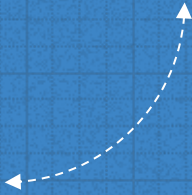
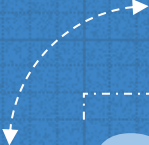


Mikrometr optyczny



- Profil krawędzi, zmiana położenia krawędzi





2

Algorytmy analizy danych 2D/3D



1000 skutecznych filtrów



Optymalizacje sprzętowe



Pętle, warunki, podprogramy

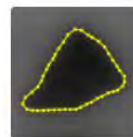
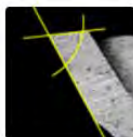
- Przetwarzanie obrazów
- Analiza blobów
- Analiza konturów
- Geometria planarna

- Dopasowanie kształtów
- Kalibracja kamery
- Analiza Fouriera
- Transformacja Hougha

- Kody kreskowe
- Kody macierzowe
- Detekcja rogów
- Analiza profili 1D

- Pomiary 1D
- Pomiary 2D
- Wyszukiwanie wzorca
- Analiza histogramów

- OCR
- Sztuczne sieci neuronowe
- Maszyny wektorów nośnych
- GigE Vision i GenTL

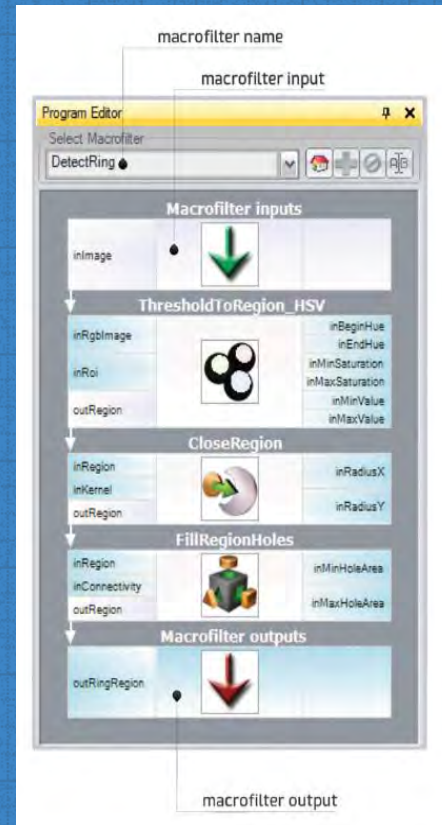


User Filters

- Basic
- Camera Support
- Image
- imagepa_win32
- Keyence
 - LJV
 - LS9

- LS9clearStorage
- LS9connect
- LS9getMeasureData
- LS9getStorageData
- LS9getStorageStatus
- LS9startStoring
- LS9stopStoring

```
class LS9getMeasureData : public UserFilter
{
private:
public:
    void Define()
    {
        SetName(L"LS9getMeasureData");
        SetCategory(L"Keyence::LS9");
        SetTip(L"Keyence Mikrometr");
        SetFilterType(avs::FilterType::LoopAccumulator);
        // Name Type Default Tool-tip
        AddOutput(L"outValue1", L"Real", L"");
    }
    int Init()
    {
        UserFilter::Init();
        return INIT_OK;
    }
    int Invoke()
    {
        // Get data from the inputs
        bool stan;
        atl::real v1;
        int rc;
        stMeasureData = new LS9IF_MEASURE_DATA();
        rc = LS9IF_GetMeasurementValue(stMeasureData);
        if (rc == 0)
        {
            stan = true;
            v1 = stMeasureData->stMeasureValue[0].fValue;
        }
    }
}
```



Statystyki struktury projektu

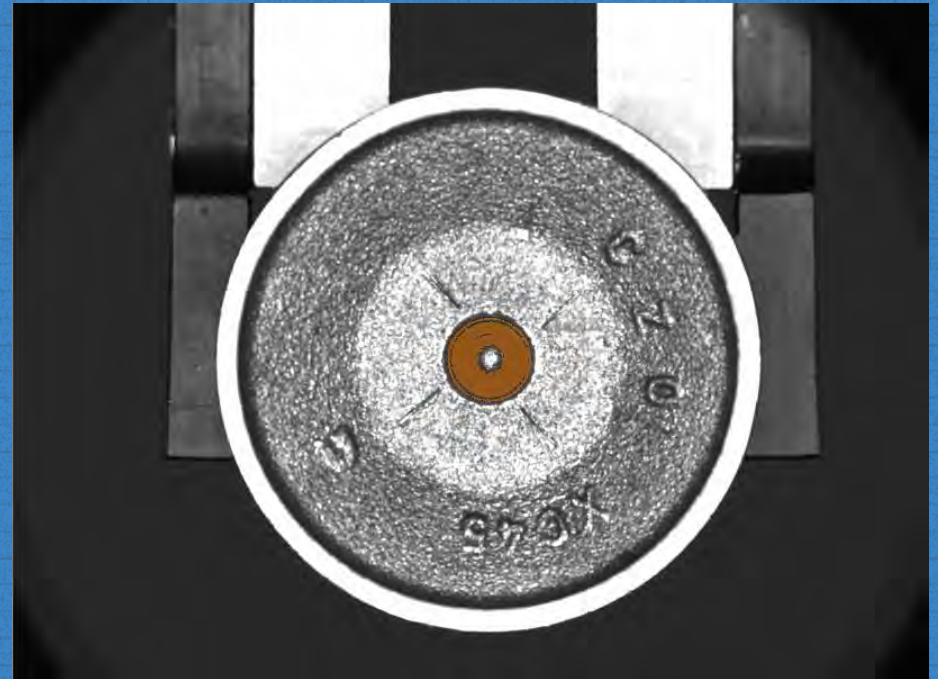
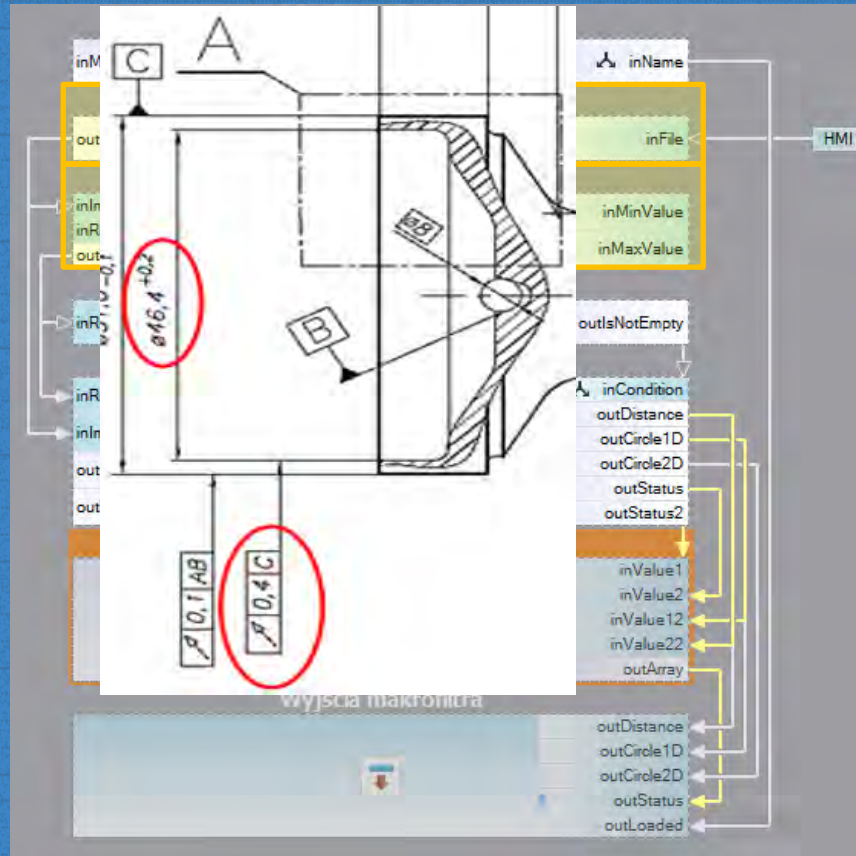
Ilość makrofiltrów: 194

Ilość instancji filtrów:	697
Ilość filtrów:	697
Ilość połączeń:	3183

Ilość filtrów podstawowych:	668
Ilość filtrów zaawansowanych:	29

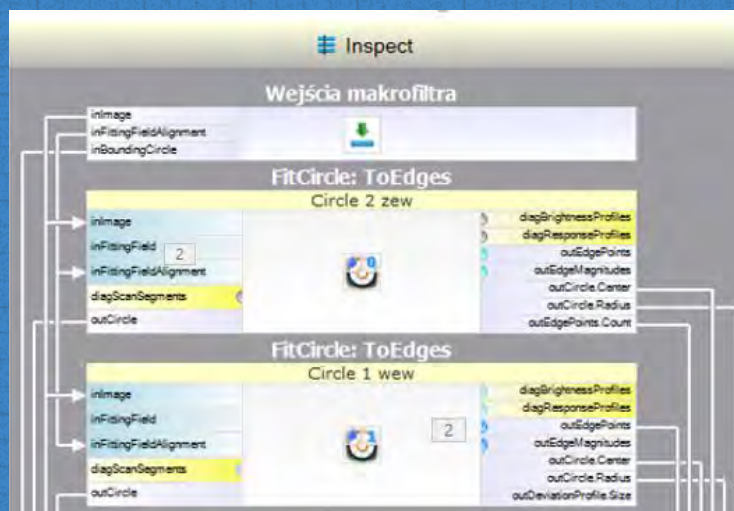
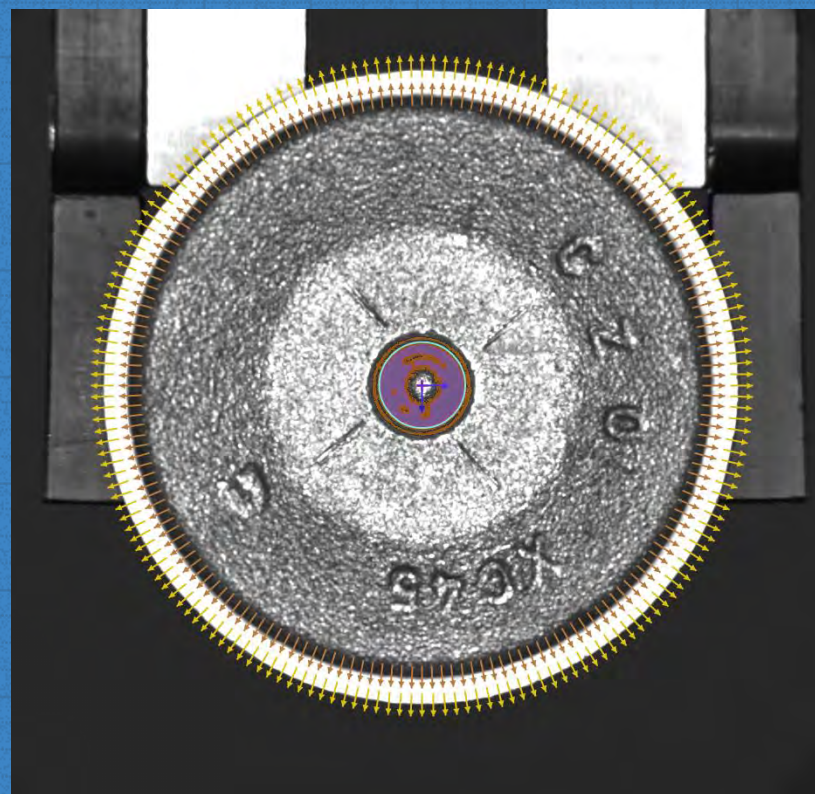
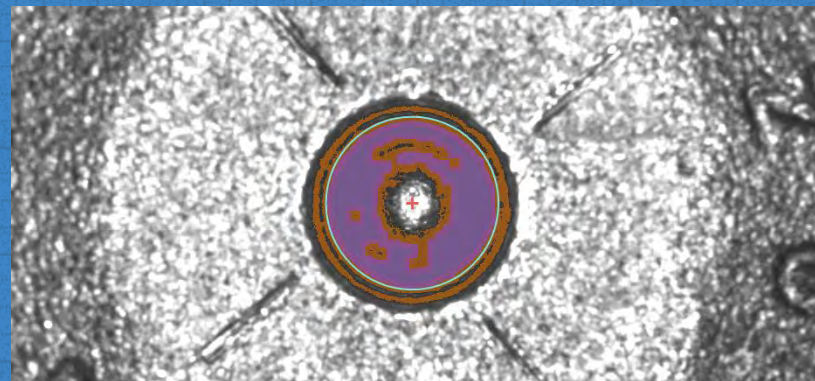
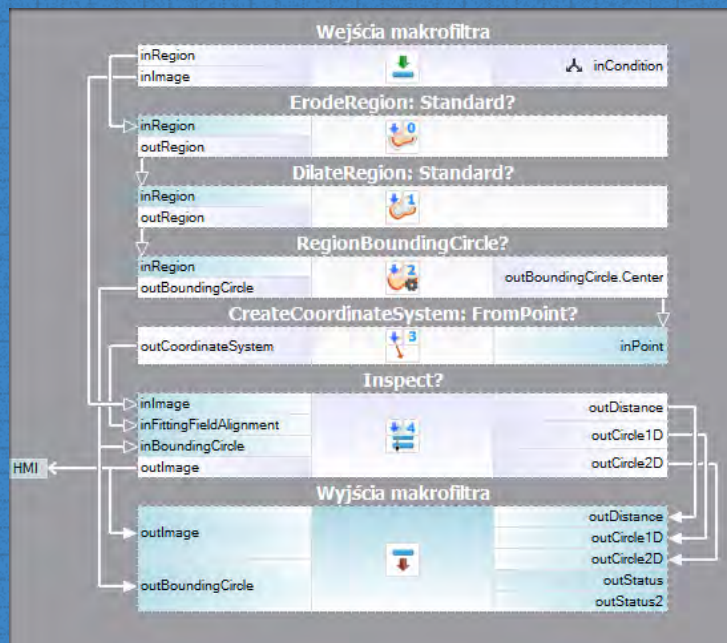
Kamera: Analiza obrazów 2D

9/29



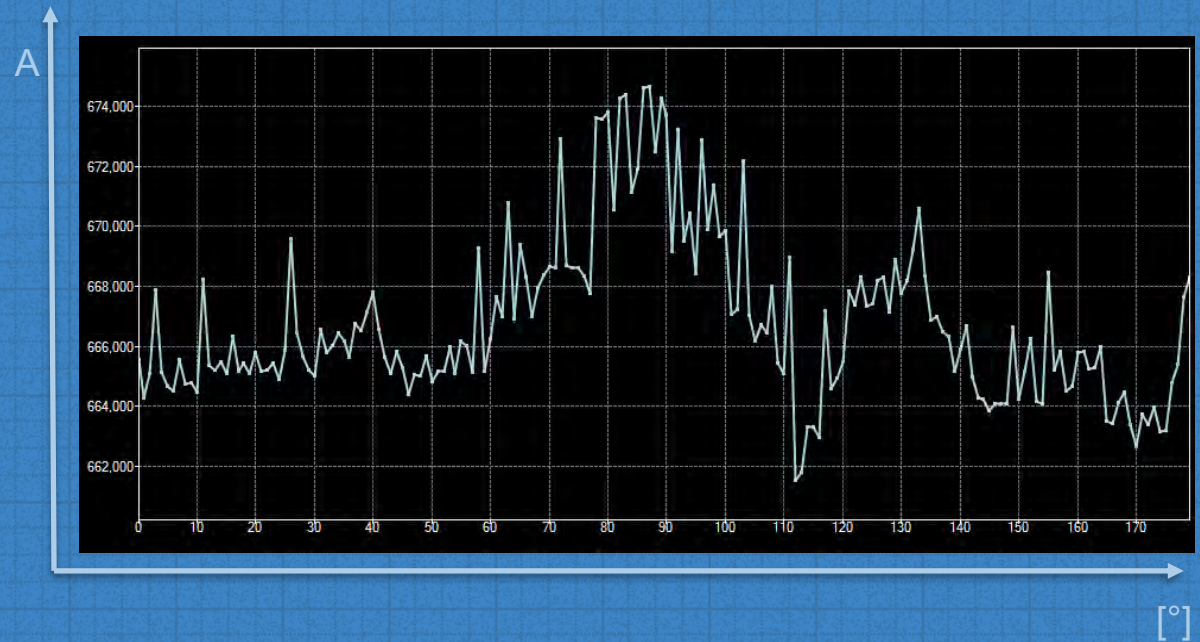
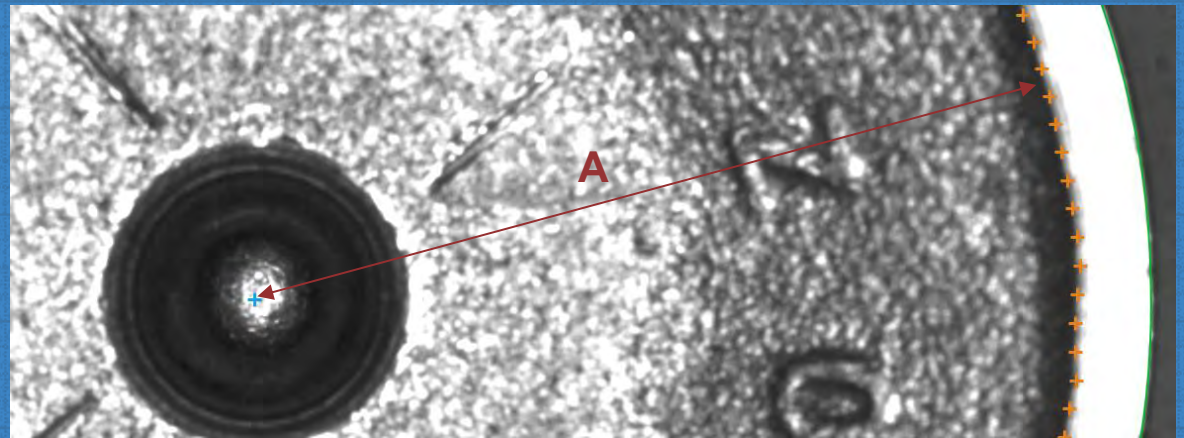
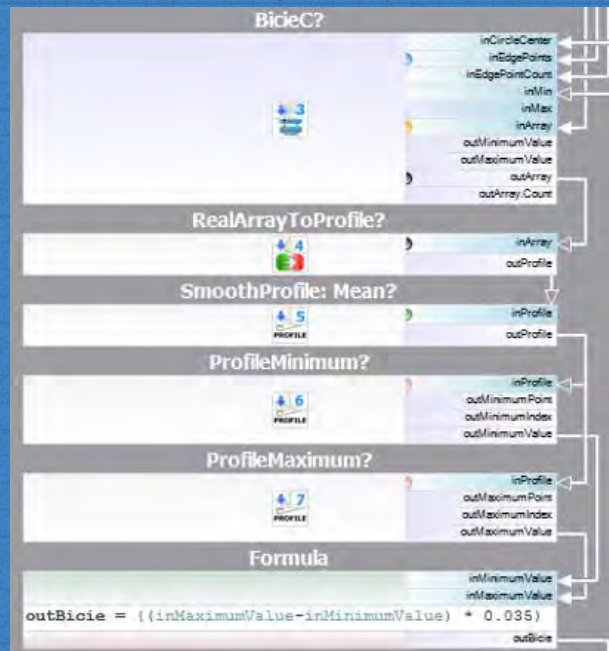
Kamera: Analiza obrazów 2D

10/29



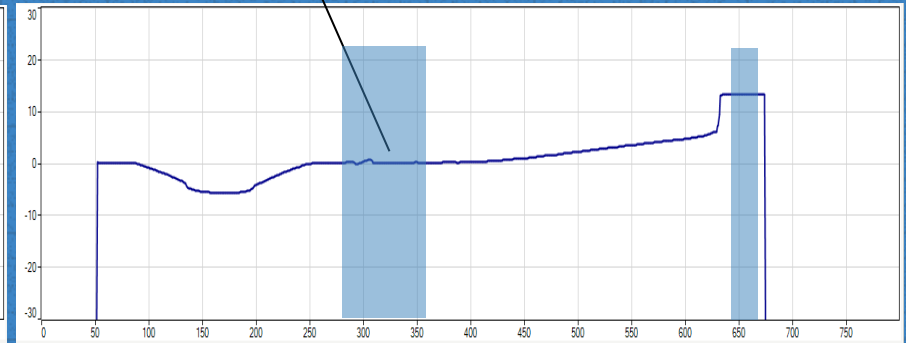
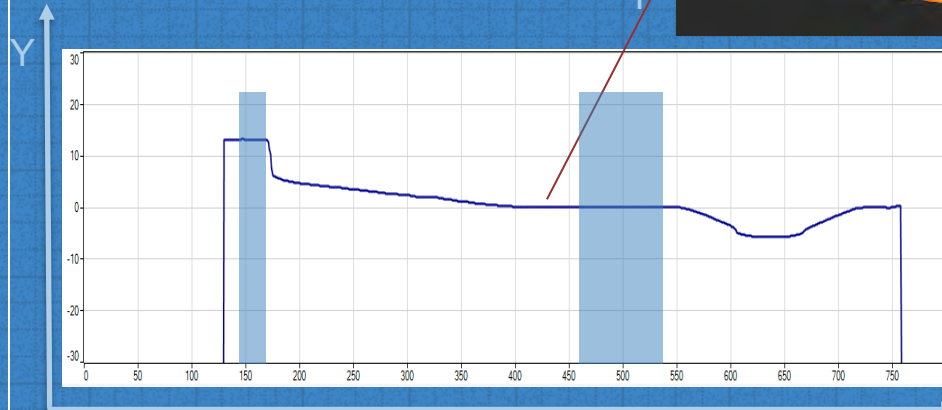
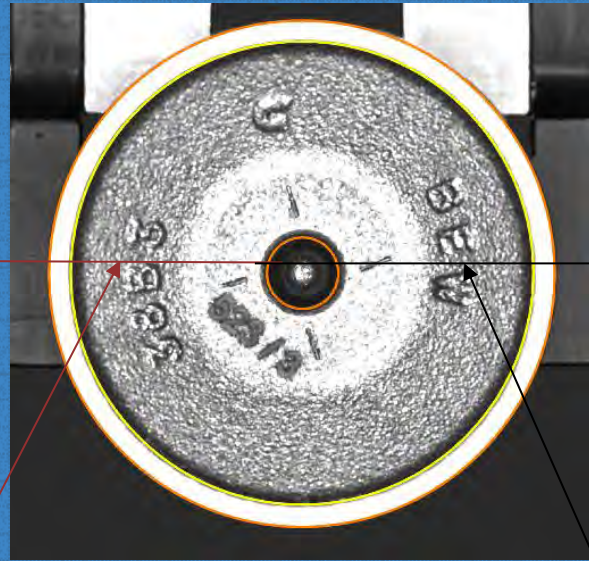
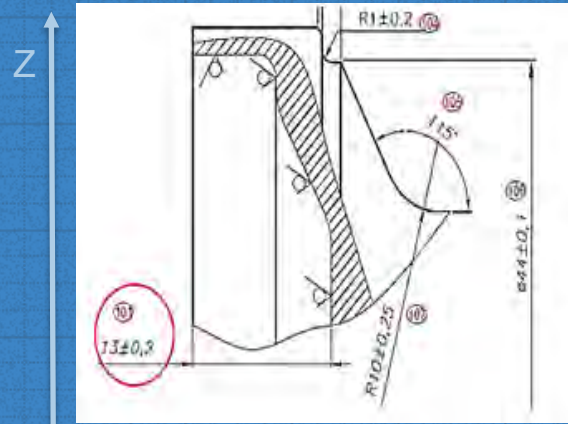
Kamera: Analiza obrazów 2D

11/29

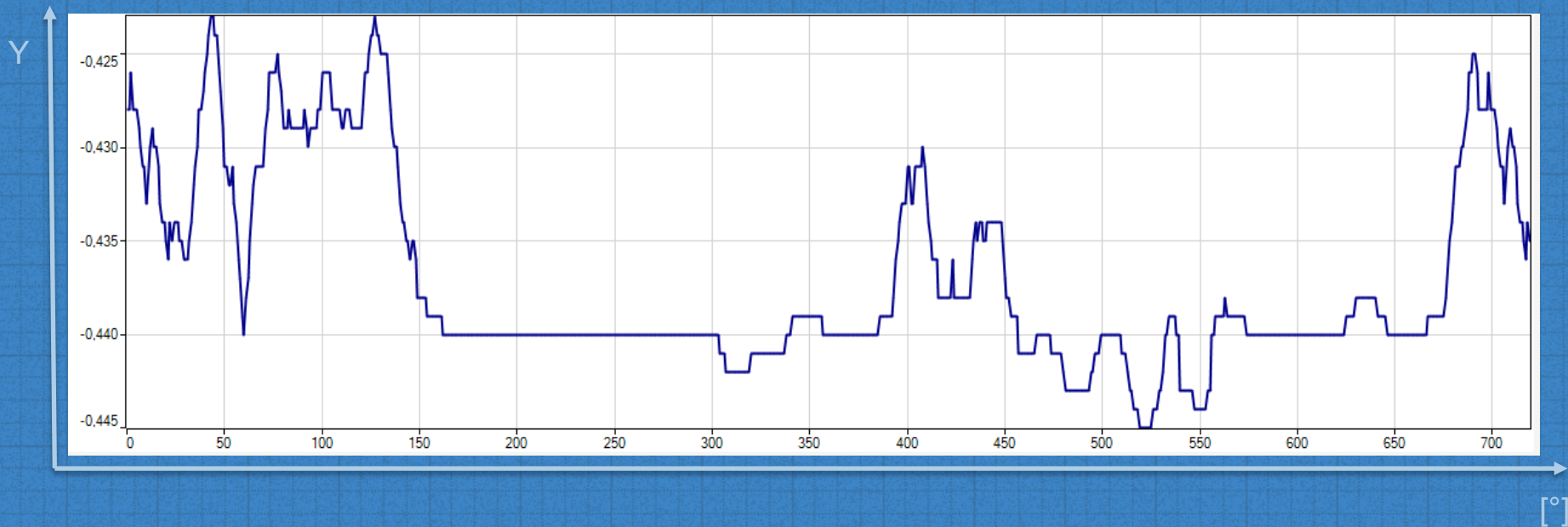
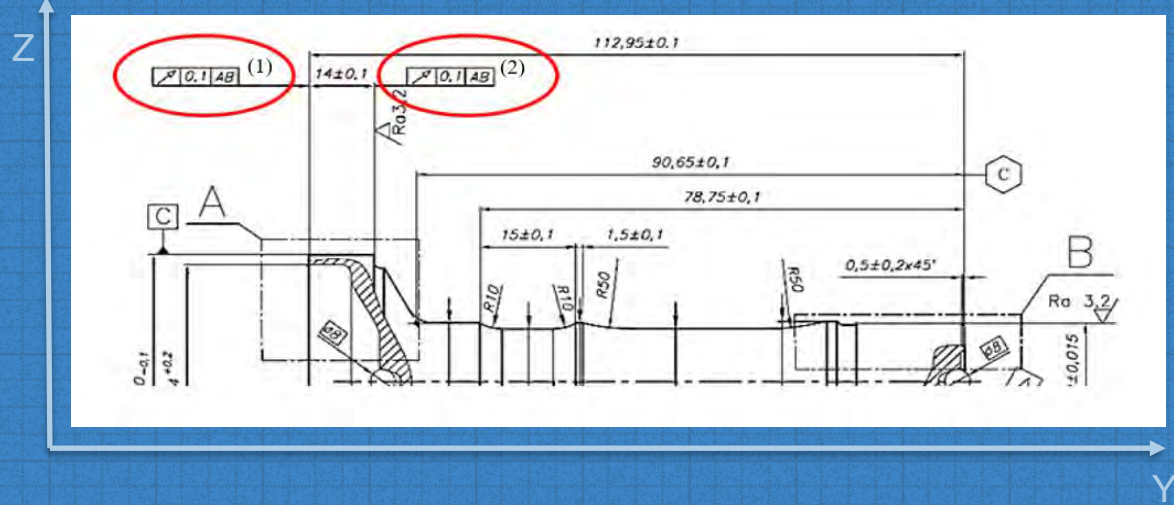


Głowica Laserowa: Analiza profili Z(X)

12/29

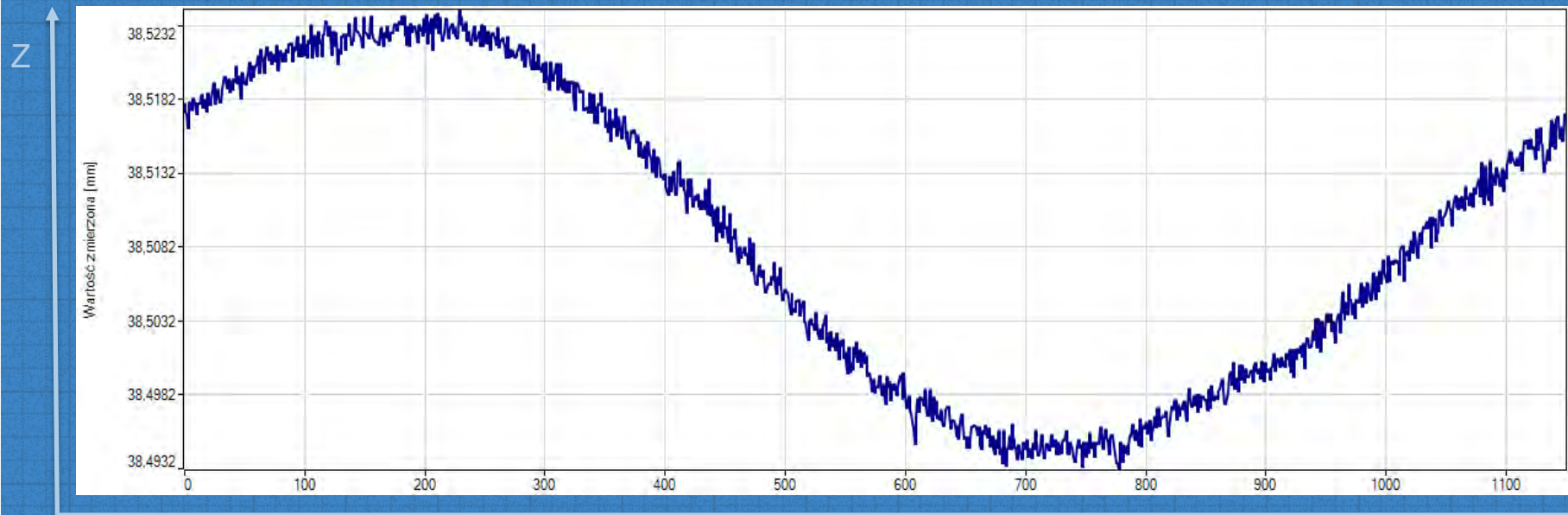
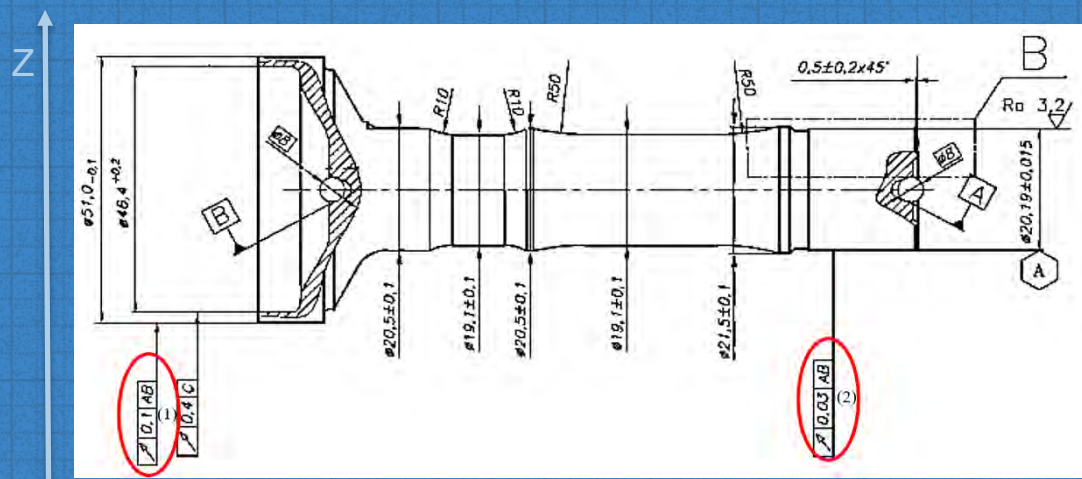
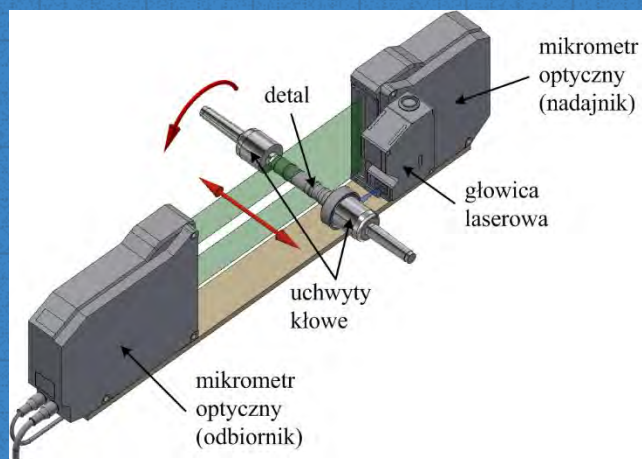


13/29



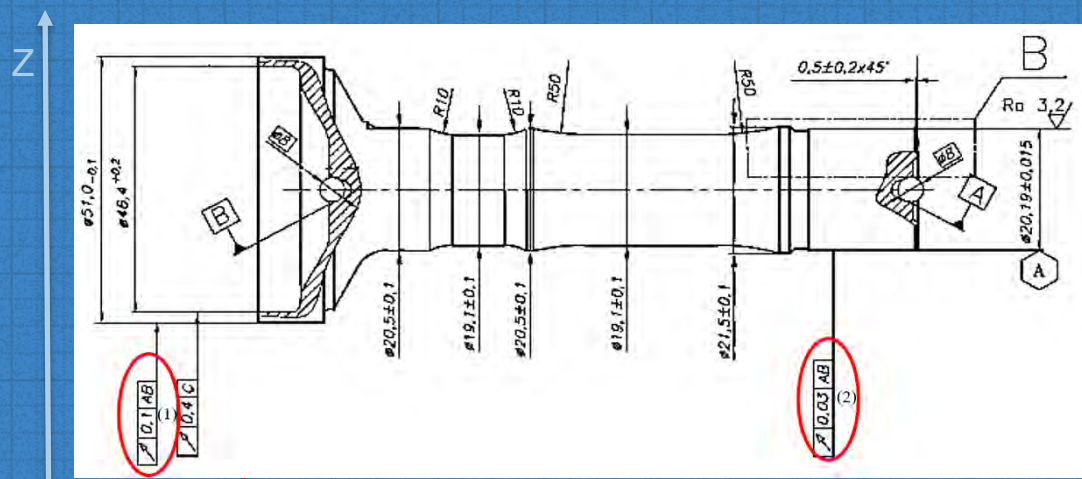
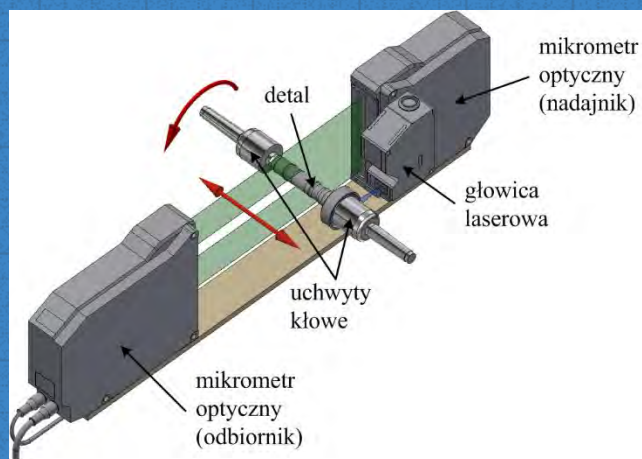
Mikrometr: Analiza profili Z(°)

14/29

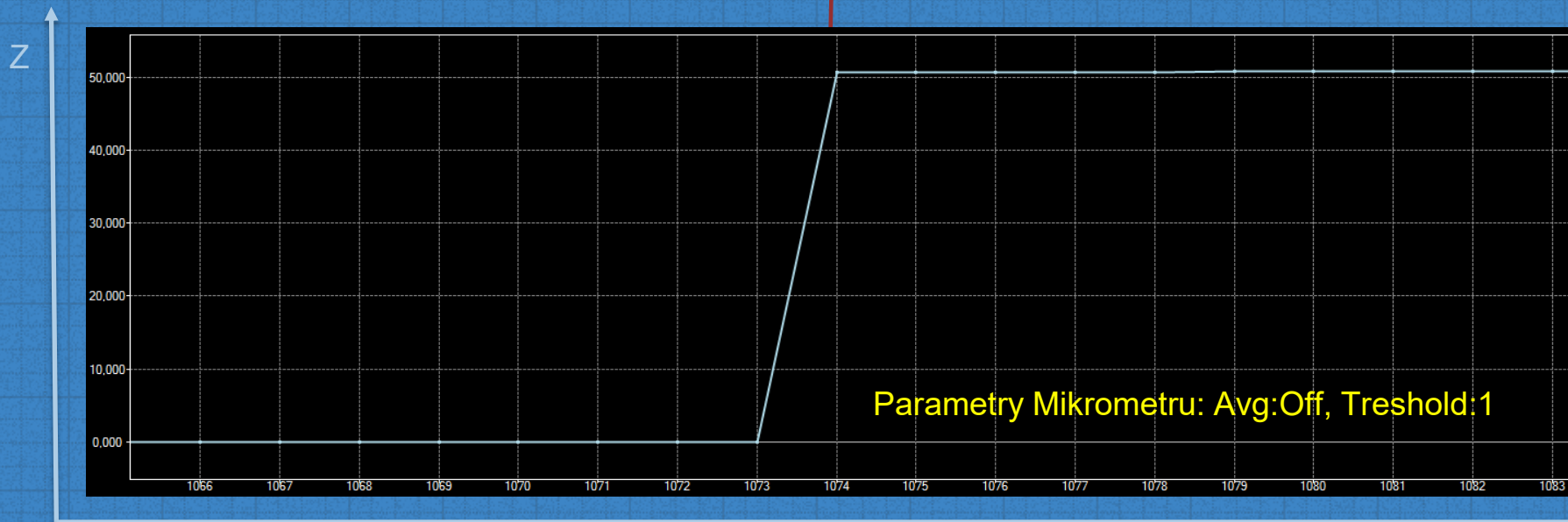


Mikrometr: Analiza profili Z(Y)

15/29

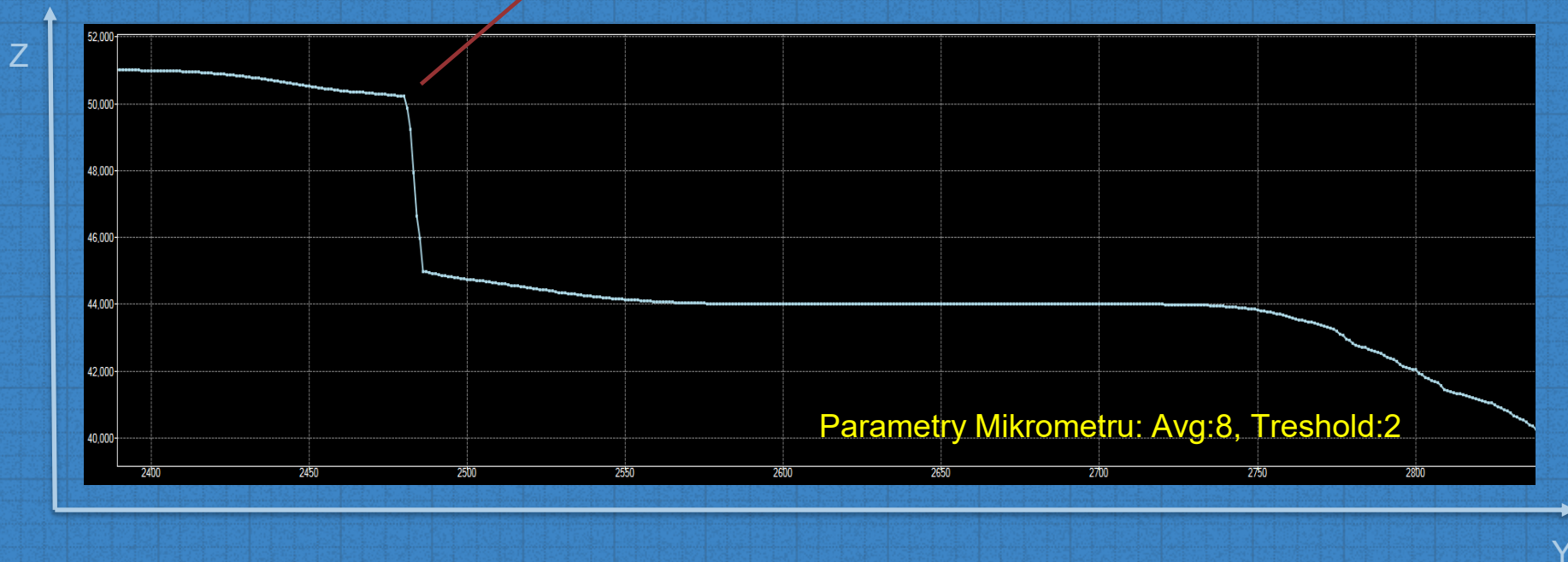
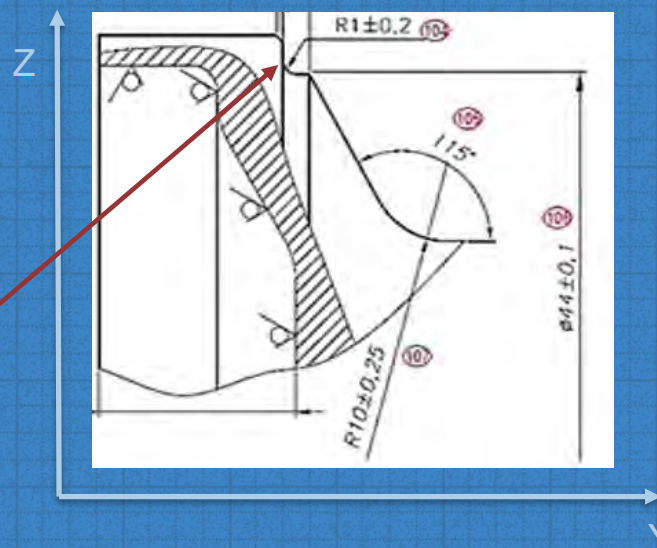
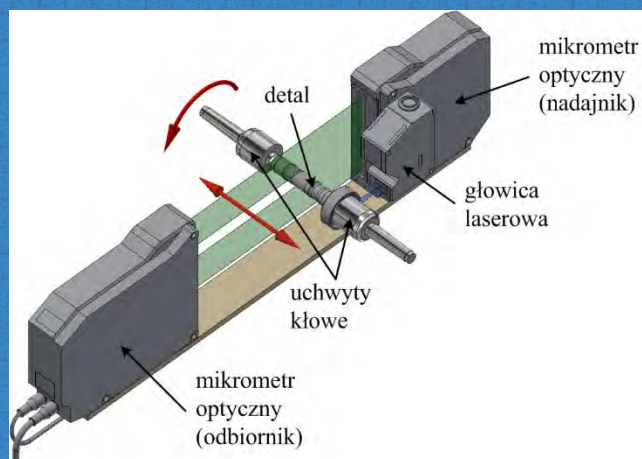


Wyznaczenie ROI (Region of Interest)



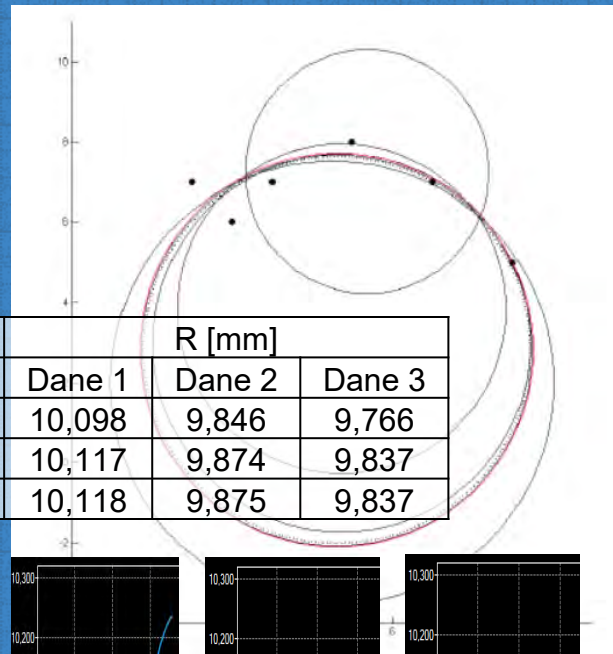
Mikrometr: Analiza profili Z(Y)

16/29

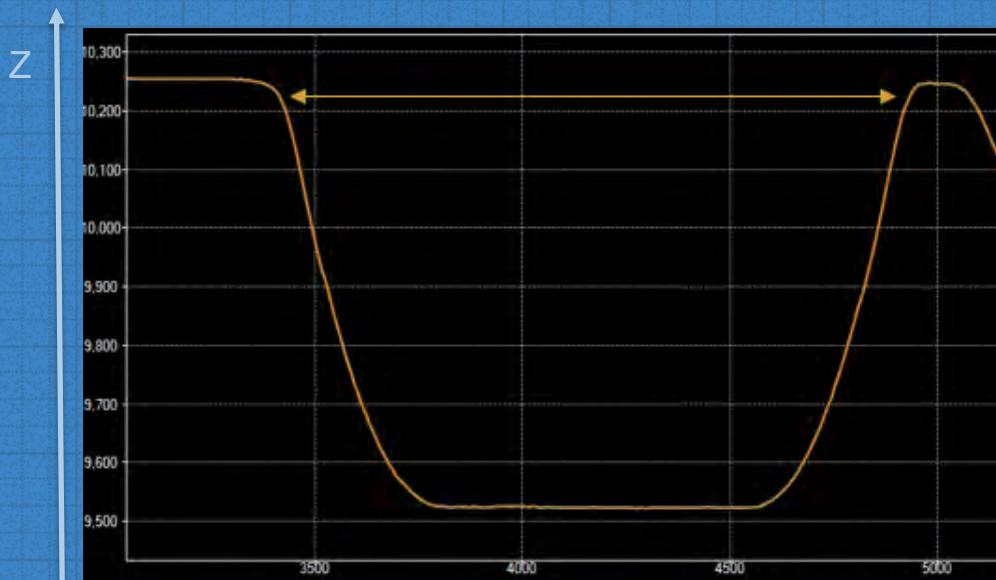


Mikrometr: Analiza profili Z(Y)

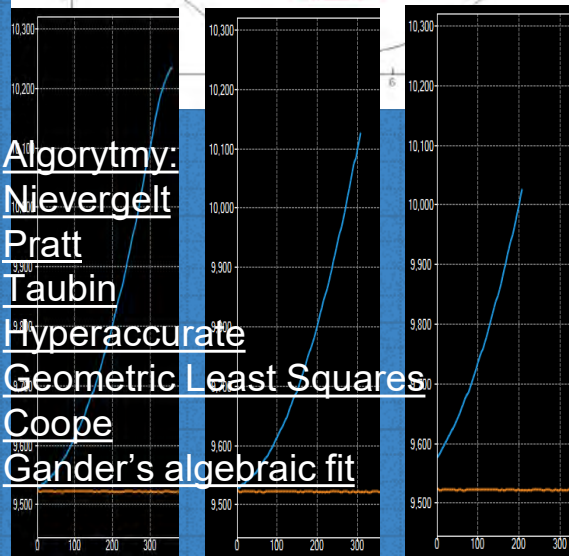
17/29



	R [mm]		
Algorytm	Dane 1	Dane 2	Dane 3
Kasa	10,098	9,846	9,766
Pratt	10,117	9,874	9,837
Taubin	10,118	9,875	9,837

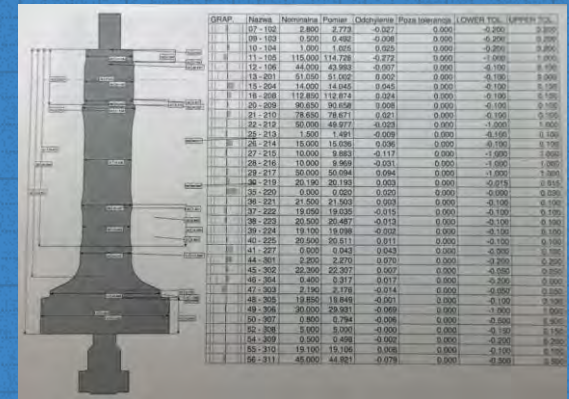


Algorytm:
 Nievergelt
 Pratt
 Taubin
 Hyperaccurate
 Geometric Least Squares
 Coope
 Gander's algebraic fit



3

Weryfikacja modułów pomiarowych



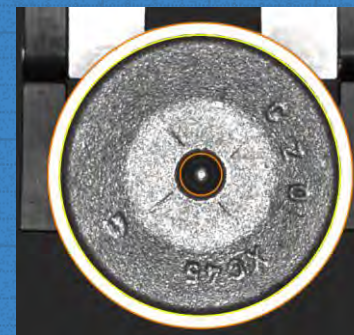
Kamera: Weryfikacja pomiarów

19/29

Średnica wewnętrzna



Nr wyrobu	Średnia [mm]	Min. [mm]	Max. [mm]	Rozrzut [mm]
1	46,567	46,548	46,602	0,054
2	46,554	46,537	46,570	0,033
3	46,616	46,608	46,623	0,015
4	46,567	46,556	46,582	0,026
5	46,578	46,566	46,591	0,025
6	46,525	46,510	46,535	0,025
7	46,521	46,509	46,540	0,031
8	46,461	46,430	46,483	0,053
9	46,539	46,523	46,550	0,027
10	46,601	46,588	46,623	0,035



Średnia wartość rozrzutu – 0,032 mm

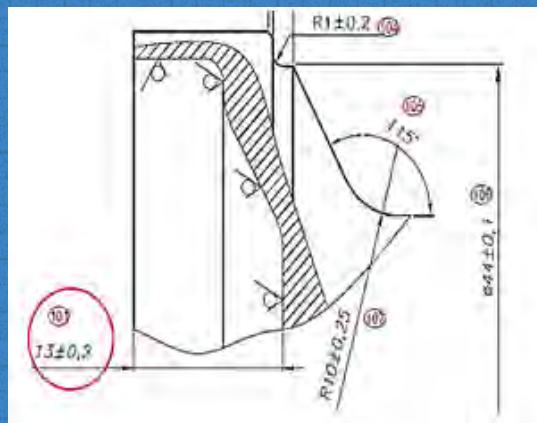
Bicie promieniowe

Nr wyrobu	Średnia [mm]	Min. [mm]	Max. [mm]	Rozrzut [mm]
1	0,073	0,021	0,114	0,093
2	0,068	0,030	0,105	0,075
3	0,151	0,133	0,167	0,034
4	0,054	0,018	0,079	0,061
5	0,037	0,023	0,055	0,032
6	0,155	0,117	0,178	0,061
7	0,080	0,042	0,099	0,057
8	0,137	0,091	0,195	0,104
9	0,109	0,053	0,147	0,094
10	0,126	0,101	0,140	0,039

1px=34,5 μ m

Średnia wartość rozrzutu – 0,065 mm

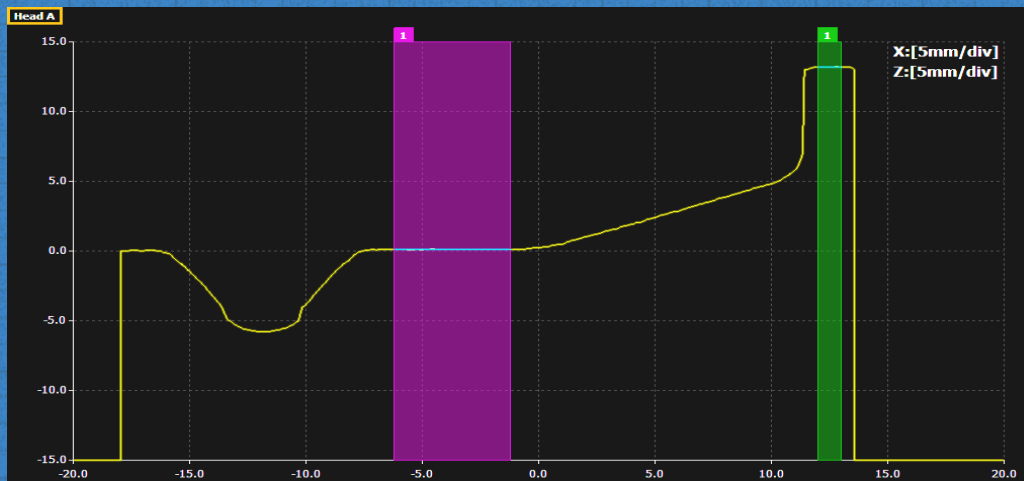
Pomiar głębokości

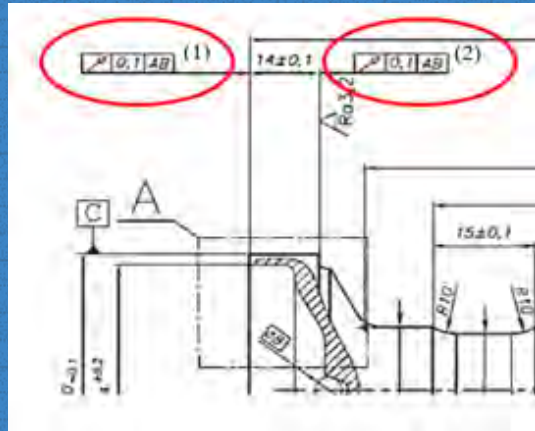


Nr wyrobu	Średnia [mm]	Min. [mm]	Max. [mm]	Rozrzut [mm]
1	13,101	13,101	13,171	0,070
2	13,096	13,096	13,161	0,065
3	13,091	13,091	13,168	0,077
4	13,124	13,124	13,213	0,089
5	13,102	13,102	13,184	0,082
6	13,132	13,132	13,184	0,052
7	13,096	13,096	13,172	0,076
8	13,097	13,097	13,176	0,079
9	13,098	13,098	13,170	0,072
10	13,103	13,103	13,205	0,102

Średnia wartość rozrzutu – 0,076 mm

Dokładność pomiaru głowicy $\pm 0,046$ mm





Nr wyrobu	Średnia [mm]	Min. [mm]	Max. [mm]	Rozrzut [mm]
1	0,037	0,032	0,041	0,009
2	0,062	0,055	0,067	0,012
3	0,045	0,044	0,046	0,002
4	0,065	0,054	0,071	0,017
5	0,079	0,067	0,091	0,024
6	0,050	0,046	0,055	0,009
7	0,044	0,039	0,048	0,009
8	0,068	0,061	0,074	0,013
9	0,074	0,064	0,098	0,034
10	0,028	0,023	0,033	0,010

Średnia wartość rozrzutu – 0,014 mm

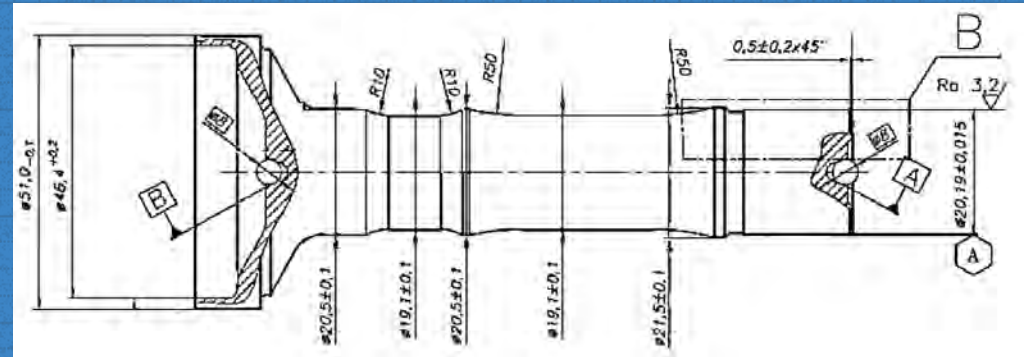
Rozdzielczość pomiaru głowicy 0,01 mm



Nr wyrobu	Średnia [mm]	Min. [mm]	Max. [mm]	Rozrzut [mm]
1	0,014	0,012	0,015	0,003
2	0,025	0,020	0,029	0,009
3	0,015	0,013	0,016	0,003
4	0,024	0,021	0,031	0,010
5	0,032	0,027	0,041	0,014
6	0,018	0,015	0,020	0,005
7	0,015	0,012	0,016	0,004
8	0,027	0,019	0,033	0,014
9	0,020	0,017	0,021	0,004
10	0,011	0,008	0,014	0,006

Średnia wartość rozrzutu – 0,007 mm

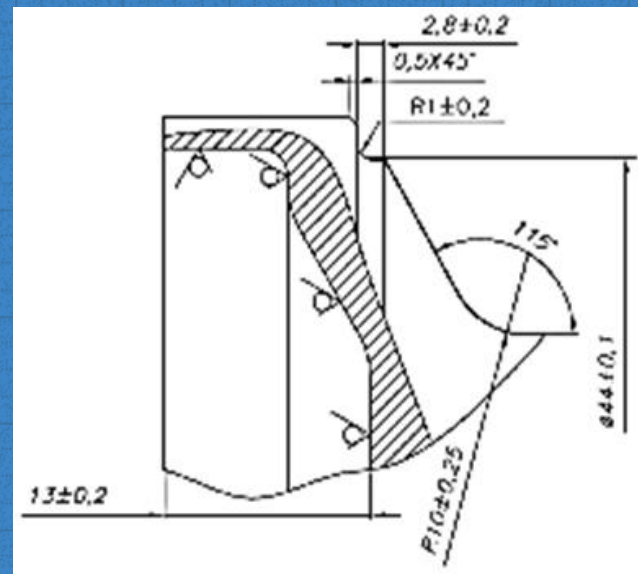
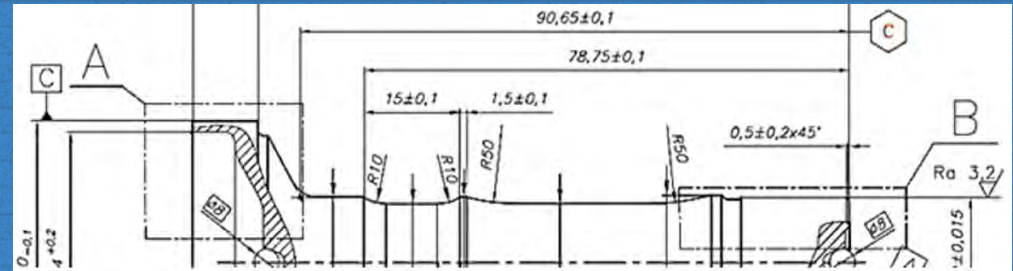
Nr Parametru	Średnia (z 10) [mm]	Rozrzut [mm]	Wartość ref. zm. [mm]	Wyzn. różnica [mm]
	Produkt nr 1			
106	44,0111	0,003	44,041	0,030
201	51,0261	0,004	51,028	0,002
219	20,1843	0,004	20,193	0,009
221	21,496	0,004	21,496	0,000
222	19,0211	0,003	19,031	0,010
223	20,4909	0,002	20,498	0,007
224	19,0469	0,004	19,057	0,010
225	20,5094	0,003	20,517	0,008
305	19,8412	0,002	19,86	0,019
310	19,0924	0,004	19,107	0,015



Średnia wartość różnicy względem wartości referencyjnej – 0,01 mm

Pomiary Długości

Parametr	Średnia (z 10) [mm]	Rozrzut [mm]	Wartość ref. zm. [mm]	Wyzn. różnica [mm]
Produkt nr 1				
102	2,7835	0,096	2,815	0,031
204	14,0613	0,02	13,995	0,066
208	112,913	0,02	112,935	0,022
209	90,7092	0,208	90,591	0,118
210	78,6816	0,018	78,688	0,006
213	1,4284	0,022	1,481	0,053
214	15,0924	0,012	15,011	0,081
301	2,1403	0,014	2,14	0,000
302	22,2822	0,024	22,356	0,074
308	4,8245	0,019	5,001	0,177



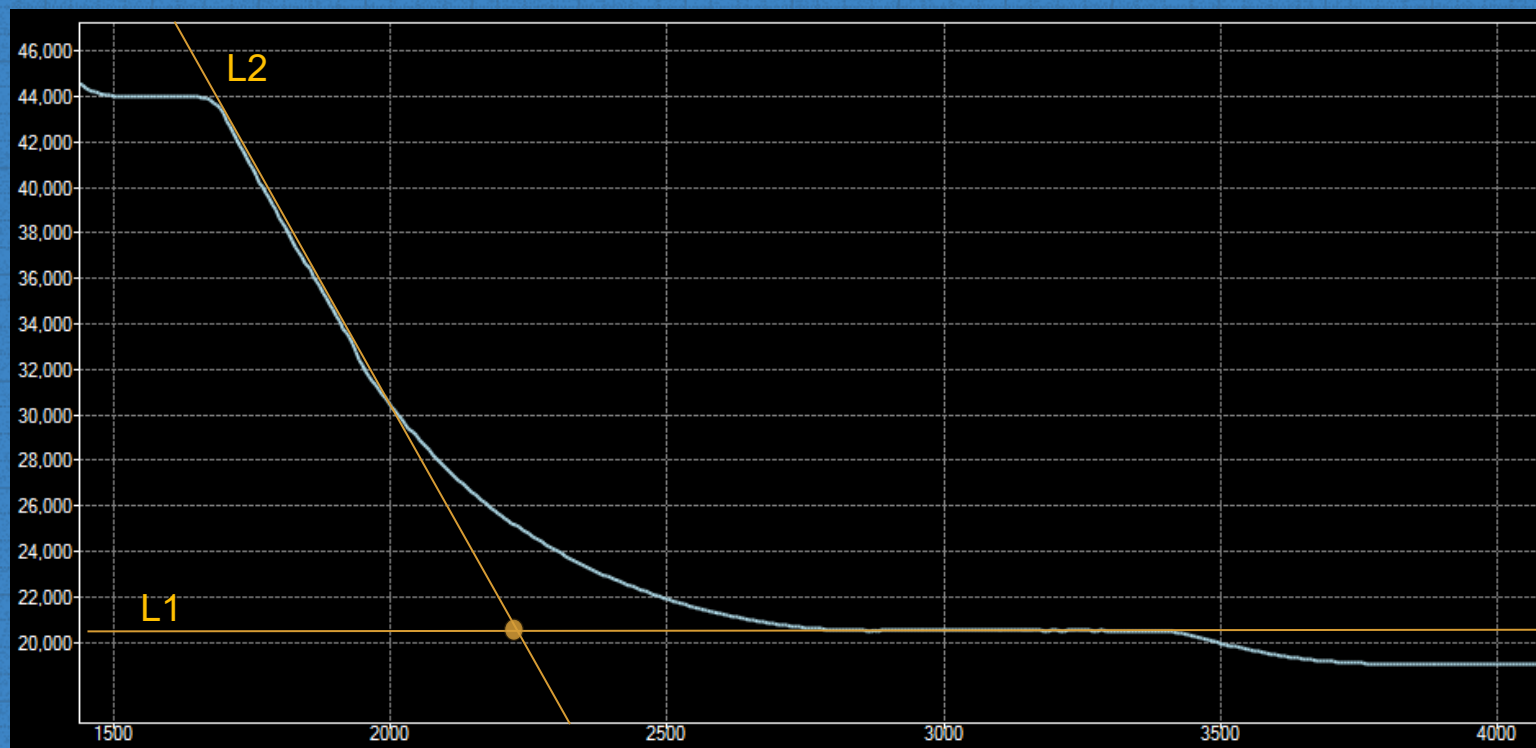
Seria pomiarów dla 10 produktów:

Średnia wartość rozrzutu – 0,1 mm

Średnia wartość różnicy względem wartości referencyjnej – 0,068 mm

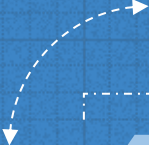
Mikrometr: Weryfikacja pomiarów

24/29



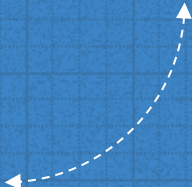
Próba nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L1 A	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
L1 B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L1 C	-20,521	-20,524	-20,523	-20,523	-20,523	-20,525	-20,521	-20,522	-20,523	-20,522
L2 A	0,975	0,978	0,975	0,974	0,976	0,975	0,976	0,974	0,975	0,974
L2 B	0,222	0,209	0,223	0,227	0,22	0,223	0,219	0,227	0,222	0,225
L2 C	-7,444	-7,014	-7,449	-7,581	-7,361	-7,455	-7,332	-7,588	-7,416	-7,515
Wartość zmierzona	90,69	90,856	90,696	90,65	90,73	90,701	90,748	90,648	90,707	90,666
Wsp. X	2,96	2,784	2,954	3,01	2,92	2,959	2,912	3,012	2,943	2,984
Wsp. Y	20,518	20,52	20,52	20,519	20,519	20,521	20,518	20,519	20,519	20,518

L: $Ax + By + C$



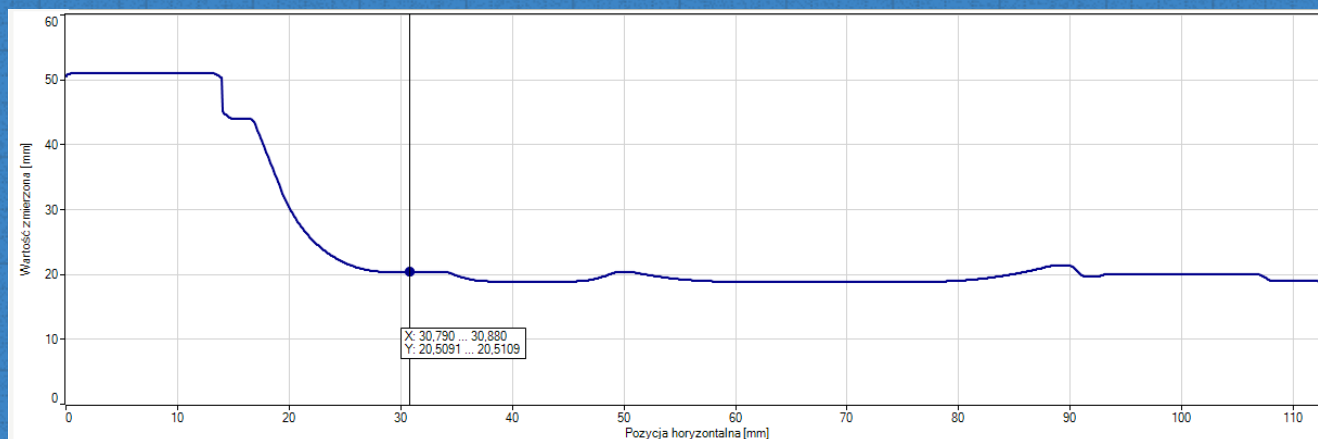
4

Parametryzacja procesu inspekcji



Mikrometr: Parametryzacja pomiarów

26/29



```
<?xml version="1.0"?>
<root>

  <Nr106>
    <Rodzaj>Średnica</Rodzaj>
    <Wartość>44</Wartość>
    <TolerancjaP>100</TolerancjaP>
    <TolerancjaM>100</TolerancjaM>
    <Położenie>15.5</Położenie>
    <Aktywny>Tak</Aktywny>
    <PołożenieWyznacz>1</PołożenieWyznacz>
    <PołożenieWyznaczRodzaj>0</PołożenieWyznaczRodzaj>
    <PołożenieWyznaczParametr>0</PołożenieWyznaczParametr>
    <Położenie2>0</Położenie2>
    <Położenie2Wyznacz>1</Położenie2Wyznacz>
    <Położenie2WyznaczRodzaj>0</Położenie2WyznaczRodzaj>
    <Położenie2WyznaczParametr>0</Położenie2WyznaczParametr>
  </Nr106>
```

```
<Nr214>
  <Rodzaj>Odległość</Rodzaj>
  <Wartość>15</Wartość>
  <TolerancjaP>100</TolerancjaP>
  <TolerancjaM>100</TolerancjaM>
  <Położenie>34.2</Położenie>
  <Aktywny>Tak</Aktywny>
  <PołożenieWyznacz>1</PołożenieWyznacz>
  <PołożenieWyznaczRodzaj>1</PołożenieWyznaczRodzaj>
  <PołożenieWyznaczParametr>0</PołożenieWyznaczParametr>
  <Położenie2>49.2</Położenie2>
  <Położenie2Wyznacz>1</Położenie2Wyznacz>
  <Położenie2WyznaczRodzaj>2</Położenie2WyznaczRodzaj>
  <Położenie2WyznaczParametr>0</Położenie2WyznaczParametr>
</Nr214>
```

Nieograniczona liczba pomiarów geometrii zewnętrznej wyrobu

Rodzaje krawędzi
0-Ostra (step)
1-Opadająca
2-Wznosząca
3-Koniec
4-Opadająca/Przecięcie

- Opracowany system umożliwia wykonywanie zautomatyzowanych pomiarów wyrobów w czasie poniżej 30 sekund.
- Opracowana struktura programowa systemu jest otwarta. Umożliwia to wykonywanie szerokiego zakresu pomiarów dla wyrobów o różnej geometrii.
- Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdzają prawidłowe działanie modułów pomiarowych kamery oraz głowic laserowych
- W obecnie przyjętym rozwiązaniu nie jest możliwe wykonywanie powtarzalnych pomiarów, za pomocą mikrometru optycznego, w miejscach występowania bardzo stromych krawędzi. Planowane dalsze prace zakładają wykorzystanie liniału o 10-krotnie większej rozdzielczości.
- Zmniejszenie poziomu rozrzutu pomiarów odległości, promieni, kątów wymaga opracowania algorytmu odpowiedniego wyboru zakresu analizowanych danych.

P.Garbacz, T.Giesko - Multi-camera Vision System for the Inspection of Metal Shafts. Springer - Advances in Intelligent Systems and Computing (WoS).

P.Garbacz - Terahertz Imaging - Principles, Techniques, Benefits and Limitations. Problemy Eksploatacji

P.Garbacz, P.Czajka, W.Mizak - Automation of Residual Stress Measurement in Tableware Glass Production. Problemy Eksploatacji.

P.Czajka, P.Garbacz - Metoda inspekcji uszczelniaaczy wału z zastosowaniem triangulacji laserowej 2D. Technologia i Automatyzacja Montażu

P.Garbacz, P. Czajka – Vision Techniques For the Inspection of Tableware Glass Products, Problemy Eksploatacji

P.Garbacz, T.Giesko, P.Czajka, A.Mazurkiewicz – Vision system for Inspection of Glass Furnace Structure, Springer - Advances in Intelligent Systems and Computing (WoS) Vol. 550 (2017), pp. 408-417.

P.Czajka., T.Samborski, P.Garbacz., J.Mężyk.: Automatisatation of Multi-parametric quality inspection of rotary symmetrical metal elements. Journal of Machine Construction and Maintenance (złożony do druku).

Zestawienie dorobku publikacyjnego:

liczba publikacji krajowych: 14, liczba publikacji zagranicznych: 10

Dziękuję za uwagę

Materiał opracowany w ramach:

Programu Strategicznego - nr POIG.01.01.02-14-034/09-00. Pn. Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w ramach Programu Innowacyjna Gospodarka,

Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych

Pt.: „Kompaktowy system zautomatyzowanej obsługi obrabiarek CNC z optomechatronicznym modułem kontroli jakości wyrobów”



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

ITE INSTYTUT
PIB TECHNOLOGII
EKSPLOATACJI
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY RADOM

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego