



Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych  
Politechnika Poznańska

ul. Jana Pawła II 24 60-965 POZNAŃ  
(budynek Centrum Mechatroniki, Biomechaniki i Nanoinżynierii)  
www.zmisp.mt.put.poznan.pl tel. +48 61 665 35 70 fax +48 61 665 35 95

# OPTYCZNE POMIARY GWINTÓW

POZNAŃ 2014

## 1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie optycznych metod pomiaru gwintów. Ćwiczenie obejmuje pomiary wskazanych wielkości oraz dokonanie stosownych obliczeń. Na podstawie uzyskanych wyników należy dokonać oceny poprawności wykonania badanego gwintu i przyporządkować go do określonej klasy dokładności. Ćwiczenie należy zakończyć wnioskami.

## 2. ZAKRES OBOWIĄZUJĄCEGO MATERIAŁU

Obowiązujący materiał obejmuje klasyfikację rodzajów gwintów oraz wykaz parametrów charakteryzujących gwint i podział metod umożliwiających ich pomiar [1, 2].

## 3. LITERATURA

[1] W. Jakubiec, J. Malinowski: Metrologia wielkości geometrycznych. Wydanie 5. WNT 2009.

[2] P. Paczyński: Metrologia techniczna. Przewodnik do wykładów, ćwiczeń i laboratoriów. WPP 2003.

## 4. OPIS STANOWISKA



*Widok stanowiska do optycznego pomiaru gwintów*

### **Pomiary optyczne gwintów:**

Stanowisko wyposażone jest w mikroskop uniwersalny pozwalający po zamocowaniu gwintu w kłach na pomiar:

- a) Średnicy zewnętrznej gwintu.
- b) Średnicy podziałowej gwintu.
- c) Podziałki gwintu.
- d) Kąta zarysu gwintu.

## 5. ZADANIA DO WYKONANIA

### 5.1. Pomiar wstępny gwintu

- Dokonać oględzin jakości wykonania gwintu – zapisać spostrzeżenia, jeśli zachodzi potrzeba wyczyścić gwint przed pomiarem.
- Zmierzyć wstępnie średnicę zewnętrzną gwintu suwmiarką w 5 przekrojach – zapisać uzyskane wartości. Ułożyć szczęki pomiarowe pod kątem względem osi gwintu jak na zdjęciu – zapobiega to wprowadzeniu szczęk pomiarowych w bruzdy gwintu.



*Pomiar wstępny średnicy zewnętrznej gwintu suwmiarką*

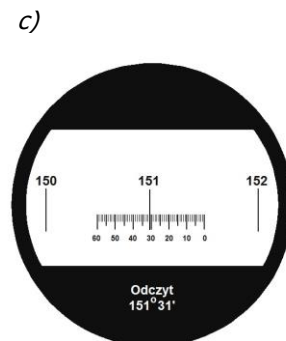
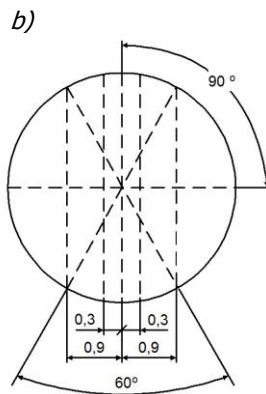
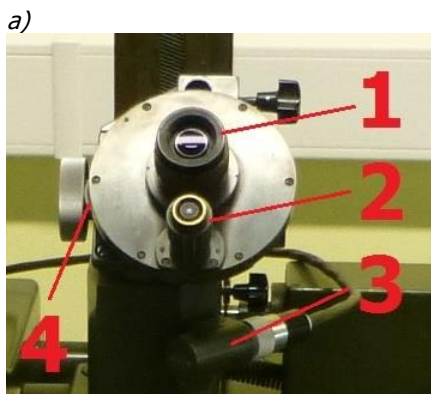


*Ocena gwintu za pomocą wzornika zarysu*

- Sprawdzić rodzaj gwintu i podziałkę przy zastosowaniu wzornika zarysu (grzebienia). Wzornik MWGa – gwint metryczny, MWGb – gwint calowy. Sprawdzić podziałkę w kilku miejscach i zapisać wartość.
- Na podstawie uzyskanych wartości wstępnie określić rodzaj gwintu, np. M8x1.

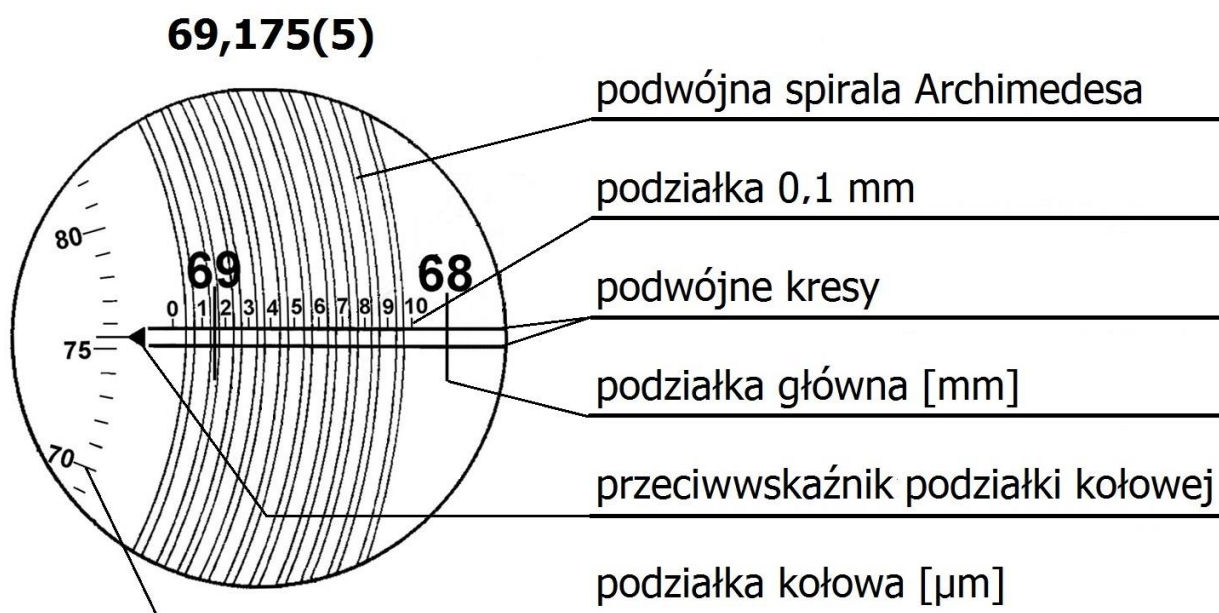
### 5.2. Pomiar optyczny gwintu

- Umieścić wybrany gwint w kłach mikroskopu – **wykonuje prowadzący**.
- Ustawić ostrość obrazu na krawędzi gwintu.
- Ustawić krzyż głowicy goniometrycznej na  $0^\circ$ .



*a) Widok głowicy goniometrycznej – 1 okular obserwacyjny, 2 – obiektyw do odczytywania położenia kąтового, 3 – oświetlacz, 4 – pokrętło do kąтового ustawienia krzyża celowniczego, b) widok krzyża celowniczego, c) pole widzenia w obiektywie do odczytywania kątów [a p.2] [2]*

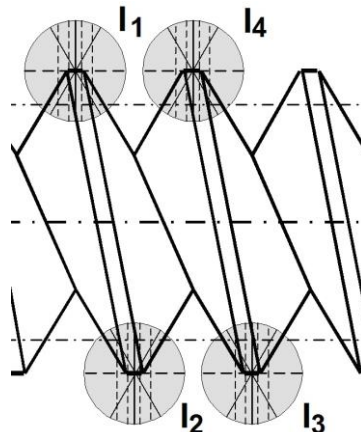
Mikroskop uniwersalny charakteryzuje się odczytem położenia krzyża celowniczego z liniałów szklanych za pomocą głowic wyposażonych w podwójną spiralę Archimedesesa.



*Pole widzenia w okularze mikroskopu odczytowego ze spiralą Archimedesesa [2]*

Zasada odczytu położenia z głowicy z podwójną spiralą Archimedesesa. Po ustawieniu krzyża celowniczego na pozycję pomiarową należy przy użyciu pokrętła obrócić podwójną spiralę Archimedesesa do położenia, w którym jedna z kres podziałki głównej zostanie symetrycznie objęta przez dwie bliższe linie podwójnej spirali. Po dokonaniu tego ustawienia można przystąpić do odczytania wartości wskazania. Odczyt rozpoczyna się od wartości pełnych milimetrów – wartości umieszczone nad kresami podziałki głównej (na rysunku 69 mm). Następnie odczytuje się wartości dziesiętne – odczytujemy położenie kres podziałki głównej na pomiędzy podwójnymi kresami podziałki 0,1 mm (na rysunku kresa znajduje się pomiędzy 1, a 2. Zatem notujemy jako wskazanie 69,1 mm). Kolejnym krokiem jest odczytanie setnych i tysięcznych części milimetra – w tym celu obserwujemy położenie przeciw wskaźnika podziałki kątowej na podziałce kątowej (na rysunku przeciw wskaźnik znajduje się pomiędzy wartościami 75, a 76 – co odpowiada wskazaniu 69,175 mm. Odległość kres na podziałce kątowej jest na tyle duża, iż możliwa jest interpolacja położenia, co pozwala zanotować wartość wskazania z dokładnością do 0,1 [μm]. Ze względu odczyt wartości interpolowanej można zapisać ją w (). W omawianym przypadku wartość wskazania wynosi 69,1755 mm.

- d) Dokonać pomiaru średnicy zewnętrznej  $d$  w 6 przekrojach – zanotować współrzędne dla zarysów i obliczyć średnice.



*Pomiar średnicy zewnętrznej  $d$  na mikroskopie.*

***Uwaga: w zależności od wielkości gwintu i zastosowanego powiększenia w obiektywie można zaobserwować pewien fragment zarysu, może on obejmować również kilka wierzchołków [2]***

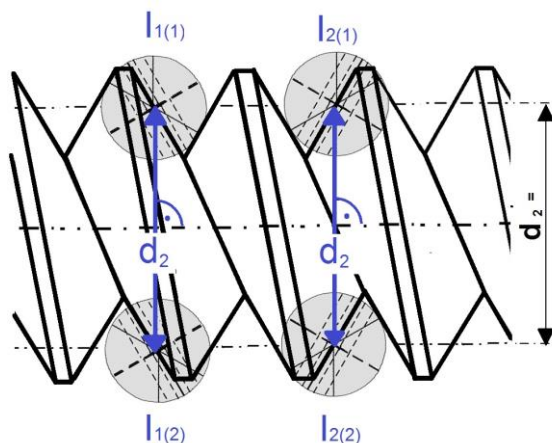
Pomiar średnicy zewnętrznej  $d$  na mikroskopie odbywa się w kilku etapach. Należy doprowadzić do pokrycia połowy grubości linii poziomej główicy goniometrycznej z krawędzią zewnętrzną gwintu po jednej stronie (pozycja  $I_1$  na rysunku). Należy zanotować wartość położenia w osi poprzecznej do osi gwintu. Następnie należy przesunąć oś poziomą główicy goniometrycznej do krawędzi gwintu po przeciwległej stronie i po ustawieniu zanotować położenie krawędzi (pozycja  $I_2$  na rysunku). Średnica gwintu w tym przypadku odpowiada różnicy wskazań dla położenia  $d' = |I_1 - I_2|$ . Pomiar powtórzyć 6 razy.

- e) Dokonać pomiaru średnicy podziałowej w 6 przekrojach – zanotować współrzędne dla zarysów i obliczyć średnice.

W celu pomiaru średnicy podziałowej na mikroskopie linię przerywaną okularu doprowadza się do pokrycia z bokiem zarysu gwintu (jak na rysunku). Środek krzyża okularu powinien się znajdować w przybliżeniu w połowie długości boku zarysu. Wymiar średnicy podziałowej będzie określony z różnicy dwóch wskazań dla przesuwu prostokątnego do osi gwintu. Pierwszego odczytu dokonuje się po ustawieniu krzyża na zarysie  $I_{1(1)}$ , drugiego – po przesunięciu do osi głównej gwintu i ustawieniu na zarysie  $I_{1(2)}$ . **Uwaga – dla poprawnego przeprowadzenia pomiaru konieczne jest zachowanie prostokątności osi przechodzącej przez punkty  $I_{1(1)} - I_{1(2)}$  do osi gwintu [2].** Opisane postępowanie pomiarowe nie eliminuje błędu systematycznego, spowodowanego niepokrywaniem się osi gwintu z osią pomiarową. W celu wyeliminowania tego błędu, jak również błędu spowodowanego asymetrią kąta gwintu należy zmierzyć podziałkę na lewych i prawych bokach zarysu gwintu, po jednej i drugiej stronie jego osi  $I_{1(1)} - I_{1(2)}$  oraz  $I_{2(1)} - I_{2(2)}$ , a jako pojedynczy wynik przyjmujemy średnią z tych pomiarów.

$$d_2 = \frac{\left( |I_{1(1)} - I_{1(2)}| \right) + \left( |I_{2(1)} - I_{2(2)}| \right)}{2} \quad (1)$$





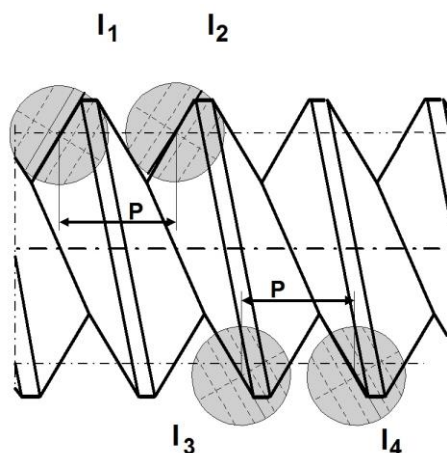
*Pomiar średnicy podziałowej  $d_2$  na mikroskopie.*

***Uwaga: w zależności od wielkości gwintu i zastosowanego powiększenia w obiektywie można zaobserwować pewien fragment zarysu, może on obejmować również kilka wierzchołków [2]***

- f) Dokonać pomiaru podziałki dla 6 odcinków – zanotować współrzędne dla zarysów i obliczyć podziałkę.

Pomiar podziałki - ustawić krzyża celowniczego jak do pomiaru średnicy podziałowej  $d_2$  należy doprowadzić jedną z linii kreskowych krzyża do pokrycia się z bokiem zarysu gwintu i dokonać pierwszego odczytania dla liniału odpowiadającego przesuwowi wzdłużnemu. Następnie przesunąć gwint o jedną podziałkę (w kierunku równoległym od osi gwintu) aż do pokrycia się tej samej linii kreskowej z bokiem zarysu gwintu po jednoimiennej stronie występu i dokonać drugiego odczytania. Różnica wskazań określi podziałkę  $P$  gwintu. Opisane postępowanie pomiarowe nie eliminuje błędu systematycznego, spowodowanego niepokrywaniem się osi gwintu z osią pomiarową. W celu wyeliminowania tego błędu, jak również błędu spowodowanego asymetrią kąta gwintu należy zmierzyć podziałkę na lewych i prawych bokach zarysu gwintu, po jednej i drugiej stronie osi gwintu [2].

$$P = \frac{(|I_1 - I_2|) + (|I_3 - I_4|)}{2} \quad (2)$$



*Pomiar podziałki  $P$  na mikroskopie.*

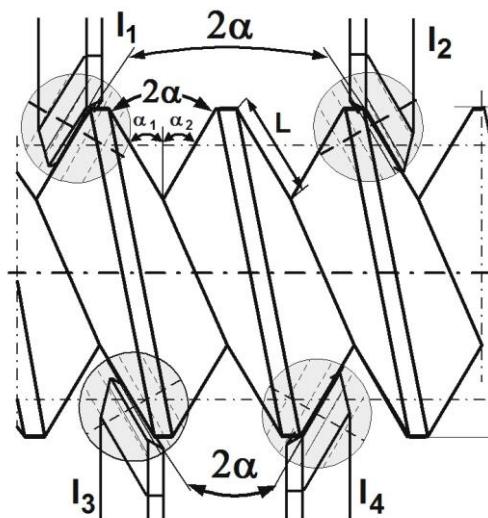
***Uwaga: w zależności od wielkości gwintu i zastosowanego powiększenia w obiektywie można zaobserwować pewien fragment zarysu, może on obejmować również kilka wierzchołków [2]***

- g) Dokonać pomiaru kąta zarysu gwintu – określić wartość 4 kątów, każdy na podstawie 4 kątów połówkowych (po 2 po każdej stronie zarysu gwintu) – zanotować wartości kątów połówkowych i dokonać obliczenia kąta zarysu.

Kąt gwintu i kąty boku mierzy się mikroskopem pomiarowym. Należy optycznie pokryć przerywaną kreskę krzyża główicy goniometrycznej z bokiem zarysu. W celu skompensowania błędu systematycznego spowodowanego nieprostokątnym położeniem osi gwintu względem przesuwu stołu mikroskopu wzdłuż osi X należy wykonać pomiary po obu stronach osi gwintu.

**Uwaga: skala do pomiaru kąta zawiera wartości dla kąta pełnego czyli  $0^\circ - 360^\circ$ . W przypadku, jeśli pomiar kąta odbywa się od położenia krzyża odpowiadającego wartości  $0^\circ$  wówczas jeden z boków dla gwintu metrycznego będzie miał wartość odczytu około  $30^\circ$ , a drugi bok około  $330^\circ$ . Wynik należy wówczas podać, jako różnicę  $360^\circ - 330^\circ$ .**

$$2\alpha = \frac{(|I_{1(\alpha)} + I_{2(\alpha)}|) + (|I_{3(\alpha)} + I_{4(\alpha)}|)}{2} \quad (3)$$



*Pomiar kąta gwintu na mikroskopie.*

**Uwaga: w zależności od wielkości gwintu i zastosowanego powiększenia w obiektywie można zaobserwować pewien fragment zarysu, może on obejmować również kilka wierzchołków [2]**

- h) Na podstawie obliczeń określić tolerancję wykonania średnicy zewnętrznej i podziałowej badanego gwintu.  
i) Na podstawie normy ustalić czy gwint jest poprawnie wykonany oraz symbolowe oznaczenia dla pól tolerancji

### 5.3. Wnioski

We wnioskach należy zawrzeć stwierdzenie czy gwint wykonany jest poprawnie. Wartości te należy udokumentować odniesieniami do uzyskanych wyników pomiarów, tolerancji wykonania elementu oraz zaleceń dotyczących geometrii wykonania gwintów.

## 6. Tabele do doboru szeregów tolerancji i odchyłek podstawowych gwintów [2]

Wartości szeregów tolerancji dla średnicy  $T_{d2}$

Średnica znamionowa		P	Szereg tolerancji $T_{d2}$						
powyżej	do		3	4	5	6	7	8	9
[mm]		[mm]	[μm]						
0,99	1,4	0,20	24	30	38	48	(60)	(75)	–
		0,25	26	34	42	53	(67)	(85)	–
		0,30	28	36	45	56	(71)	(90)	–
1,4	2,8	0,20	25	32	40	50	(63)	(80)	–
		0,25	28	36	45	56	(71)	(90)	–
		0,35	32	40	50	63	80	(100)	–
		0,40	34	42	53	67	85	(106)	–
		0,45	36	45	56	71	90	(112)	–
2,8	5,6	0,25	28	36	45	56	71	–	–
		0,35	34	42	53	67	85	(106)	–
		0,50	38	48	60	75	95	(118)	–
		0,60	42	53	67	85	106	(132)	–
		0,70	45	56	71	90	112	(140)	–
		0,75	45	56	71	90	112	(140)	–
		0,80	48	60	75	95	118	150	190
5,6	11,2	0,25	32	40	50	63	(80)	–	–
		0,35	36	45	56	71	90	–	–
		0,50	42	53	67	85	106	(132)	–
		0,75	50	63	80	100	125	(160)	–
		1,00	56	71	90	112	140	180	224
		1,25	60	75	95	118	150	190	236
		1,50	67	85	106	132	170	212	265
11,2	22,4	0,35	38	48	60	75	95	–	–
		0,50	45	56	71	90	112	(140)	–
		0,75	53	67	85	106	132	(170)	–
		1,00	60	75	95	118	150	190	236
		1,25	67	85	106	132	170	212	265
		1,50	71	90	112	140	180	224	280
		1,75	75	95	118	150	190	236	300
		2,00	80	100	125	160	200	250	315
		2,50	85	106	132	170	212	265	335
22,4	45,0	0,50	48	60	75	95	118	–	–
		0,75	56	71	90	112	140	(180)	–
		1,00	63	80	100	125	160	200	250
		1,50	75	95	118	150	190	236	300
		2,00	85	106	132	170	212	265	335
		3,00	100	125	160	200	250	315	400
		3,50	106	132	170	212	265	335	425
		4,00	112	140	180	224	280	355	450
		4,50	118	150	190	236	300	375	475



Wartości szeregów tolerancji  
dla średnicy  $d$

$P$	$Td$		
	4	6	8
[mm]	[ $\mu\text{m}$ ]		
0,20	36	56	–
0,25	–	–	–
0,30	48	75	–
0,35	53	85	–
0,40	60	95	–
0,45	63	100	–
0,50	67	106	–
0,60	80	125	–
0,70	90	140	–
0,75	90	140	–
0,80	95	150	236
1,00	112	180	280
1,25	132	212	335
1,50	150	236	375
1,75	170	265	425
2,0	180	280	450
2,5	212	335	530
3,0	236	375	600
3,5	265	425	670
4,0	300	475	750
4,5	315	500	800
5,0	335	530	850
5,5	355	560	900
6,0	375	600	950

Wartości liczbowe odchyłek podstawowych  $es$

$P$	$es$ dla $d$ oraz $d_2$			
	$e$	$f$	$g$	$h$
[mm]	[ $\mu\text{m}$ ]			
0,20	–	-32	-17	0
0,25	–	-33	-18	0
0,30	–	-33	-18	0
0,35	–	-34	-19	0
0,40	–	-34	-19	0
0,45	–	-35	-20	0
0,50	-50	-36	-20	0
0,60	-53	-36	-21	0
0,70	-56	-38	-22	0
0,75	-56	-38	-22	0
0,80	-60	-38	-24	0
1,00	-60	-40	-26	0
1,25	-63	-42	-28	0
1,50	-67	-45	-32	0
1,75	-71	-48	-34	0
2,0	-71	-52	-38	0
2,5	-80	-58	-42	0
3,0	-85	-63	-48	0
3,5	-90	-70	-53	0
4,0	-95	-75	-60	0
4,5	-100	-80	-63	0
5,0	-106	-85	-71	0
5,5	-112	-90	-75	0
6,0	-118	-95	-80	0

## 7. PRZYKŁAD OPRACOWANIA WYNIKÓW POMIARÓW

1. Oględziny: gwint nie jest zużyty. Do poprawnego przeprowadzenia pomiarów gwint wymaga wyczyszczenia.
2. Pomiary wstępne:
  - 2.1. Pomiar średnicy zewnętrznej  $d$  suwmiarką – uzyskano następujące wartości:  
 $d_1 = 9,98$  mm  
 $d_2 = 9,87$  mm  
 $d_3 = 9,94$  mm  
 $d_4 = 9,89$  mm  
 $d_5 = 9,95$  mm
  - 2.2. Ocena zarysu gwintu za pomocą wzornika zarysu – zarysowi kontrolowanego gwintu odpowiada zarys wzornika MWGa, a zatem jest to gwint metryczny. Dobry wzornik odpowiada podziałce  $P = 1,5$  mm.
  - 2.3. Na podstawie pomiarów wstępnych przyjęto gwint jako **M10 x 1,5**.
3. Pomiary optyczne:
  - 3.1. Pomiar średnicy zewnętrznej  $d$

Pomiar średnicy zewnętrznej wymaga odczytu wartości dla 2 położenia krzyża celowniczego w osi Y – prostopadłej do osi gwintu:

$$\begin{aligned}d_1 &= I_{11} - I_{12} = 15,8755 - 6,0113 = 9,8642 \text{ [mm]} \\d_2 &= I_{21} - I_{22} = 15,9123 - 6,0082 = 9,9041 \text{ [mm]} \\d_3 &= I_{31} - I_{32} = 15,9087 - 5,9959 = 9,9128 \text{ [mm]} \\d_4 &= I_{41} - I_{42} = 15,9116 - 5,9815 = 9,9301 \text{ [mm]} \\d_5 &= I_{51} - I_{52} = 15,8982 - 5,9122 = 9,9860 \text{ [mm]} \\d_6 &= I_{61} - I_{62} = 15,9816 - 5,9843 = 9,9973 \text{ [mm]}\end{aligned}$$

Na podstawie pomiarów uzyskano po zaokrągleniu do pełnych mikrometrów wymiar graniczny górny wynoszący **9,997 mm** oraz wymiar graniczny dolny **9,864 mm**. Zatem odchyłka górna wynosi  $es_d = -0,003$  mm, odchyłka dolna  $ei_d = -0,136$  mm, a tolerancja średnicy zewnętrznej wynosi  $T_d = 0,133$  mm.

Dobierając z tabeli oznaczenia symbolowe należy przyjąć położenie pola tolerancji jako  $h$ , dla którego odchyłka górna  $es_d = 0,000$  mm. Zatem, żeby objąć całe zmierzone pole tolerancja powinna wynosić 0,136 mm. Zgodnie z tabelą pole tolerancji dla gwintu o podziałce 1,5mm odpowiadające 4 klasie wynosi **150  $\mu$ m** i odchyłka dolna  $ei_d = -0,150$  mm.

- 3.2. Pomiar średnicy podziałowej  $d_2$

Pomiar średnicy podziałowej wymaga odczytu wartości dla 2 położenia krzyża celowniczego w osi Y – prostopadłej do osi gwintu:

$$\begin{aligned}
I_{1(1)} &= 15,2945; I_{1(2)} = 6,4143; I_{2(1)} = 15,3321; I_{2(2)} = 6,4185 \Rightarrow d_{2(1)} = 8,897; \\
I_{1(1)} &= 15,3321; I_{1(2)} = 6,4227; I_{2(1)} = 15,3005; I_{2(2)} = 6,3912 \Rightarrow d_{2(2)} = 8,909; \\
I_{1(1)} &= 15,3612; I_{1(2)} = 6,3749; I_{2(1)} = 15,3383; I_{2(2)} = 6,3671 \Rightarrow d_{2(3)} = 8,979; \\
I_{1(1)} &= 15,3401; I_{1(2)} = 6,3948; I_{2(1)} = 15,2894; I_{2(2)} = 6,3843 \Rightarrow d_{2(4)} = 8,925;
\end{aligned}$$

Na podstawie pomiarów uzyskano po zaokrągleniu do pełnych mikrometrów wymiar graniczny górny wynoszący **8,979 mm** oraz wymiar graniczny dolny **8,897 mm**. Zatem odchyłka górna wynosi  $es_{d2} = -0,047 \text{ mm}$ , odchyłka dolna  $ei_{d2} = -0,129 \text{ mm}$ , a tolerancja średnicy zewnętrznej wynosi  $T_{d2} = 0,082 \text{ mm}$ .

Dobierając z tabeli oznaczenia symbolowe należy przyjąć położenie pola tolerancji jako **f**, dla którego odchyłka górna  $es_{d2} = -0,045 \text{ mm}$ . Zatem, żeby objąć całe zmierzone pole tolerancja powinna wynosić 0,084 mm. Zgodnie z tabelą pole tolerancji dla gwintu o podziałce 1,5mm odpowiadające **4** klasie wynosi **85  $\mu\text{m}$**  i odchyłka dolna  $ei_{d2} = -0,130 \text{ mm}$ .

Zatem oznaczenie śruby dla pomiarów z punktu 4.1 i 4.3 należy zapisać jako **M10 x 1,5 - 4h 4f**

### 3.3. Pomiar podziałki **P**

Pomiar podziałki wymaga odczytu wartości dla 4 położen krzyża celowniczego w osi Y – równoległej do osi gwintu (2 położenia po jednej i 2 położenia po drugiej stronie osi gwintu):

$$\begin{aligned}
I_{11} &= 12,3406; & I_{12} &= 13,8460; & I_{13} &= 13,1045; & I_{14} &= 14,5915 \Rightarrow P_1 = 1,4962 \text{ mm} \\
I_{21} &= 16,8595; & I_{22} &= 18,3449; & I_{23} &= 17,5974; & I_{24} &= 19,1026 \Rightarrow P_2 = 1,4953 \text{ mm} \\
I_{31} &= 21,3511; & I_{32} &= 22,8464; & I_{33} &= 22,1095; & I_{34} &= 23,6080 \Rightarrow P_3 = 1,4969 \text{ mm} \\
I_{41} &= 25,8470; & I_{42} &= 27,3520; & I_{43} &= 26,5904; & I_{44} &= 28,0906 \Rightarrow P_4 = 1,5025 \text{ mm} \\
I_{51} &= 30,3462; & I_{52} &= 31,8558; & I_{53} &= 31,1029; & I_{54} &= 32,5993 \Rightarrow P_5 = 1,5030 \text{ mm} \\
I_{61} &= 34,8448; & I_{62} &= 36,3559; & I_{63} &= 35,6018; & I_{64} &= 37,0938 \Rightarrow P_6 = 1,5015 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Podziałka P nie jest tolerowana, ale jej błędy są uwzględniane w tolerancji średnicy podziałkowej. W zmierzonym przypadku wartość podziałki mieści się w zakresie od 1,4953 do 1,5030 mm. Można tę wartość zapisać również jako  $P = 1,5^{+0,003}_{-0,005} \text{ mm}$ .

### 3.4. Pomiar kąta zarysu gwintu

Pomiar kąta zarysu gwintu wymaga odczytu wartości dla 4 położen kątowych krzyża celowniczego (2 położenia po jednej i 2 położenia po drugiej stronie osi gwintu):

$$\begin{aligned}
I_{11(\alpha)} &= 30^{\circ}05'; & I_{12(\alpha)} &= 29^{\circ}55'; & I_{13(\alpha)} &= 29^{\circ}52'; & I_{14(\alpha)} &= 30^{\circ}14' \Rightarrow 2\alpha_1 = 60^{\circ}03' \\
I_{21(\alpha)} &= 30^{\circ}14'; & I_{22(\alpha)} &= 30^{\circ}01'; & I_{23(\alpha)} &= 30^{\circ}38'; & I_{24(\alpha)} &= 29^{\circ}34' \Rightarrow 2\alpha_2 = 60^{\circ}14' \\
I_{31(\alpha)} &= 29^{\circ}39'; & I_{32(\alpha)} &= 30^{\circ}16'; & I_{33(\alpha)} &= 30^{\circ}12'; & I_{34(\alpha)} &= 30^{\circ}02' \Rightarrow 2\alpha_3 = 60^{\circ}05' \\
I_{41(\alpha)} &= 29^{\circ}41'; & I_{42(\alpha)} &= 30^{\circ}22'; & I_{43(\alpha)} &= 29^{\circ}32'; & I_{44(\alpha)} &= 30^{\circ}26' \Rightarrow 2\alpha_4 = 60^{\circ}01' \\
I_{51(\alpha)} &= 30^{\circ}27'; & I_{52(\alpha)} &= 30^{\circ}01'; & I_{53(\alpha)} &= 29^{\circ}38'; & I_{54(\alpha)} &= 29^{\circ}48' \Rightarrow 2\alpha_5 = 59^{\circ}57' \\
I_{61(\alpha)} &= 30^{\circ}11'; & I_{62(\alpha)} &= 29^{\circ}52'; & I_{63(\alpha)} &= 29^{\circ}35'; & I_{64(\alpha)} &= 29^{\circ}35' \Rightarrow 2\alpha_6 = 59^{\circ}37'
\end{aligned}$$

Kąt  $\alpha$  nie jest tolerowany, ale jego błędy są uwzględniane w tolerancji średnicy podziałowej. W zmierzonym przypadku wartość kąta  $\alpha$  mieści się w zakresie od  $59^{\circ}37'$  do  $60^{\circ}14'$ . Można tę wartość zapisać również, jako  $\alpha = 60 \begin{smallmatrix} +14' \\ -23' \end{smallmatrix}$

#### 4. Wnioski:

Przeprowadzone pomiary szczegółowe potwierdziły wstępnie uzyskaną informację, że badaniu poddawany jest gwint metryczny M10 x 1,5. Badany gwint spełnia wymagania dotyczące wymiarów tolerowanych. W przypadku pomiaru średnicy zewnętrznej  $d$  uzyskano dla pomiarów stykowych i optycznych położenie pola tolerancji 4h. Dla pomiarów średnicy podziałowej  $d_2$  w przypadku pomiarów stykowych pole tolerancji wynosi 5e, a w pomiarach optycznych 4f. Dodatkowo wartości podziałki i kąta zarysu uzyskane w pomiarach optycznych nieznacznie odbiegają od wartości nominalnych dla gwintu metrycznego. Należy uznać, że gwint jest wykonany poprawnie.