

VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
KVANTINĖS ELEKTRONIKOS KATEDRA
MOKOMOJI LAZERIŲ LABORATORIJA

Laboratorinis darbas **Nr. KE – 8**

Vaizdų perdavimo šviesolaidine pyne tyrimas

Metodiniai nurodymai



Dėmesio! Darbo metu naudojami lazerinės spinduliuotės šaltiniai – būtina susipažinti ir griežtai laikytis atitinkamų saugos reikalavimų

Darbo užduotys

1. Išmatuoti pynės skaitmeninę apertūrą ir apertūrinį kampą.
2. Nustatyti šviesos nuostolius pynėje.
3. Nustatyti atskiro šviesolaidžio diametrą ir šviesolaidžių skaičių pynėje
4. Nustatyti šviesolaidinės pynės skiriamąją gebą.

Kontroliniai klausymai

1. Kodėl vaizdas negali būti perduotas vienu šviesolaidžiu?
2. Šviesolaidinės pynės konstrukcija.
3. Svarbiausi parametrai, charakterizuojantys šviesolaidines pynes.
4. Kokie faktoriai lemia šviesos nuostolius šviesolaidinėse pynėse?
5. Šviesos nuostolių šviesolaidinėje pynėje priklausomybė nuo bangos ilgio.
6. Šviesolaidinių pynių naudojimo sritys.
7. Mikroskopo ir šviesolaidinių pynių skiriamoji geba.

Metodiniai paaiškinimai

Šviesolaidinė pynė

Dauguma šviesolaidžių sudaryti iš dviejų skirtingų lūžio rodiklių optiškai skaidrių medžiagų. Didesnio lūžio rodiklio šerdies ir mažesnio lūžio rodiklio apvalkalo. Šviesolaidžiai gali būti gaminami iš stiklo, plastiko ir kitų medžiagų. Šviesa šviesolaidžio šerdimi gali sklirti didelius atstumus dėl visiško vidinio atspindžio. Parametras, apibūdinantis koku didžiausiu kampu šviesa gali būti įvesta į šviesolaidį, yra skaitmeninė apertūra NA (numerical aperture):

$$NA = n_0 \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1)$$

kur n_0 - aplinkos lūžio rodiklis, θ_a yra apertūrinis kampas, parodantis maksimalų kampą, kuriuo krisdami į šerdies apvalkalo ribą šviesos spinduliai atsispindi dėl visiško vidinio atspindžio, n_1 – šerdies lūžio rodiklis, n_2 – apvalkalo lūžio rodiklis. Jei įvedimo kampas yra didesnis negu apertūrinis kampas, šviesos spinduliai lūžta šerdies ir apvalkalo riboje ir nebesklinda šviesolaidžio šerdimi.

Šviesolaidinė pynė sudaryta iš daug atskirų šviesolaidžių. Bendras šviesolaidžių skaičius pynėje priklauso nuo jų diametro ir jų tarpusavio išsidėstymo. Tuo atveju, kai šviesolaidžių centrai išsidėstę kvadrato kampuose, bendras jų skaičius pynėje apytiksliai lygus

$$N_{\square} = \pi D^2 / (4h^2), \quad (2)$$

čia D – šviesolaidinės pynės skerspjūvio diametras, h – atstumas tarp šviesolaidžių centrų šviesolaidinėje pynėje.

Jeigu šviesolaidžių centrai išsidėstę lygiašonio trikampio viršūnėse, tai jų tankis pynėje yra didesnis, dėl to geresnė pynės skiriamoji geba. Bendras šviesolaidžių skaičius pynėje šiuo atveju yra

$$N_{\Delta} = \pi D^2 / (2\sqrt{3}h^2). \quad (3)$$

Šviesolaidinės pynės pralaidumas T apibrėžiamas kaip santykis tarp šviesos srauto pynės išvade ($F_{i\check{s}}$) ir įvade ($F_{i\check{v}}$):

$$T = F_{i\check{s}} / F_{i\check{v}}. \quad (4)$$

Pynės pralaidumas priklauso nuo bendro šviesolaidžių šerdžių ploto santykio su pynės skerspjūvio plotu, taip pat nuo pynės galų apdirbimo kokybės ir nuostolių atskiruose šviesolaidžiuose.

Žinant pynės pralaidumą, galima paskaičiuoti ir šviesos slopinimą pynėje naudojantis formule

$$B[dB] = 10 \log_{10} T^{-1} \quad (5).$$

Slopinimas pynės ilgio vienetui skaičiuojamas kaip

$$B_0[dB/m] = 1/L[m] 10 \log_{10} T^{-1} \quad (6),$$

Čia L – pynės ilgis.

Naudojami prietaisai:

1. Šviesolaidinė pynė.
2. Mikroskopas ir kamera Motic.
3. Šviesolaidinės pynės laikikliai.
4. Pasukimo staliukas.
5. Lazerinio diodo modulis.
6. Optinės galios matuoklis.
7. 1951 USAF skyros matavimo plokštelė.
8. Kalibravimo liniuotė (1 padala=100μm)
9. Šviestukas.
10. Kompiuteris.
11. Poslinkio staliukas.

Mikroskopo ir Motic kameros naudojimo metodiniai nurodymai

Vaizdų registravimui naudojama prie mikroskopo prijungta kamera Motic. Įjungus kompiuterį ir prijungus mikroskopo kamerą prie kompiuterio, paleidžiama programą **Motic Images Plus 2.0 ML**.



1 pav. Motic Images Plus 2.0 ML programos nuoroda.

Atsidaręs programos langas (2 pav.) suskaidytas į:

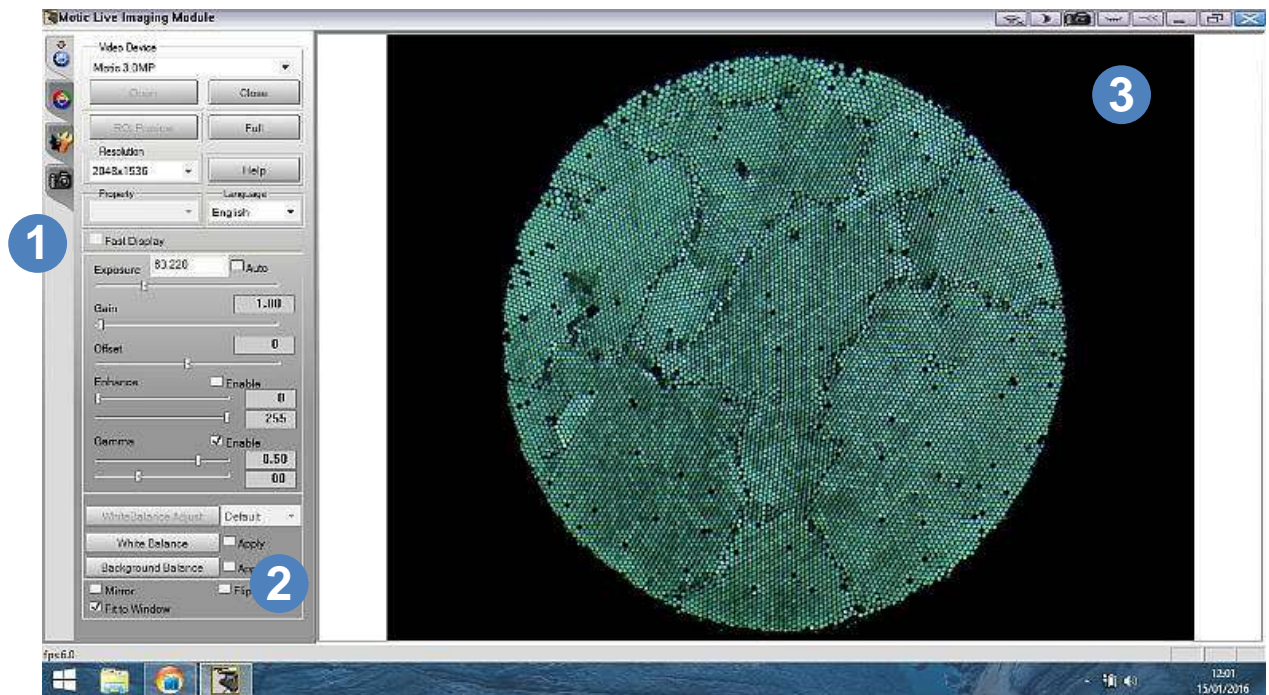
- 1 – Pagrindinis meniu, kuriame pasirenkamas Įrankių skydelis;
- 2 – Įrankių skydelis;
- 3 – Atvaizdavimo langas;
- 4 – Valdymo skydelis, kuris atsidaro tik pasirinkus ir atidarius vaizdą Atvaizdavimo lange;
- 5 – Atidarytų vaizdų peržiūros langas, kuriame atvaizduojami visi programoje atidaryti ar registruoti vaizdai. Pasirinktas vaizdas atvaizduojamas Atvaizdavimo lange.

Norint pradėti mikroskopo kameros vaizdų registravimą šio lango Pagrindiniame meniu pasirinkti **File** ir Įrankių skydelyje spausti kameros vaizdų registravimą **Capture** (2 pav. pažymėta raudonai).



2 pav. Programos Motic Images Plus 2.0 ML pagrindinis langas

Atsidaro papildomas Vaizdų registravimo langas.






3 pav. Programos Motic Images Plus 2.0 ML Vaizdų registravimo langas

Atsidariusiame Vaizdų registravimo lange (3 pav.):

1 – Valdymo įrankių rinkinio pasirinkimo skirtukai ;


2 – Valdymo įrankių rinkiniai, kuriais galima valdyti pagrindinius kameros reguliavimo




(Basic Adjustment), spalvinius  (Color Adjustment), išplėstinius kameros  (Advanced Setting) ir registravimo  (Video Capture) parametrus;

3 – Atvaizdavimo langas, kuriame realiu laiku atvaizduojami kameros registruojami vaizdai.

Valdymo įrankių rinkinio pasirinkimo skirtukuose pasirinkti pagrindinių kameros parametrų

reguliavimo įrankių skirtuką  (**Basic adjustment**). Atsidariusiame kameros parametrų skydelyje pasirinkti Motic 3.0MP kamerą (**Video device**). Nustatyti didžiausią kameros skyryą lygią 2048×1536 (**Resolution**). Kameros išlaikymas (**Exposure**) parenkamas toks, kad registruojamame kameros vaizde Atvaizdavimo lange būtų galima išskirti kuo smulkesnes detales. Norint pagerinti spalvų atvaizdavimą spausti **White Balance**. Registruojamų vaizdų dydžio priderinimas prie Atvaizdavimo lango dydžio atliekamas pažymėjus langelį **Fit to**

Window. Paspaudus Valdymo įrankių rinkinio pasirinkimo skirtukuose skirtuką  (**Video capture**) atsidaro registravimo parametrų skydelis. Atsidariusiame registravimo skirtuke pasirinkti registruojamo vaizdo dydį lygu 2048×1536 (**Format**). Paspaudus **Capture** užregistruojamas mikroskopo kameros vaizdas. Užregistruotas vaizdas atsiranda Pagrindinio

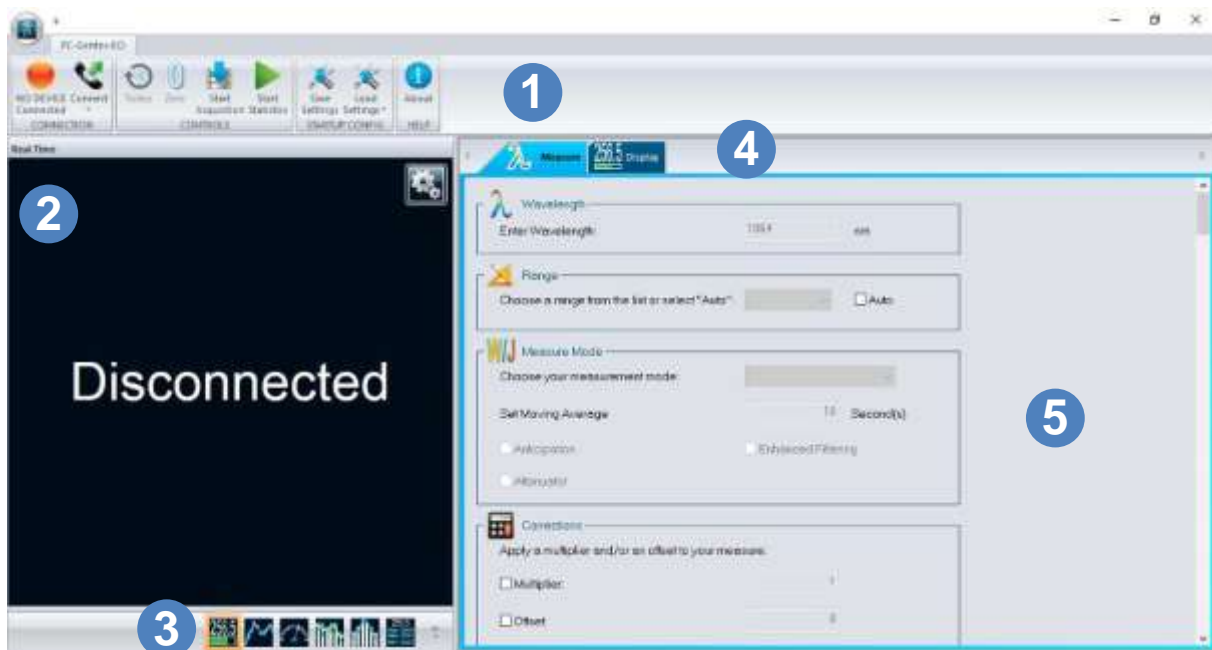
lango Atidarytų vaizdų peržiūros lange. Pažymėjus vaizdą ir jam atsiradus Pagrindinio lango Atvaizdavimo lange išsaugoti užregistruotą vaizdą BMP arba TIFF formatu.

Galios matuoklio valdymas

Lazerio spinduliuotės optinės galios matavimui naudojamas optinės galios matuoklis PH100-Si. Įjungus kompiuterį ir prijungus optinės galios matuoklį per USB sąsają prie kompiuterio, paleidžiama matuoklio valdymo programa PC-Gentec-EO .



4 pav. PC-Gentec-EO nuoroda



5 pav. PC-Gentec-EO programos valdymo langas.

1 – Pagrindinis valdymo meniu, kurioje išskiriami Prijungimo, Valdymo, Konfigūravimo išsaugojimo-paleidimo bei Pagalbos skydeliai.

2 – Duomenų atvaizdavimo langas, kuriame atvaizduojami duomenys pasirinktu atvaizdavimo būdu.

3 – Duomenų atvaizdavimo keitimo meniu.

4 – Valdymo įrankių rinkinio pasirinkimo skirtukai.

5 – Valdymo įrankių rinkiniai, kuriais galima valdyti matavimo, registravimo ir atvaizdavimo parametrus.

Automatinis optinės galios matuoklio prijungimas atliekamas paspaudus mygtuką **Connect** Pagrindinio valdymo meniu Prijungimo (CONNECTION) skydelyje, o atjungimas paspaudus mygtuką **Disconnect** .



6 pav. Prijungimo skydelis, kai optinės galios matuoklis neprijungtas (kairėje) ir prijungtas (dešinėje).

Duomenų atvaizdavimo lange nustatyti matuojamų duomenų statistikos atvaizdavimą paspaudus mygtuką **Statistics** duomenų atvaizdavimo keitimo meniu.

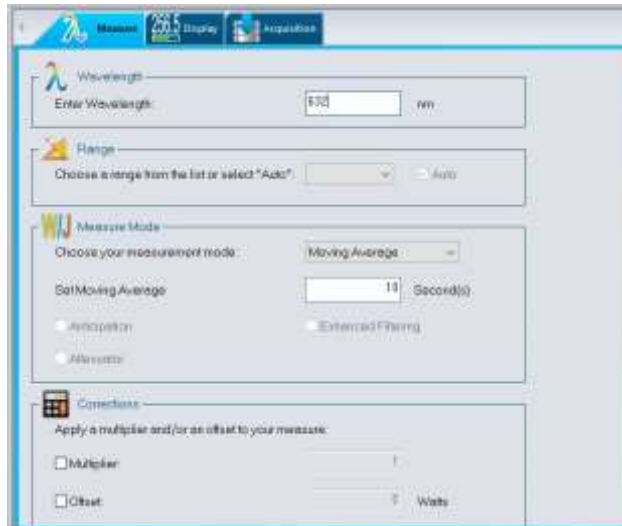


7 pav. Duomenų atvaizdavimo langas, pasirinkus optinės galios matavimų statistikos atvaizdavimą. Prieš matavimus būtina nustatyti optinės galios matuoklio nulį. Uždengus lazerio spinduliuotę paspaudžiamas Pagrindinio valdymo meniu Valdymo (CONTROLS) skydelio mygtukas **Zero**.



8 pav. Valdymo skydelis.

Pasirinkus Matavimų (Measure) nustatymų skirtuką, nustatyti Bangos ilgį (Wavelength) lygu 650 nm.



9 pav. Matavimų nustatymų skirtukas

Pasirinkus Duomenų atvaizdavimo lango (Display) nustatymų skirtuką, nustatyti Statistikos nustatymuose (Statistics Settings) matavimo trukmę (Duration) pastovią (Continuous) ir optinės galios matuoklio matavimų statistikos skaičiavimo trukmę lygia 10 s.



10 pav. Duomenų atvaizdavimo lango nustatymų skirtukas

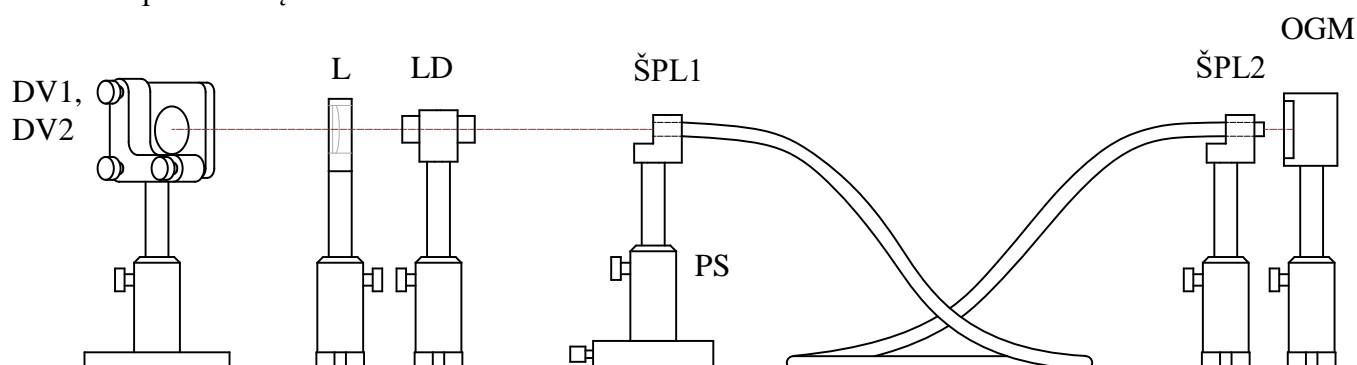
Optinės galios matuoklio matavimų statistikos skaičiavimas pradedamas paspaudus Pagrindinio valdymo meniu Valdymo (CONTROLS) skydelio mygtuką **Start Statistics** (8 pav.). Statistikos skaičiavimas stabdomas paspaudus mygtuką **Stop Statistics**.



11 pav. Valdymo skydelis paleidus matavimų statistikos skaičiavimą.

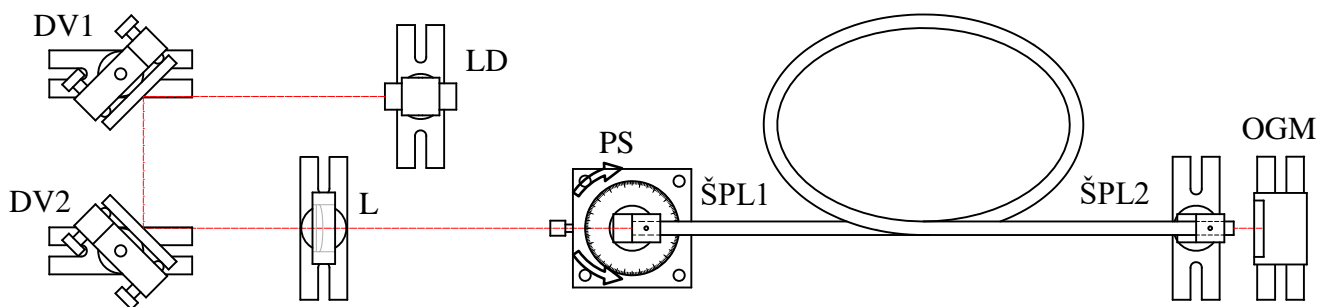
Pynės apertūrinio kampo ir skaitmeninės apertūros matavimai

- Vieną šviesolaidinės pynės galą ŠPL1 įtvirtinti į pasukimo staliuką PS.
- Derinimo veidrodžiais DV1 ir DV2 lazerinio diodo modulio spindulį nukreipti statmenai į šviesolaidinės pynės galą ŠPL1 taip, kad lazerinio diodo modulio spinduliuotės pluoštas, išeinantis iš kito šviesolaidinės pynės galo ŠPL2, būtų Gauso pluošto ar jam artimo pluošto pavidalo.
- Prieš šviesolaidinės pynės galą ŠPL1 100 mm atstumu pastatyti lęšį L ($f=100\text{mm}$).
- Iš pynės išvado ŠPL2 išeinanti spinduliuotės galia registruojama optinės galios matuokliu OMG. Optinės galios matuoklis OMG turi stovėti taip, kad surinktų visą per pynę praėjusią spinduliuotę.



12 pav. Šviesolaidinės pynės apertūrinio kampo ir skaitmeninės apertūros matavimo schema.

- Sukant pasukamąjį staliuką PS į kairę ir į dešinę nuo statmeno spindulio kritimo kampo, išmatuoti praėjusios spinduliuotės intensyvumo priklausomybę nuo pasukimo kampo. Pasukimo kampą keisti nuo 0 iki kampo, prie kurio lazerinio diodo modulio spinduliuotė nebesklinda šviesolaidine pynė. Pamatuočių taškų turi būti ne mažiau 30. Matavimo rezultatus pavaizduoti grafiškai.



13 pav. Šviesolaidinės pynės apertūrinio kampo ir skaitmeninės apertūros matavimo schema.

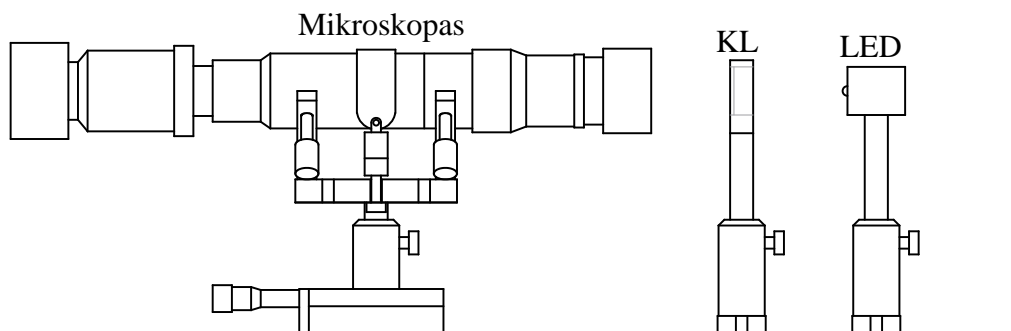
- Naudojant matavimo rezultatus, nustatyti šviesolaidinės pynės apertūrinį kampą θ_a ir skaitmeninę apertūrą NA . Apertūrinis kampas laikomas toks kampas, kai praėjusios per pynę šviesos intensyvumas sumažėja iki 5% nuo maksimalios vertės.

Šviesos nuostolių pynėje matavimas

- Lazerinio diodo modulio spindulys turi kristi statmenai į šviesolaidinės pynės galo paviršių.
- Optinės galios matuokliu OMG išmatuoti lazerio spinduliuotės galią prieš šviesolaidinę pynę ir po jos, rasti šviesolaidinės pynės pralaidumą T .
- Apskaičiuoti slopinimą šviesolaidinėje pynėje decibelais (dB).

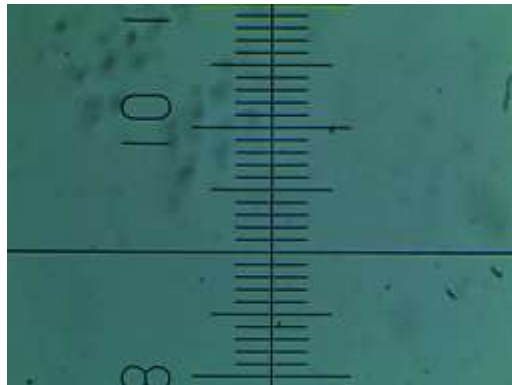
Mikroskopo kalibravimas

- Prijungti mikroskopo kamerą prie kompiuterio.
- Įjungti kompiuterį ir paleisti mikroskopo Motic programą.
- Mikroskopo didinimas (ZOOM) nustatyti lygu 0.8-0.9.
- Mikroskopo židinyje pastatyti kalibravimo liniuotę KL. Už kalibravimo liniuotės KL statomas šviesos šaltinis (šviestukas) LED.



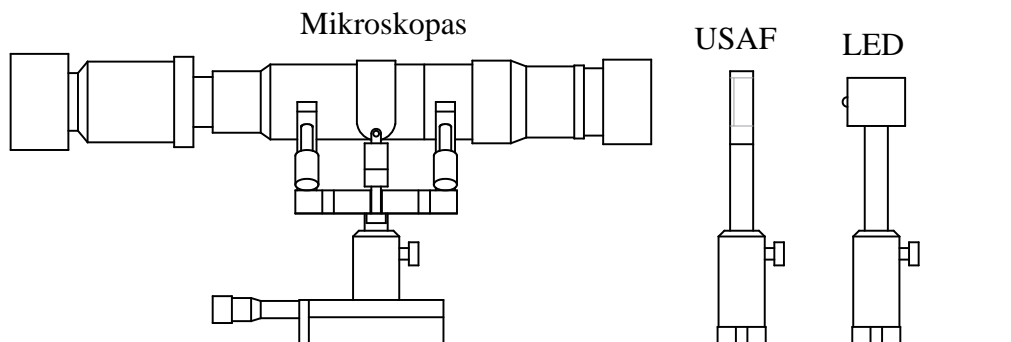
14 pav. Mikroskopo kalibravimo matavimo schema.

- Suderinus mikroskopo padėtį kalibravimo liniuotės atžvilgiu, naudojant poslinkio staliuką, užregistruoti kalibravimo liniuotės KL vaizdą.



15 pav. Kalibravimo liniuotės vaizdo pavyzdys.

- Vietoje kalibravimo liniuotės pastatyti USAF 1951 skyros matavimo plokštelę USAF. USAF 1951 skyros matavimo plokštelė sudaryta iš įvairių storių vertikalų ir horizontalių linijų rinkinio, kurių pagalba nustatoma skyra.



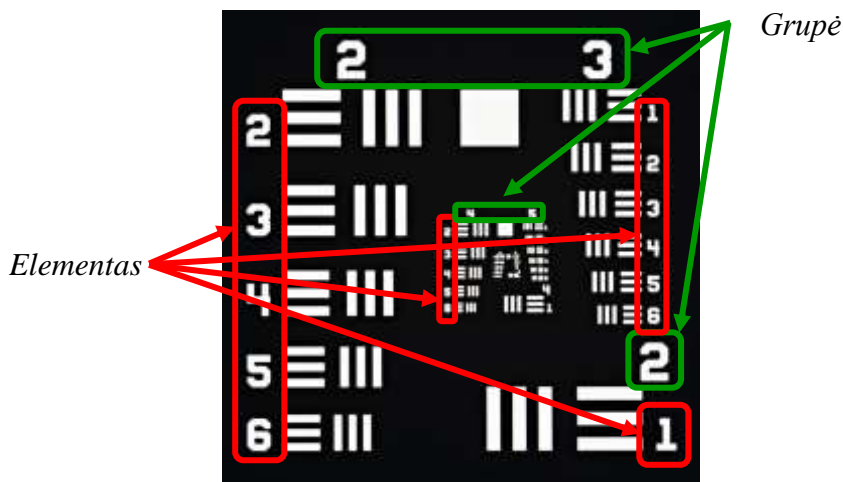
16 pav. Mikroskopo skyros matavimo schema.

- Suderinus mikroskopo padėtį skyros matavimo plokštelės atžvilgiu, naudojant poslinkio staliuką, užregistruoti USAF 1951 skyros matavimo plokštelės vaizdą.
- Nustatyti mikroskopo skyrą. Rasti didžiausią USAF 1951 skyros matavimo plokštelės grupę ir didžiausią tos grupės elementą, kurių horizontales ir vertikales linijas galima išskirti.

1 lentelė. USAF 1951 skyros matavimo plokštelės skyros $R \left(\frac{\text{linijų}}{\text{mm}} \right) = 2^{\text{Grupė} + \left(\frac{\text{Elementas} - 1}{6} \right)}$

reikšmės (*Grupė* matavimo plokštelėje nurodyta horizontalioje eilutėje, *Elementas* vertikaliame stulpelyje)

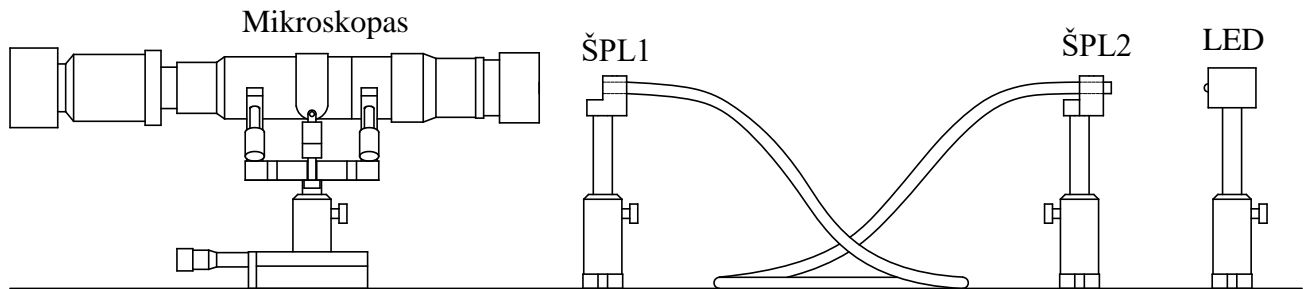
<i>Elementas</i>	<i>Grupė</i>					
	2	3	4	5	6	7
1	4.0	8.0	16.0	32.0	64.0	128.0
2	4.49	8.98	17.95	36.0	71.8	144.0
3	5.04	10.10	20.16	40.3	80.6	161.0
4	5.66	11.30	22.62	45.3	90.5	181.0
5	6.35	12.70	25.39	50.8	102.0	203.0
6	7.13	14.30	28.50	57.0	114.0	228.0



17 pav. USAF 1951 skyros matavimo plokštelė

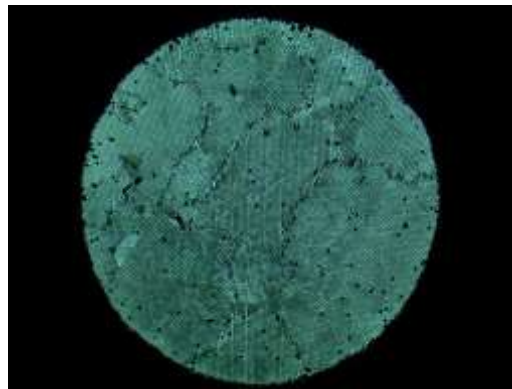
Šviesolaidžio skaidulos skersmens ir skaidulų skaičiaus pynėje matavimai

- Šviesolaidinė pynė įtvirtinama į laikiklį taip, kad mikroskopu būtų galima stebėti vieną iš jos galų. Antrasis pynės galas nukreipiamas į baltos šviesos šaltinį (šviestuką).



18 pav. Šviesolaidinės pynės parametrų matavimas.

- Suderinti mikroskopo ir šviesolaidinės pynės padėtis taip, kad stebimas pynės galas būtų mikroskopo židinio plokštumoje ir regėjimo lauko centre. Mikroskopo matymo lauke turi matytis visa šviesolaidinė pynė.



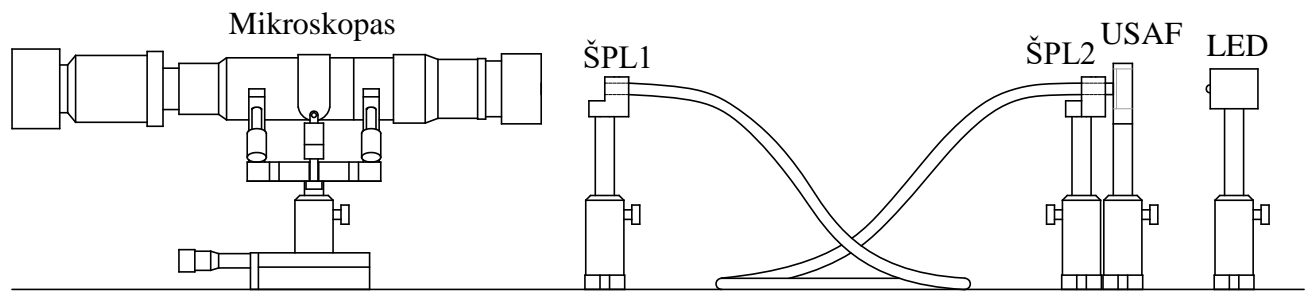
19 pav. Šviesolaidinės pynės galo vaizdo pavyzdys.

- Parinkus tinkamą kameros išlaikymą, užregistruojamas šviesolaidinės pynės galas.
- Išmatuoti šviesolaidinės pynės skerspjūvio diametrą (matuojant diametrą ir kitus parametrus naudotis kalibravimo liniuotės matavimo rezultatais).
- Išmatuoti šviesolaidinėje pynėje ne mažiau 10 atsitiktinai pasirinktų atstumų tarp vienos šalia kito išsidėsčiusių šviesolaidžių. Apskaičiuoti vidutinį atstumą h tarp šviesolaidžių.
- Išmatuoti šviesolaidinėje pynėje ne mažiau 10 atsitiktinai pasirinktų šviesolaidžių diametrų. Apskaičiuoti vidutinį šviesolaidžių diametrą d .
- Nustatyti šviesolaidžių išsidėstymo tvarką šviesolaidinėje pynėje. Atsižvelgus į nustatytą šviesolaidžių išsidėstymo tvarką, remiantis (1) arba (2) formule apskaičiuoti šviesolaidžių skaičių šviesolaidinėje pynėje.
- Apskaičiuoti pynės užpildymo dydį:

$$BPF = \frac{N\pi d^2/4}{\pi D^2/4} \quad (7)$$

Šviesolaidinės pynės skiriamosios gebos matavimas

- Prieš antrąją šviesolaidinės pynės galą pastatomas USAF 1951 skyros matavimo plokštelė USAF. Skyros matavimo plokštelė atsargiai priglaudžiama prie šviesolaidinės pynės galo.
- Už skyros matavimo plokštelės USAF pastatyti baltos šviesos šaltinį LED .



20 pav. Šviesolaidinės pynės skyros matavimo schema

- Parinkus tinkamą kameros išlaikymą, užregistruoti šviesolaidinės pynės perduodamą USAF 1951 skyros matavimo plokštelės vaizdą.



21 pav. USAF 1951 skyros matavimo plokštelės vaizdo perduoto šviesolaidinės pyne pavyzdys.

- Nustatyti šviesolaidinės pynės skyra. Rasti didžiausią USAF 1951 skyros matavimo plokštelės grupę ir didžiausią grupės elementą, kurių horizontales ir vertikales linijas galima išskirti.