

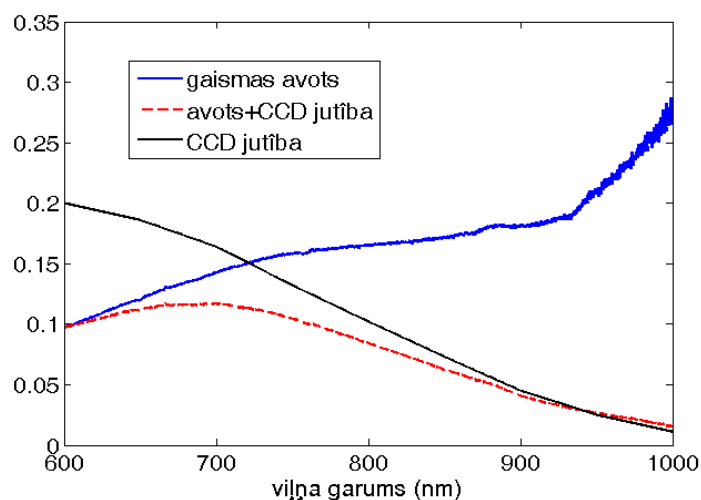
1. Darbības 5. aktivitātē

Rūpnieciskais pētījums.

Vienlaicīga infrasarkanā spektra un daudzjoslu redzamā spektra fotografēšana izvēlētam izgaismotam aizsargājamam objektam, kombinētas multispektrālo rastra karšu datubāzes izveidei (spektrālajos apgabalos redzamajā - 0,4-0,7 mkm un tuvajā infrasarkanajā 0,8-1,1mkm). Algoritmu un matemātisko modeļu izveide, lai noteiktu pētāmo objektu parametrus – raksturīgās spektrālās pazīmes un nobīdes no tām.

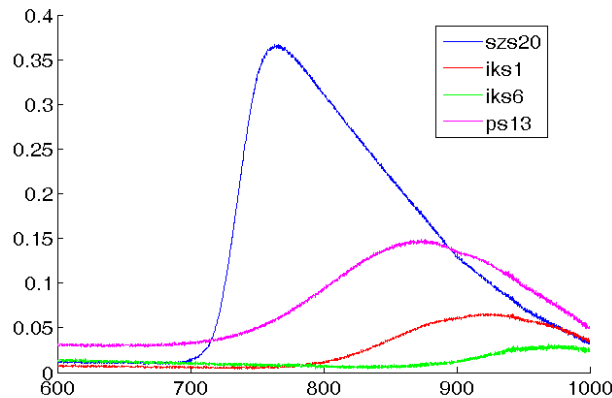
1.1. Matemātiskā aparāta izveide un uzlabošana datu apstrādei

Veicot mērījumus tuvajā infrasarkanajā (NIR) spektra rajonā, būtu jāapzinās vairāki attēlu iegūšanas sistēmas parametri. Pirmkārt, kameras spektrālā jutība NIR spektrā klasiskām CCD matricām samazinās, kas ietekmēs attēla spožumu pie līdzīgiem apertūras (NA) un kameras pastiprinājuma iestatījumiem. Otrkārt, lietoto filtru caurlaidība ienes savas izmaiņas, kuras pārklāsies ar kameras matricas jutību. Treškārt, nozīme būs arī apgaismojuma spektrālām sastāvam. Attēlā 1.1. ir parādīts gaismas avota spektrālais sadalījums un CCD matricas jutības līkne diapazonā no 600 līdz 1000 nm.



1.1.attēls. CCD matricas spektrālās jutības līkne un gaismas avota spektrālais sadalījums.

Iepriekš (zin.pārsk.7.2.2.) tika izvēlēti 4 filtri kas ļauj pārklāt zonu no 700 līdz 1000 nm atšķirīgo struktūru filmēšanai. Attēlā 1.2. ir filtru caurlaidība pareizināta ar CCD matricas jutību. Ka redzams, filmēšana ar iks1 un iks 6 filtriem sniegs attēlus ar ļoti zemu spožumu un visspožākais būs attēls ar szs20 (+kc19) filtru.



1.2.attēls. Filtru caurlaidība pareizināta ar matricas jutību.

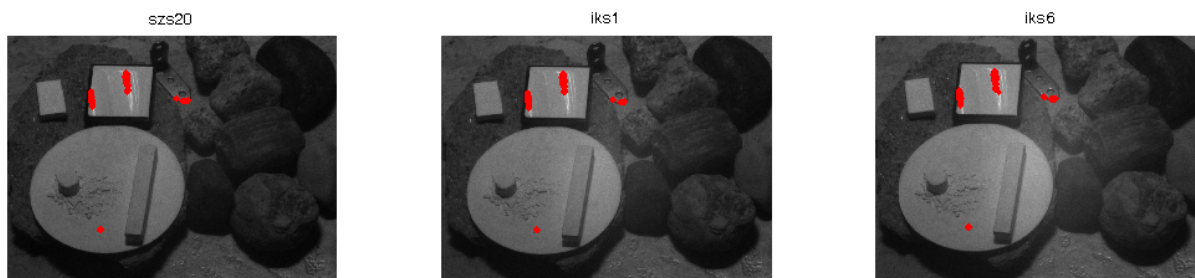
Veicot balta parauga mērījumus ar kameru un izvēlētiem filtriem praktiski tika noskaidroti optimālie ekspozīcijas laiki, kas sniegtu līdzīgus attēlu spožumus. Filmēšana notika pie konstanta pastiprinājuma koeficienta (6) un NA=32 (mazāka zīlīte). Zīlītes izmērs spēlē lielu lomu NIR attēlu iegūšanā, jo tas ļauj attēlam būt fokusētam visā spektrā diapazonā no 700 līdz 1000 nm, kaut arī samazina ienākošas gaismas daudzumu. Tabulā 1.1. ir doti mērījuma parametri un aprēķinātie ekspozīcijas laiki. Tos iegūst vadoties no filtru caurlaidības un kameras matricas jutības. Ir novērojama neliela atšķirība starp mērījuma un aprēķinātām vērtībām. Tas ir skaidrojama ar iespējamo matricas jutības nekorektumu, kas tika nolasītas no grafika, nevis ir oficiālie jutības dati. Neskatoties uz to ir iegūtas aptuvenās ekspozīciju vērtības, kas ļaus iegūt līdzīgus attēlus spožuma ziņā un pilnvērtīgi izmantot dinamisko diapazonu.

Tabula 1.1.

Attēlu spožuma parametri pie dažādiem NIR filtriem

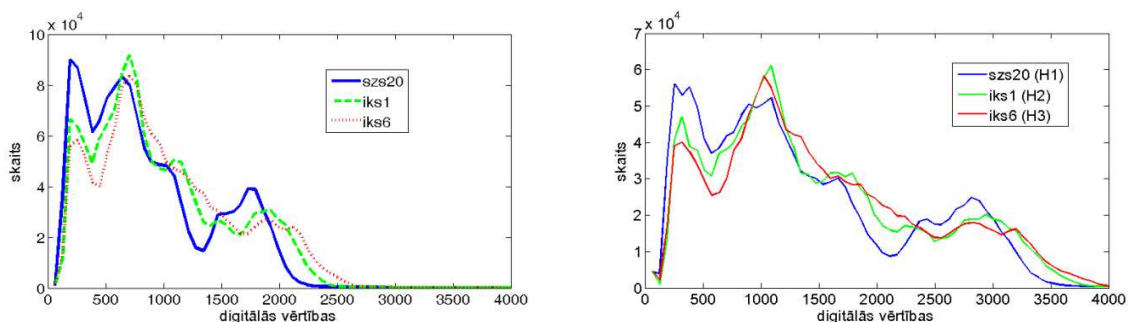
filtrs	attēla maks. vērtība	ekspozīcija (ms)	Filtru caurlaidība + CCD	aprēķināta ekspozīcija
szs20+	2098	30	0.27	37
iks1	2331	100	0.06	182
iks6	2456	400	0.03	381
ps13 +	2955	50	0.16	63

Sakarā ar to kā izmantojamie filtri pārklāj plašus viļņu garumu diapazonus, ir jāpiemeklē un jāattīsta atbilstošas metodes. Bieži vien iegūtie NIR attēli ir ļoti līdzīgi un nepieciešami komplicēti algoritmi atšķirību noteikšanai. Viens no tādiem veidiem ir attēla histogrammu salīdzināšana. Pirms veikt histogrammu aprēķinus, būtu jāveic attēlu apstrāde un jānovāc izgaismotos apgabalus. Attēlā 3 ir doti akmens paraugu mērījumi NIR diapazonā ar atzīmētiem izgaismotiem laukiem.



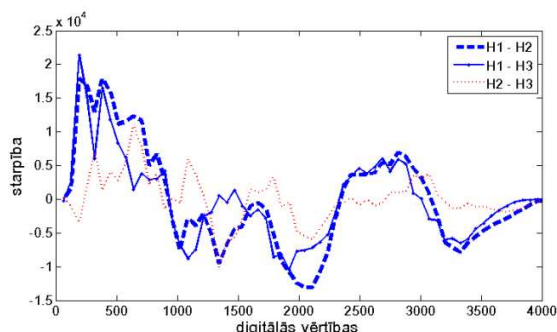
1.3.attēls. Akmens paraugu aina iegūta ar trīs NIR filtriem. Sarkanie punkti apzīmē izgaismotas vietas.

Kopumā, šai ainai iegūtie attēli ir vizuāli līdzīgi. Lai novērtēs izmaiņas ir jāuzbūvē vērtību histogramma. Katrā attēla tika pārbaudīts cik ir pikseļu ar noteiktu spožuma vērtību 12 bitu attēlam. Attēlā 1.4. ir dotas histogrammas iepriekš minētiem attēliem. Katrs attēls tika uzņemts pie savas ekspozīcijas (skat. Tabula 1.1.), kas ietekmē arī attēla troksni. Lai iegūt līdzīgākas histogrammas trokšņa vērtības tika atņemta no attēla pikseļu vērtībām. Šāda minimālo vērtību normalizēšana nodrošinā īkņu kopējo sākuma punktu, bet vēl paliek starpības pie maksimālām vērtībām. Lai spožuma sadalījumi būtu salīdzināmi katrai no histogrammām tiek noteikta maksimālo vērtību mala, kur vērtības kļūst mazākas par 60 vienībām un līdz šai vērtībai tiek normalizētas visas histogrammas (attēls 1.4. pa labi).



1.4.attēls. Ar NIR filtriem iegūto attēlu histogrammas (pa kreisi). Normalizētas attēlu histogrammas (pa labi).

Pēc attēlu histogrammu starpības (attēls 1.5.) var noteikt kurš ir to atšķirīgo vērtību diapazons, kurā būtu jāmeklē īpašības. Būtu jāuzmanās veikt analīzi pie ļoti mazām atkāpēm, kuru lielumu vēl būtu jānosaka eksperimentāli. Lielākas atšķirības var novērot starp *szs20* filtru pret pārējiem filtriem .



1.5.attēls. Histogrammu starpības. Atkāpes no nulles vērtības var tikt sameklētas un analizētas NIR attēlos.

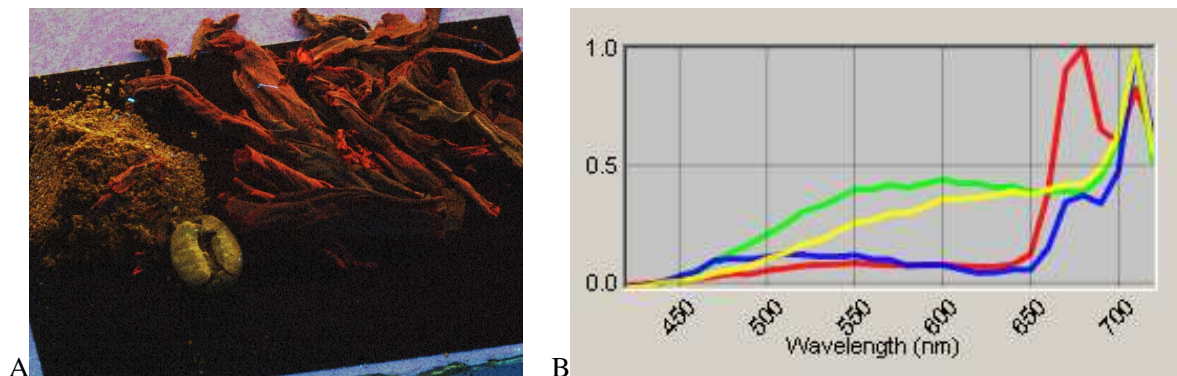
Kā redzams attēlā 1.5. histogrammu starpībai mēdz būt pozitīvas un negatīvas vērtības. Ja pieņem, ka lūzuma punkti starp šīm fāzēm ir būtiski, jo tajos vērtība ir tuvu nullei, var piedāvāt analizēt punktus katrā no fāzēm. Attēlā 1.6. ir parādīta objektu sadalījumu katrā no trijām fāzēm. Pirmajā fāzē nokļūst akmeņi, otrajā – paliktnis un apaļš papīrs ar krītu un lantāna oksīdu, trešajā – baltais paraugs un papīra gaišākās daļas.



1.6.attēls. Trīs fāze noteiktas no histogrammu starpības filtriem SZS20 un IKS1 attēlam iegūtam ar SZS20.

1.2. Luminiscences mērījumi

Parauga ierosināšana ar ultravioleto gaismu veicina starojumu redzamajā spektra rajonā. Ierosināšanai tika izmantot Philips BLB ultravioletas lampas ar starojuma maksimumu pie 390 nm. Lai nomērīt šādus paraugus nepieciešams ilgstošs ekspozīcijas laiks, kas parasti sasniedz līdz pat 30 sekundēm. Attēlā 1.7. ir parādīta kafijas un tējas paraugu luminiscences RGB attēlojums un raksturīgākie spektri. Pēc spektrālām pazīmēm ir viegli veikt objektu identifikāciju vai klasifikāciju.



1.7.attēls. (A) Kafijas un tējas paraugu luminiscence ierosināta ar 390 nm starojumu. (B) Raksturīgākie paraugu spektri.

Veicot šos mērījumus infrasarkanajā spektrā tika noskaidrots, ka luminiscences spektrs izpaužas stipri vīrs 720 nm robežas. Attēlā 1.8. ir doti šīs pašas ainas iegūtie attēli ar NIR filtriem. Pie szs20 filtra izvēlēta ekspozīcija ir 2 s, iks1 – 15 s un iks6 – 35 s. Pēc iegūto attēlu intensitātes ir redzams, ka pēc 900 nm (iks6) luminiscence intensitāte ir stipri mazāka, par nomērīto pie pārējiem filtriem.



1.8.attēls. NIR attēli kafijas un tējas paraugiem. No kreisās uz labo : szs20, iks1, iks6.

1.3. Secinājumi par 5. aktivitātē veicamiem darbiem

Tiek sameklēti filtru parametri un kameras ekspozīcijas NIR mērījumiem. Veiktajiem mērījumi pielāgoti algoritmi, kas atļauj noteikt raksturīgas spektrālās pazīmes. Luminiscences mērījumi NIR diapazona var sniegt papildus informāciju par meklējamām vielām .

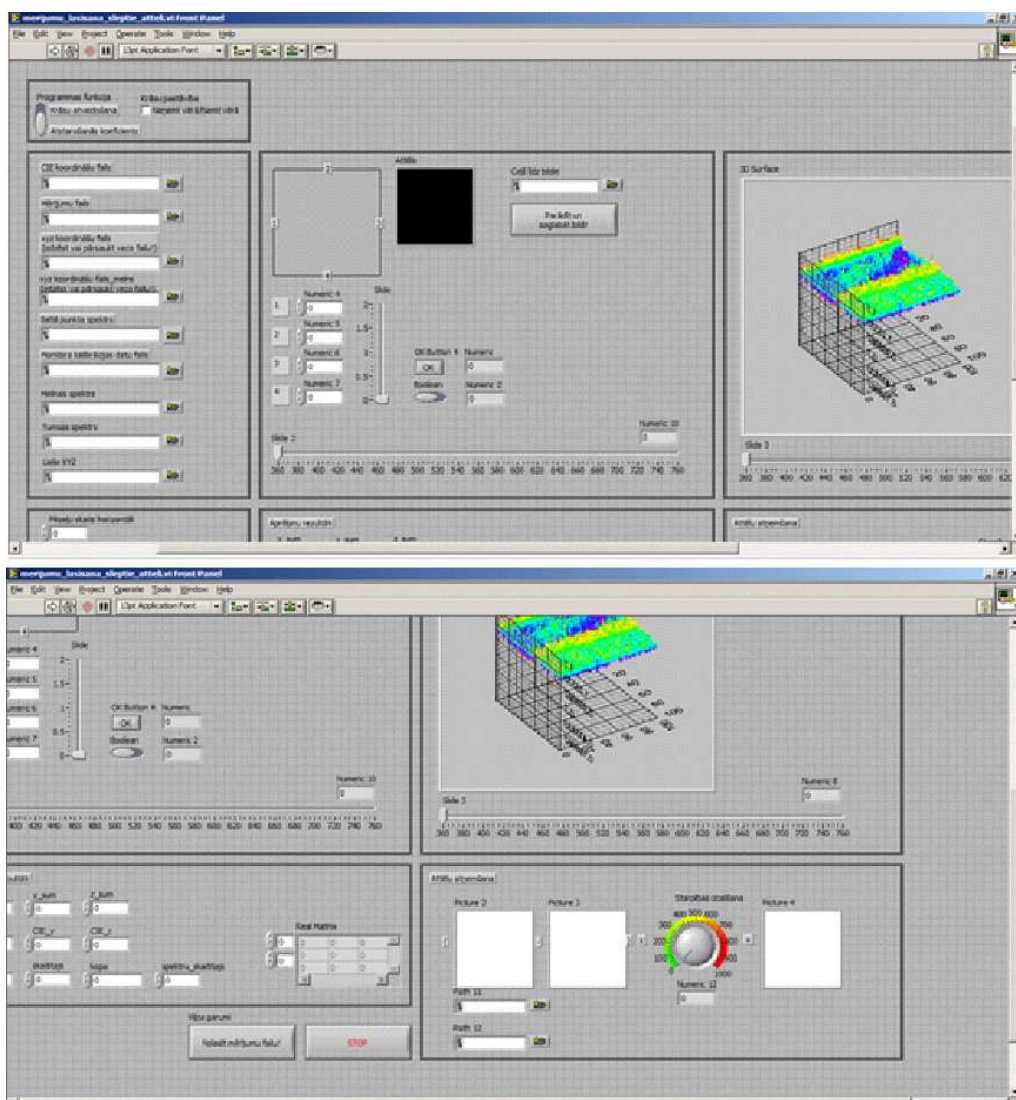
2. Darbības 7. aktivitātē

Rūpnieciskais pētījums

Krāsu laboratorijas tehniskā uzdevuma izstrāde.

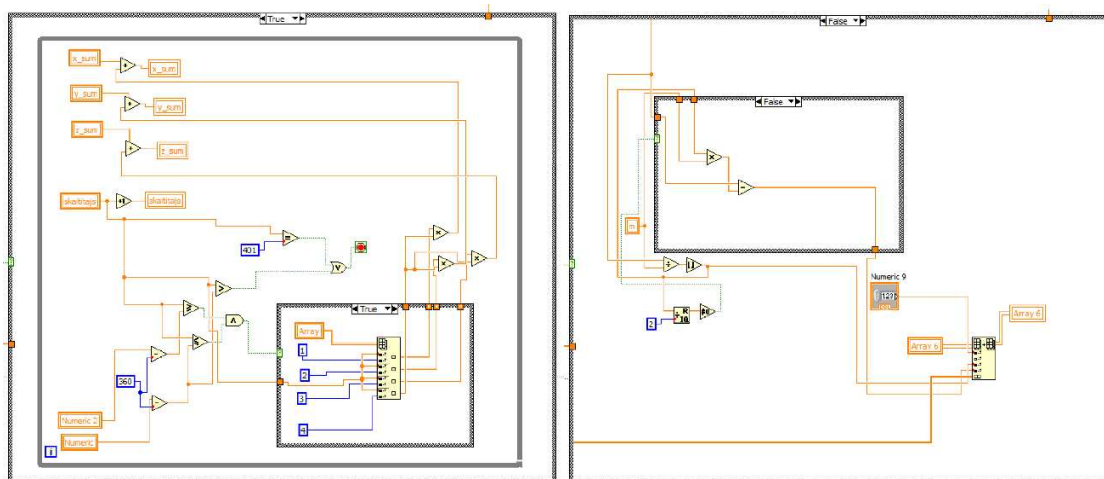
2.1. LabVIEW programma attēlu nolasišanai un matemātiskai apstrādei

Ir izveidota LabVIEW programma slēpto attēlu identificēšanai, pamatojoties uz luminiscences radīto gaismas intensitātes pieaugumu. Programmā veikti arī citi uzlabojumi – nodrošināta iespēja izvēlēties viļņa garumu diapazonu, kurā krāsas jāatveido, iespējams norādīt, vai krāsu pastāvība ir vai nav jāņem vērā, kā arī ir iespējams iegūt atstarošanās koeficienta karti visam parauga laukumam. Plata gaismas avota gadījumā luminiscences signālu nav iespējams viegli detektēt maza intensitātes kontrasta dēļ. Lai slēptos attēlus varētu detektēt, izmantojot šādu gaismas avotu, programmā iekļauta iespēja veikt matemātiskas darbības ar attēliem, kas iegūti, stimulu apgaismojot ar dažādiem gaismas avotiem. Programmas logs redzams 2.1. attēlā.



2.1. attēls. LabVIEW programmas priekšēja paneļa fragments.

Fragments no LabVIEW programmas koda redzams 2.2. attēlā. 2.2. attēlā redzams kod fragments, kas atkarībā no slēdža stāvokļa nosaka to, vai programma iegūst parauga attēlu, vai arī atstarošanās koeficienta karti.



2.2. attēls. Programmas kods attēla vai atstarošanās koeficienta kartes iegūšanai

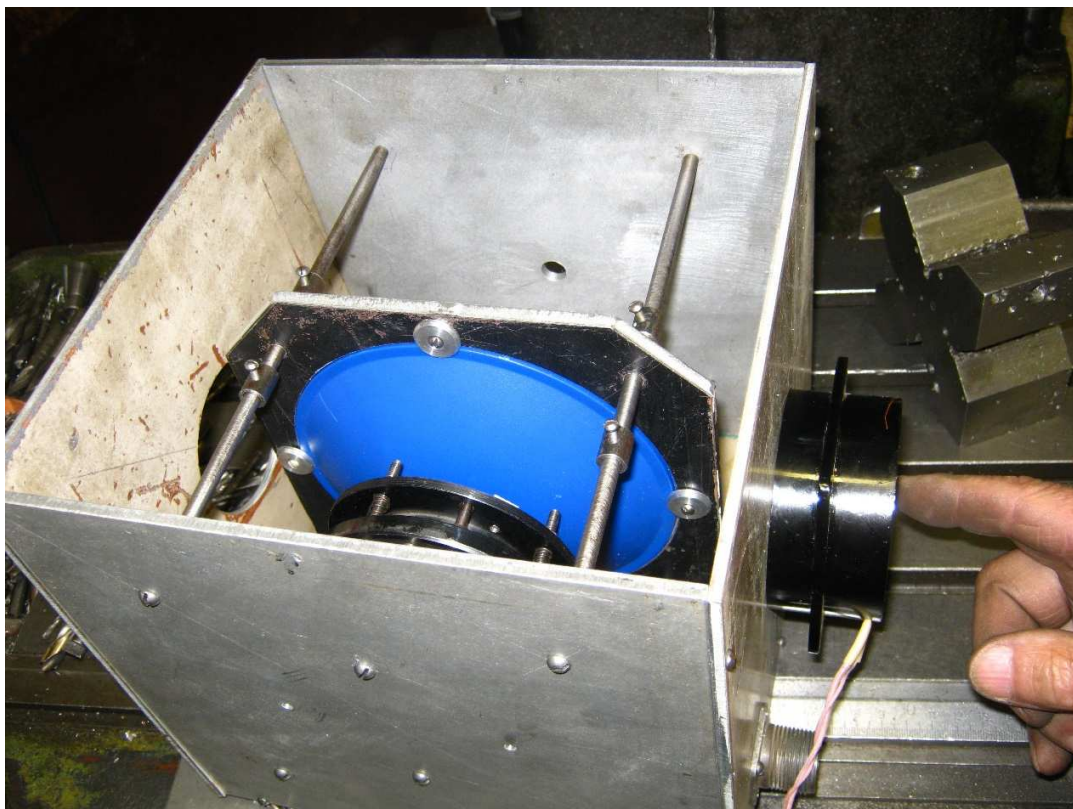
2.2. Īsā loka ksenona lampa

Projekta aktivitāšu izpildei tiek izmantota īsā loka ksenona lampa (turpmāk vienkārši ksenona lampa). Ksenona lampas parametri ir šādi: spriegums $U = 20$ [V], strāva $I = 7,5$ [A] un jauda $P = 150$ [W]. Augstā starojuma intensitāte redzamā spektra zilajā un tuvajā ultravioletajā daļā nodrošina augstu krāsu atveidošanas precizitāti.

Tā kā ksenona lampas spektrs ir intensīvs visā redzamajā spektrā, tad atstarošanās koeficients spektra galos tiek novērtēts daudz precīzāk nekā halogēna lampas gadījumā. Ksenona lampas krāsu atveidošanas indekss $CRI_{Xe} \approx 96$ ir ļoti tuvs D65 spektram ($CRI_{D65} = 100$), kas nozīmē, ka tā ir ļoti piemērota krāsu atveidošanai.

Šobrīd spektrālajiem mērījumiem arī izraudzīts baltais standarts – kalcinētā soda, kas ir ievērojami labāks nekā fotoluminiscējošs papīrs. Kalcinētai sodai fotoluminiscence nepastāv, un līdz ar to atstarošanās koeficients tiek novērtēts precīzi.

2.3. attēlā redzams īsā loka ksenona lampas korpuss, kurā lampa ievietota. Korpusā iemontēti arī papildus optiskie elementi. Lampa ir piestiprināta optomehāniskai detaļai, kuru izmantojot, iespējams mainīt lampas leņķi tā, lai stari tiktu fokusēti uz gaismu uztverošo optiskās šķiedras galu. Starus uz šķiedras galu safokusē spogulis. Spogulis ir bīdāms tā, lai būtu iespējams mainīt staru fokusēšanas pakāpi. Šķiedra savāc visus starus, kas atrodas iekšpusē konusam, kura virsotnes leņķis ir aptuveni 22° .

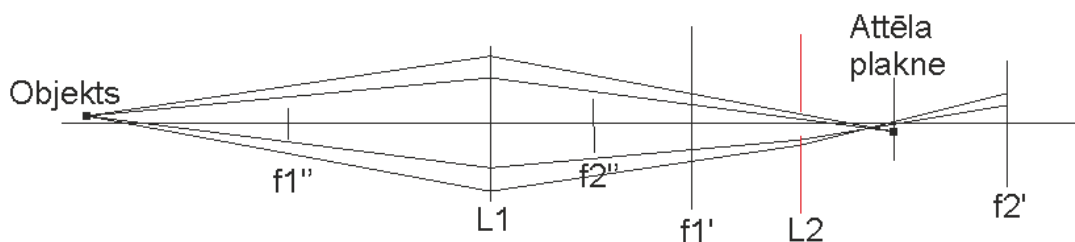


2.3. attēls. Ksenona lampas korpuss. Ksenona lampu aizsedz spogulis. Gaismu tiek savākta uz šķiedras galu, kas iestiprināts aizmugurē redzamajā caurumā.

Tā kā lampas jauda ir ievērojama, lampas korpuss ievērojami sakarst. Šī iemesla dēļ lampas darbības laikā tās korpuss ir jādzesē. Dzesēšanu nodrošina ventilators, kas piemontēts korpusa sāniem un dzen ārpusē esošo gaisu cauri lampas korpusam. Ventilators pievienots tīkla spriegumam un nodrošina gaisa plūsmu $2700 \text{ m}^3/\text{h}$.

2.3. Apgaismes un nolasīšanas kanāla konfigurācijas pielāgošana spektra ieguves vajadzībām

Lai esošo optiskās šķiedras apgaismes un nolasīšanas kanālu, kam ir 6-around-1 konfigurāciju, pielāgotu spektru ieguves vajadzībām, tika izveidota divu lēcu sistēma. Šajā divu lēcu sistēmā ir ļoti ievērojami samazināta atstarotās gaismas ietekme uz iegūtajiem spektrālajiem datiem. Optiskā shēma redzama 2.4. attēlā.



2.4. attēls. Optiskā sistēma šķiedras 6-around-1 izmantošanai spektru ieguvē. Shēma sīkāk aprakstīta tekstā.

Šāda optiskā sistēma savāc no šķiedras malām nākošo gaismu plaknē, kurā atrodas pētāmais objekts un kurā veidojas šķiedras gala attēls, tajā pašā laikā nodrošinot iespēju safokusēt no parauga atstaroto gaismu uz šķiedras galu. Gaismu attēla plaknē sakoncentrē lēcas L1 un L2 (abām lēcām fokusa attālums 13 mm), turpretim no pētāmā objekta atstaroto gaismu uz šķiedras galu safokusē lēca L1. Daļa gaismas tiek zaudēta, stariem ejot cauri urbumam (pārtraukums sarkanajā līnijā) virzienā uz paraugu un veidojot asu attēlu. Shēmā nav parādīts 45° leņķī noliekts spogulis stara virziena mainīšanai par 90°.

Šāda veida optiskai sistēmai ir priekšrocība salīdzinājumā ar sistēmu, kurā tiek izmantots plats apgaismojums, kas pētāmo paraugu apgaismo no sāniem. Apgaismojot paraugu no sāniem, mikroskopa objektīvā iekļūst sānu gaisma, radot nevēlamu papildus fonu, kas samazina iegūtā attēla kontrastu. Optiskā sistēma laiž cauri starojumu, kura viļņa garuma apakšējā robeža ir aptuveni 300 [nm]. Šāds viļņu garums spēj radīt ZnO luminiscenci.

2.4. Krāsu atveidošana, ievērojot un neievērojot krāsu pastāvību

2.5. attēlā redzams, kā cilvēka redzes sistēma spēj izslēgt no redzes uztveres gaismas avota spektru. Kā gaismas avots izmantots halogēna lampa, kuras starojuma maksimums ir aptuveni viļņu garumā $\lambda = 600$ [nm].



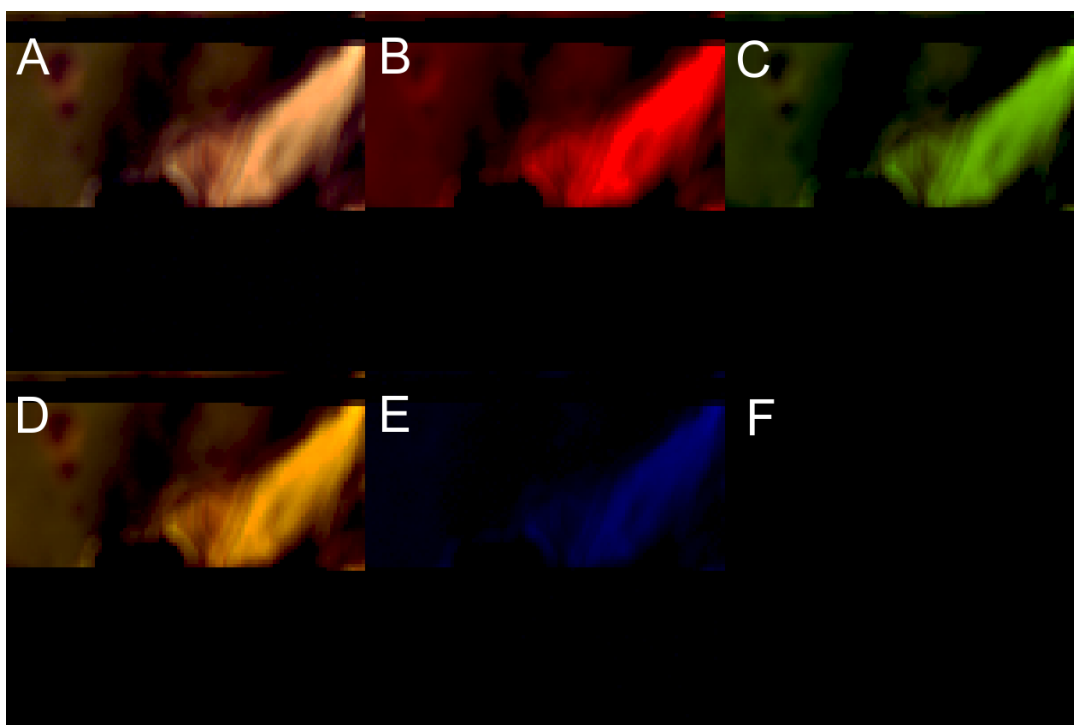
2.5. attēls. *Auga lapas attēls atkarībā no tā, vai krāsu pastāvības efekts tiek ņemts vērā (pa kreisi) vai arī netiek ņemts vērā (pa labi).*

Redzams, ka gadījumā, ja krāsu pastāvība tiek ņemta vērā, t.i., tiek analizēts atstarošanās spektrs, tad auga lapa tiek atveidota dabiskās krāsās. Ja krāsu pastāvība netiek ņemta vērā, t.i., tiek ņemts vērā atstarotās gaismas spektrs, tad attēls tiek attēlots dzeltenīgās krāsās. Gadījumā, kad krāsu pastāvība netiek ņemta vērā, melnais fons ir gaišs spektrometra fona signāla dēļ. Līdzīgā veidā, izmantojot zilganu gaismas avotu, tiktu iegūts attēls zilganās krāsās.

Iegūstot šādu attēlu pārus dažādā spektrālā diapazonā un izmantojot dažādu apgaismes avota intensitāti, iespējams pētīt krāsu pastāvības robežas. Iegūtos datus iespējams attēlot CIE krāsu pakavā un noteikt, vai iegūtie dati iekļaujas Mak Adama (MacAdam) elipšu robežās. Mak Adama elipses CIE krāsu diagrammā ir apgabali, kuru robežās krāsu atšķirības nav pamanāmas.

2.5. Krāsu atveidošana izvēlētā viļņu garuma diapazonā

2.6. attēlā redzams viens un tas pats objekts (auga lapa), kas atveidots dažādos viļņu garuma diapazonos. 2.6. attēlā auga lapa attēlota šādos viļņu garuma diapazonos: A – no 360 [nm] līdz 760 [nm], B – no 570 [nm] līdz 700 [nm], C – no 500 [nm] līdz 600 [nm], D – no 500 [nm] līdz 700 [nm], E – no 400 [nm] līdz 500 [nm] un F – no 360 [nm] līdz 400 [nm]. Šāda pētāmā objekta attēlošana dažādās krāsu joslās sniedz iespēju izcelt noteiktas detaļas attēlā.



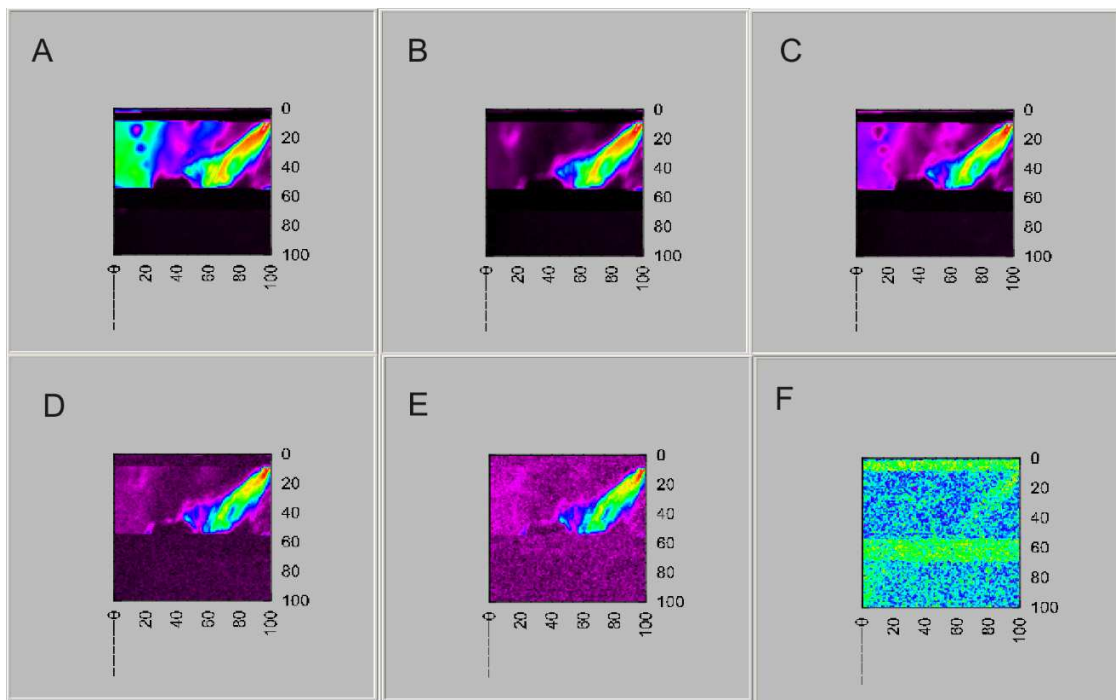
2.6. attēls. Auga lapas attēlojums dažādu viļņu garumu diapazonā. A – no 360 [nm] līdz 760 [nm], B – no 570 [nm] līdz 700 [nm], C – no 500 [nm] līdz 600 [nm], D – no 500 [nm] līdz 700 [nm], E – no 400 [nm] līdz 500 [nm] un F – no 360 [nm] līdz 400 [nm].

Iespēja objektu attēlot dažādās krāsu joslās sniedz iespēju analizēt pētāmajos paraugos dažādas vielas, no kurām katra luminiscē atšķirīgā viļņu garumā.

2.6. Atstarošanās koeficienta karte

2.7. attēlā redzama auga lapas atstarošanās koeficienta karte dažādos viļņa garumos. Atstarošanās koeficienta karte iegūta šādos viļņa garumos: A – $\lambda = 760$ [nm], B – $\lambda = 650$ [nm],

C – $\lambda = 550$ [nm], D – $\lambda = 450$ [nm], E – $\lambda = 420$ [nm], F – $\lambda = 375$ [nm]. Šobrīd LabVIEW programmas konfigurācija ir tāda, ka atstarošanās koeficienta karti iespējams iegūt tikai redzamajā spektra diapazonā. LabVIEW programmas kodu iespējams izmainīt tā, lai būtu iespējams iegūt atstarošanās koeficienta karti arī spektra infrasarkanajā daļā un novērot infrasarkano luminiscenci. Pagaidām ierīce piemērota parastās luminiscences pētījumiem (ierosme UV diapazonā, izstarošana redzamajā diapazonā), kā arī apvērstās luminiscences pētījumiem (ierosme infrasarkanajā diapazonā, izstarošana redzamajā diapazonā).



2.7. attēls. Atstarošanās koeficienta karte auga lapai. A – $\lambda = 760$ [nm], B – $\lambda = 650$ [nm], C – $\lambda = 550$ [nm], D – $\lambda = 450$ [nm], E – $\lambda = 420$ [nm], F – $\lambda = 375$ [nm].

2.7. Slēpto attēlu veidošana, izmantojot cinka oksīdu (ZnO)

Projekta aktivitāšu ietvaros ir izveidoti paraugi slēpto attēlu meklēšanai. Slēptie objekti tika veidoti, izmantojot divus baltas krāsas pulverus. Slēpto attēlu meklēšanas pamatā tiek izmantota viena baltā pulvera luminiscence. Slēptos attēlus iespējams meklēt divos veidos:

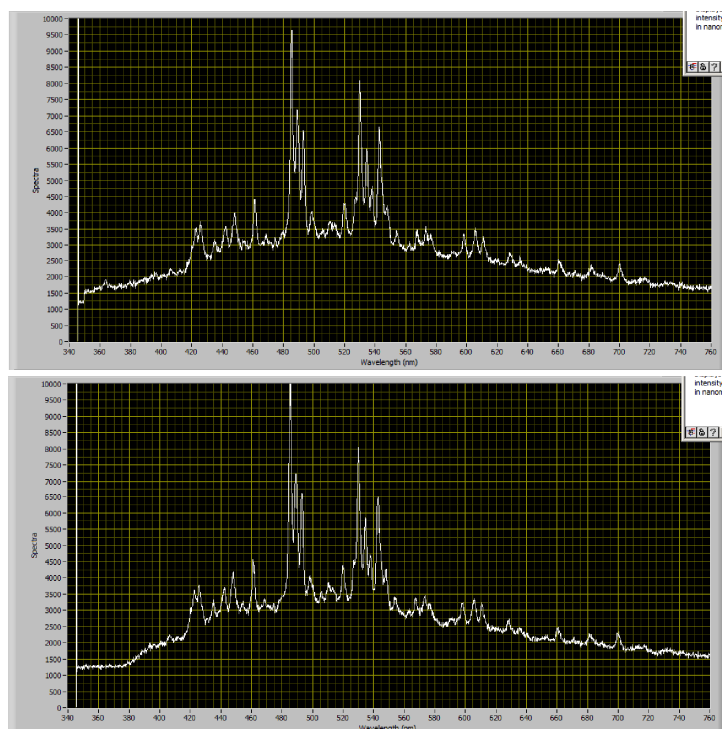
- izmantojot novirzes atstarošanās koeficienta kartē;
- izmantojot luminiscences spektru redzamajā diapazonā, bet apgaismojot UV diapazonā.

2.8. attēlā redzams kalcinētajā sodā ierakstīts teksts 'CFI'. Uz burtu fona uzkaisīts cinka oksīds.



2.8. attēls. *Slēptais objekts, kas tiek detektēts, pamatojoties uz cinka oksīda (ZnO) luminiscenci. Apkārt objektam uzklāta kalcinētā soda, kas neluminiscē.*

2.9. attēlā redzams gaismas spektrs pēc PX-2 izstarotās gaismas atstarošanas no kalcinētās sodas (augšā) un cinka oksīda (apakšā). Redzams, ka cinka oksīda spektrā īsā viļņu garuma diapazonā vērojams kritums, salīdzinot ar kalcinētās sodas spektru. Intensitāte šajos viļņa garumos tiek izmantota, lai ierosinātu ZnO luminiscenci zaļajā spektra daļā. Atstarotās gaismas dēļ luminiscences signālu ir grūti pamanīt.



2.9. attēls. *Kalcinētās sodas (augšā) un cinka oksīda (apakšā) spektrs. Redzams, ka ierosmes viļņa garumu rajonā cinka oksīda spektrā vērojams kritums.*