

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**DAŽĀDU FORMU UN IZMĒRU OBJEKTU
PIELIETOJUMS STIKLVEIDA ĶERMEŅA
APDUĻĶOJUMU SIMULĀCIJAI UN DETEKTĒŠANAI**

BAKALaura DARBS

Autors: **Adele Antoņuka**

Studenta apliecības Nr.: aa15085

Darba vadītājs: Dr.fiz. Varis Karitāns

RĪGA 2018

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 32 lapām. Tas satur 22 attēlu, 4 tabulas, un 29 atsauces uz literatūras avotiem.

Atslēgas vardi: stiklveida ķermeņa apduļķojumi, entoptiskie fenomeni, stiklveida ķermenis, difrakcija

Darba mērķis: Noskaidrot labākos objektus stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai un detektēšanai.

Metode: Stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai izmantotas fotolitoģrāfijas metodes, savukārt, to detektēšanai izmantots Kanija malu detektors.

Rezultāti un analīze: Aptuveni 50 % no struktūrām, kuru izmērs ir 5-25 mikroni tika detektēti. Gaismas intensitātes sadalījums liecina par veiksmīgu difrakcijas ainas iegūšanu.

Secinājumi: Struktūras kuru izmērs ir no dažiem mikroniem līdz dažiem desmitiem mikronu ir vislabāk pielietojamas stiklveida ķermeņa apduļķojuma simulācijai un detektēšanai.

ABSTRACT

Bachelor thesis is written in Latvian on 32 pages. It contains 22 images, 4 tables, 29 references to literature sources.

Key words: eye floaters, entoptic phenomena, vitreous body, diffraction

Purpose: To find the best objects for eye floater simulation and detection

Methods: Eye floaters simulation was made by photolithography, for detection was used Canny edge detection algorithm.

Results: About 50 % of structures of size 5-25 mikron were detected. Light intensity distribution shows successfully achieved diffraction pattern.

Conclusion: Structures which size is a few mikron are the most suitable for eye floaters simulation and detection.

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	3
1.1. Entopiskie fenomeni	3
1.2. Stiklveida ķermeņa apduļķojums.....	3
1.2.1. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma daba un izcelsmes.....	3
1.2.2. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma iedalījums	5
1.2.3. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma izplatība	6
1.2.4. Stiklveida ķermeņa apduļķojums kā simptoms.....	7
1.3. Stiklveida ķermeņa apduļķojumu ārstēšana.....	9
1.4. Difrakcija un difrakcijas ainas	11
2. PĒTIJUMA DAĻA.....	15
2.1. Darba shēmas	15
2.1.1. Attēla uzņemšanas shēma	15
2.1.2. Struktūru veidošana fotorezistā.....	16
2.2. Metodika	16
2.2.1. Acs modelis.....	16
2.2.2. Pozitīvā fotorezistā veidotas struktūras.....	17
2.2.3. ‘Canny’ malas detektēšanas metode	17
2.3. Eksperimenta gaita.....	18
2.3.1. Apduļķojumu simulācijas reālā optiskā sistēmā	18
2.4. Rezultāti un analīze.....	20
2.4.1. Apduļķojumu detektēšana Internetā pieejamos simulētos attēlos.....	20
2.4.2. Apduļķojumu simulācijas reālā optiskā sistēmā	20
2.4.3. Simulācijas ar struktūrām, kuru izmērs ir līdzīgs reālām apduļķojuma daļiņām	22
2.4.4. Struktūru intensitātes salīdzinājumā ar fona intensitāti	27
SECINĀJUMI	28
NOBEIGUMS	29
PATEICĪBA	30
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	31

IEVADS

Stiklveida ķermeņa apduļķojums ir entopisks fenomens, kurš ir sastopams gandrīz 80 % cilvēkiem. Apduļķojumu konstatē ne tikai cilvēkiem gados ar acs patoloģijām, bet arī veseliem jauniešiem līdz 50 gadu vecumam (*Webb et all.*, 2013).

Apduļķojumu daļa divās grupās pēc tā izcelsmes. Primārais stiklveida ķermeņa apduļķojums veidojās no stiklveida ķermeņa struktūrām, pārsvarā no kolagēna. Par sekundāro stiklveida ķermeņa apduļķojumu tiek uzskatītas apduļķojuma daļiņas, kuras veidojās no svešām struktūrām. Biežāk ar abiem no veidiem sastopas cilvēki pēc 50 gadu vecuma, bet ir pierādīts ka jaunieši arī nereti sajūt stiklveida ķermeņa apduļķojuma “peldošās” daļiņas (*Milston et all.*, 2016).

Stiklveida ķermeņa apduļķojums var traucēt pilnvērtīgi veikt ikdienas nodarbības, tādas kā lasīšana vai autovadīšana. Šajos gadījumos ir savrīgi pieverst uzmanību apduļķojuma daļiņu skaitam un izmēram, jo stiklveida ķermeņa apduļķojumu uzskat par vienu no simptomiem tīklenes un stiklveida ķermeņa patoloģiskajām izmaiņām (*Diamond*, 1992, *Delaney et all.*, 2002, *Cipoletta et all.*, 2012).

Uz doto brīdi ir zināmas divas plaši izmantojamās metodes ar kurām var daļēji vai pilnīgi var ārstēt stiklveida ķermeņa apduļķojumu. Tās ir vitreolīzi un vitrektomiju. Neskatoties uz to ka šīs abas metodes dod augstus pozitīvus rezultātus (līdz 93 % no pacientiem ir apmierināti ar iegūto rezultātu), šīs metodes nevar uzskatīt par pilnīgi drošām. Galvenais un vissvarīgākais iemesls ir blakusparādības. Tās ir dažādas – sākot no kataraktas un beidzot ar stiklveida ķermeņa atslāņošanas. Katarakta ir sastopama 50% no cilvēkiem kuri gāja caur vitrektomiju. Vairāki cilvēki nenovēro nekādu izmaiņu stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņu skaitā, bet bīstamas blakusparādības vienalga sāk attīstīties. Tas nozīmē, ka stiklveida ķermeņa apduļķojumu ir joprojām jāpēta, lai turpmāk izvārtos no bīstamiem blakusefektiem (*Delaney et all.*, 2002).

Hipotēze: Optimālais stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai paredzēto objektu izmērs ir salīdzināms ar vitrozīna šķiedru detaļu izmēriem.

Darba mērķis: Noskaidrot labākos objektus stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai un detektēšanai.

Darba uzdevumi:

1. Pārbaudīt MATLAB malu detektoru izmantojamību stiklveida ķermeņa apduļķojumu detektēšanai datorā simulētos apduļķojumu attēlos.
2. Simulēt un detektēt apduļķojumus, izmantojot polidimetilsiloksānā (PDMS) veidotas struktūras.

3. Izveidot fotorezistā dažāda izmēra un formas objektus, lai novērotu to detektējamību atkarībā no šo objekta ģeometrijas.
4. Pilnveidot mikrofluidikas sistēmu stiklveida ķermeņa apduļķošanas simulācijai acs modelī.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Entopiskie fenomeni

Attēli, kurus veido pašas acs struktūras, sauc par entopiskiem fenomeniem. Tos var veidot tādas sistēmas kā radzene, stiklveida ķermenis, tīklene, lēca un citas, kā arī attēls var veidoties no spiediena, kas ietekmē uz acs ābolu. Šo fenomenu var stimulēt skata virziens, konkrēts apgaismojums un noteikts objekta fons. Pie stimulējošiem faktoriem ir vērts pieminēt ātrās acs kustības un akomodācijas pārslodzi (Tyler, 1978).

Entopiskos fenomenus ir jāsaprot atsevišķi no tādiem jēdzieniem kā halucinācijas un citiem fenomeniem, kuri ir saistīti ar fotofobiju, jo tie nav izraisīti ar konkrētu acs struktūru un pārsvarā parādās pēkšņi. Pie entopiskiem fenomēniem pieder tādas parādības kā fosfēni, kuri var būt izraisīti ar konvergenci vai augstu acs spiedienu, seku attēli un ēnas kuras rodās no acs struktūrām, tādām kā asinsvadi. Bet kopīgs šiem fenomeniem ir tas, ka kontrolēt tos ir grūti un vairāki nav pilnībā izpētīti (Tyler, 1978).

1.2. Stiklveida ķermeņa apduļķojums

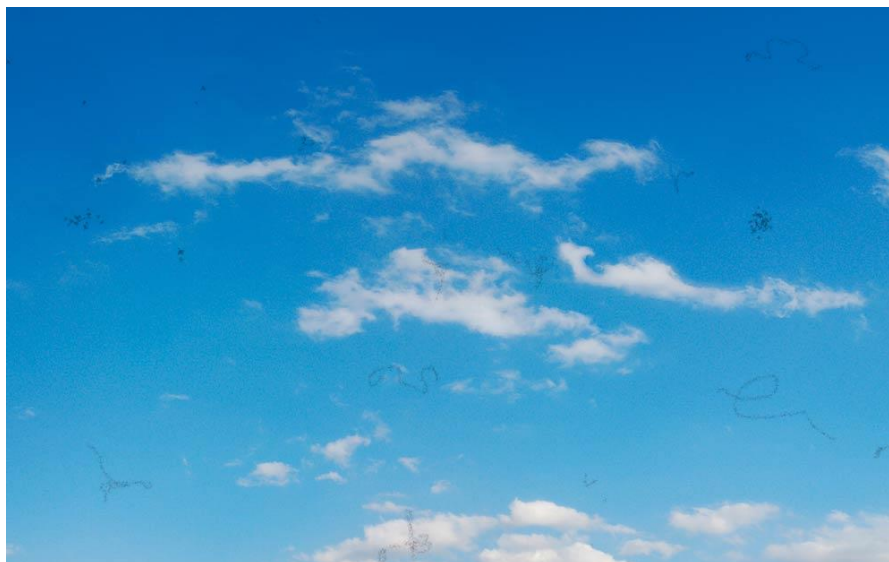
1.2.1. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma daba un izcelsmes

Stiklveida ķermenis ir caurspīdīgā gēlveida masa, kura aizpilda telpu starp lēcu un tīkleni. Normālā stāvoklī stiklveida ķermenis ir pilnīgi caurspīdīgs, laiž cauri 90 % no redzamas gaismas. Galveno kārt tas sastāv no ūdens. Tā sastāvā ietilpst dažādu veida kolagēni; 75 % no visu kolagēniem aizņem II tipa kolagēns, kurš sastāv no trīm vienādām alfa ķēdēm. Sastāvā ietilpst arī vairāki strukturālie proteīni. Svarīgs komponents stiklveida ķermenī ir vitrozīns, kā arī hialuronskābe, kura dod stiklveida ķermenim lielāku viskozitāti. Kopā fibrillas, kolagēns un hialuronskābe veido mīksto stiklveida ķermeņa skeletu. Stiklveida ķermenī ir arī šūnas, kuras lielajos apjomos atrodas stiklveida ķermeņa mugurējā daļā un blakus ciliārajam ķermenim. Bet gadījumos, kad tajā rodas mazas, puscaurspīdīgas daļiņas, to sauc par stiklveida ķermeņa apduļķojumu (skat. att. 1.1) (Lee et al., 1992, Reva et al., 2011).



1.1. attēls. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņas.¹

Stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņas pārsvarā izskatās kā dažādas formas plankumi. Tie variējas no gandrīz caurspīdīgiem līdz ēnas veida daļiņām. Izmērā tās ir ļoti dažādas, sākot no pavisam maziem punktiņiem līdz zirnekļu tīkla veida objektiem. Apduļķojums ir vairāk sajūtams skatoties uz gaiša vietoņa fona (piemēram tukša papīra lapa vai tīras debesis bez mākoņiem). Pārvietojoties skata zonā apduļķojuma daļiņas rod ēnas uz tīklenes. Šīs ēnas ir raksturojamas, kā difrakcijas ainas. No cilvēka skata punkta tas izskatās kā plankumi, kuri pārvietojās skata zonā (skat. att. 1.2) (*Sendrowski et al.*, 2010).



1.2. attēls. Kā cilvēks ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu redz debesis.²

Stiklveida ķermeņi ir grūti pētīt, jo tā ir caurspīdīga masa. Izmeklēšanā izmanto

¹ <http://askhealthmd.com/eye-floaters-and-flashes/>

² <https://www.rd.com/health/conditions/eye-floaters/>

biomikroskopu, lai apskatītu centrālās un mugurējās struktūras, kā arī apgriezto un tiešo oftalmoskopu. B-scan ultrasonogrāfijai tiek izmantota, lai pētītu izmaiņas gēlveida struktūrās. 80 % cilvēkiem vecākiem par 60 gadiem ar ultrasonogrāfiju tika konstatēti "atbalsi" gēlveida struktūrās. Tomēr ne visi "atbalsi" liecina par stiklveida ķermeņa apduļķojumu (*Milston et al.*, 2016).

Stiklveida ķermeņa apduļķojums parādās no epipaliārās izcelsmes gliju audiem, kuri piemīt pie mugurējās hialuronās membrānas, kā arī no šķiedrveida struktūrām stiklveida ķermenī. Pēdējos uzskata par stiklveida ķermeņa sašķīdināšanu un kolagēna šķiedru uzkrāšanu vienā vietā iemeslu. Apduļķojuma izcelsme var būt svešķermeņu ienešana hemorāģiskā veidā (kā, piemēram, diabētiskās retinopātijas gadījumā) vai acs iekaisuma gadījumā, pie tā pieder uveīts, kurš ir bezsāpīgs, bet ir viens no izplatītākiem stiklveida ķermeņa apduļķojuma cēloņiem jauniešiem (*Laibovitz*, 1984).

Apduļķojums pārsvarā nesamazina redzes asumu, jo to daļiņu izmērs nav liels un daļiņas nav novietotas tuvu redzes asij. Tomēr apduļķojuma daļiņu skaitam ir jāpievērš uzmanību. Iemesls tam ir tāds, ka apduļķojuma daļiņas dzīves laikā nepazūd un tā skaitam ir tendence pieaugt. Plašāk ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu parādās cilvēki pēc 50 gadu vecuma, bet jaunieši ar to arī bieži sastopas, tāpēc ir vērts apskatīt ne tikai kā vispārēji veidojās stiklveida ķermeņa apduļķojums, bet arī kādas ir atšķirības starp daļiņu izcelsmi jaunākajā un vecākajā acīs. Daļiņas parādās kad homogēna gēla stāvoklis mainās, jeb gēls kondensējās atsevišķos gabaliņos. Pie vienam no stiklveida ķermeņa apduļķojuma attīstīšanas cēloņiem cilvēkiem līdz 50 gadiem piešķir aksiālo miopiju, kura izraisa stiklveida ķermeņa sašķīdināšanu. Vairāk sašķīdināts stiklveida ķermenis tika novērots miopiem ar stiprumu virs -6 D. Jaunākiem cilvēkiem ir pārsvarā lineārās formas apduļķojumi, savukārt vecākiem cilvēkiem apduļķojuma daļiņas var būt dažādās formās (zirnekļu tīkla forma, punktu utt.) (*Sendrowski et al.*, 2010).

1.2.2. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma iedalījums

Stiklveida ķermeņa apduļķojumu iedala divās grupās: primārie un sekundārie. Apduļķojumu var uzskatīt par primāro, kad apduļķojuma daļiņas sastāv no struktūrām, kuras ir daļas no stiklveida ķermeņa, piemēram kolagēna fibrillas. Šis apduļķojuma veids ir bieži sastopams jaunājiem cilvēkiem ar augstas miopijas pakāpi, bet vairāk ar to sastopās cilvēki gados. (*Milstone et al.*, 2016)

Joprojām nav zināms kāpēc apduļķojuma daļiņas var būt dažādās formās. Cilvēks primāro apduļķojumu redz dažādi, piemēram kā puscaurspīdīgas līnijas vai kā pelēcīgu zirnekļu tīklu. Apduļķojums ir saskatāms, kad struktūra krīt uz redzes asi. Šo struktūru skaitu palielināšana var liecināt par tādām slimībām kā stiklveida ķermeņa atslāņošana. Bet cilvēki bieži pierod pie

stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņu pārvietošanu skata zonā un nesajūt būtisku neērtību ikdienās. (*Milstone et all.*, 2016)

Sekundārais stiklveida apduļķojums atšķiras no pirmā ar to, ka ir veidots no struktūrām, kuru nav stiklveida ķermeņa sastāvā, piemērām no proteīniem, amiloīdiem vai šūnām. To saista ar stiklveida ķermeņa asiņošanu un tas izspraužas kā pēkšņas apduļķojuma daļiņu parādīšanās skatu zonā un miglainu redzi. (*Milstone et all.*, 2016)

Šī veida stiklveida ķermeņa apduļķojums var būt simptoms tādām slimībām kā akūta stiklveida ķermeņa atslāņošana, tīklenes bojājums un citu iekšējo acs struktūru bojājums. Sekundārais stiklveida ķermeņa apduļķojums ir bieži sastopams pēc vitreo-retinālām operācijām, pēc kurām var palikt silikona eļļas burbuļi stiklveida ķermenī (*Milstone et all.*, 2016).

1.2.3. Stiklveida ķermeņa apduļķojuma izplatība

76 % cilvēkiem, neatkarīgi no vecuma, ir stiklveida ķermeņa apduļķojums. Plašāk tas bija novērots sievietēm, bet no refrakcijas viedokļa – miopiem. Salīdzinot ar emetropiem, miopiem stiklveida ķermeņa apduļķojums ir sastopams 3.5 reizes vairāk, hipermetropiem – 4.4 reizes vairāk. Biežāk par stiklveida ķermeņa apduļķojumu sūdzas jaunie miopi, cilvēki pēc dažādām acs operācijām (jo viņu prasības pret redzes kvalitāti tiek paaugstināti), un cilvēki, kuru darbs ir saistīts ar smalku rokas darbu veikšanu (*Webb et all.*, 2013).

Iepriekš aprakstītā pētījuma piedalījās tikai cilvēki, kuri aktīvi izmanto mobīlās ierīces. Tomēr šo pētījumu var uzskatīt par aktuālu, jo nedaudz cilvēku mūsdienas neizmanto elektroniskās ierīces, tādas kā datori un mobilie telefoni. Vienīgais trūkums šim pētījumam ir mazs dalībnieku skaits vecumā virs 50 gadi. Tas nedod plašāku informāciju par stiklveida ķermeņa apduļķojuma izplatību dotajā vecuma grupā (*Webb et all.*, 2013).

Aptaujājot cilvēkus, bija secināts, ka 45 % procentiem no dalībniekiem stiklveida ķermeņa apduļķojums traucē lasīšanas laikā un tikai nedaudz mazāk procentiem dalībniekiem visu laiku. Vairāk par pusi no dalībniekiem bija miopi, kas tikai apstiprina iepriekš pieminētus datus. 1.1. tabulā ir apkopots šī pētījuma rezultāti (*Delaney et all.*, 2002).

1.1. tabula

Pacientu demogrāfiskā grupa un stiklveida ķermeņa apduļķojuma pazīmes (Delaney, Y.M., Oyinloye, A., Benjamin, L., 2002).

Pacientu skaits	Simptomu izpausme	Darbība, kurā laikā visvairāk izpaužas stiklveida ķermeņa apduļķojums	Stiklveida ķermeņa apduļķojuma izvietojums	Lēca
31	Akuta 18 (58.1)	Lasīšana 14 (45.1)	Binokulāri 11 (35.4)	Bioloģiska 23 (74.1)
	Mērena 12 (38.7)	Mašīnas vadīšana 5 (16.1)	Monokulāri 20 (64.5)	Introokulārā 8 (25.8)
	Vāja 1 (3.2)	Visi minētie 12 (39)		

Ir arī tādi cilvēki kuri, ļoti rūpīgi attiecās pret savas redzes kvalitāti un ļoti satraucās par pašiem maziem redzes pazemināšanas pazīmēm. 46.2 % no tādiem cilvēkiem pamanot sev “peldošas” daļiņas vērsās pie vairākiem redzes specialistiem un 24,2 % no viņiem pārliecināti ka stiklveida ķermeņa apduļķojuma stāvoklis palicis sliktāks. Šajos gadījumos ir ļoti grūti saprast vai cilvēkiem tiešām traucē apduļķojuma pazīmes, vai problēma ir psiholoģiskā rakstura (Tseng, 2015).

Ir mazi zināms par to cik stiklveida ķermeņa apduļķojums (īpaši tajos gadījumos, kad daļiņas pastāvīgi atrodās redzes laukumā) samazina dzīves kvalitāti, jo standarta redzes asuma testi paliek cilvēka normas diapazonā. Tomēr, vairākiem cilvēkiem stiklveida ķermeņa apduļķojums ievērojami pazemina dzīves kvalitāti, un viņi ir ar mieru piekrist procedūrām, lai iznīcinātu apduļķojuma daļiņas, zinot ka ir 7 % akluma varbūtība (Wagle et all., 2011).

Problēmas izplatības dēļ, apduļķojuma daļiņu skaita palielināšana ir jāuztver ka brīdinājumu, jo tā ir zīme, ka stiklveida ķermeņa struktūrām ir lielāki traucējumi. Ar stiklveida ķermeņa apduļķojuma pazīmēm Amerikā pie redzes specialistiem vērsās ampēram 14 cilvēku katru mēnesi. Tas var parādīties ne tikai acī ar kādu no pataloģijām, bet arī veselā acī. 65 % no cilvēkiem, kuri sūdzējās par konstantām “peldošām” daļiņām, bija sievietes, kas liecina par to ka sievietēm tas ir sastopams biežāk. Kopumā 76 % no pacientiem saskata vienu vai dažas daļiņas, pārējie 24 % saskata vairākās apduļķojuma daļiņas (Murakami et all., 1983).

1.2.4. Stiklveida ķermeņa apduļķojums kā simptoms

Par vienu no svarīgākajam pataloģijām, kura var sekot stiklveida ķermeņa apduļķošanai uzskata tīklenes bojājumu, to atrada 16.5 % pacientiem. (Diamond, 1992) Tomēr visizplatītākās slimības ar kurām seko stiklveida ķermeņa apduļķojums ir stiklveida ķermeņa atslāņošana (Alwitry et all., 2002). Bet vairākos no gadījumiem apduļķojuma daļiņas neasociē ar acs

pataloģijām. Bieži “peldošas” daļiņas var būt deģeneratīvo izmaiņu stiklveida ķermenī sekundārais simptoms. Sašķidrināts stiklveida ķermenis zaudē atbalstu un atvienojās no acs mugurējās daļas, kas rezultāta ved pie stiklveida ķermeņa atslāņošanas. Joprojām nav tiešu datu par to cik daudz stiklveida ķermeņa apduļķojums ietekmē uz kopējo acs stāvokli, jo vairāki cilvēki bez acs pataloģijām sajūt redzes zonā apduļķojuma daļiņas. Cilvēki tos raksturo kā parejošo traucējumu, kurš nerod sāpes sajūtu. Kā arī atzīmē to ka peldošās apduļķojuma daļiņas netraucē, ja nepievērst tiem uzmanību (*Cipoletta et all., 2012*).

Pēc dažam diagnostikas veidiem var liecināt ka stiklveida ķermeņa apduļķojums ir simptoms vairākām slimībām sākot no migrēnas un beidzot ar stiklveida ķermeņa atslāņošanas vai tīklenes plīsums. Tīklenes plīsums parādās ar vecuma sastatām izmaiņām stiklveida ķermenī un miopijas pakāpi. (*Alwitry et all., 2002*)

Apduļķojuma daļiņu izcelsmi saista arī ar midriāzi (zilītes paplašinājums). 24,6 % no pacientiem kuriem ir tikai stiklveida ķermeņa apduļķojums optometrieti konstatēja pastāvīgo zilītes paplašinājumu. et kopumā šīs rādītājs ir lielāks, jo pacienti sūdzās par stiklveida ķermeņa apduļķojumu kopumā ar gaismas zībšņiem. Tabulā 1.2. ir parādīts cik daudz optometristu konstatē midriāzi pacientiem ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu un/vai gaismas zībšņiem (*Alwitry et all., 2002*).

Stiklveida ķermeņa apduļķošanu nereti pieskaita pie stiklveida ķermeņa atslāņošanas simptoma, bet daudziem pacientiem ar stiklveida ķermeņa atslāņošanas nav apduļķojuma un otrādi – vairākiem pacientiem ar apduļķojumu nav stiklveida ķermeņa atslāņošanas. Bet tomēr izmeklējot stiklveida ķermeņa atslāņošanu bija konstatēts ka 33.5 % no pacientiem bija stiklveida ķermeņa apduļķojums (*Kakehashi et all., 1998*).

1.2. tabula

Optometristu skaits, kuri konstatēja midriāzi pacientiem ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu un gaismas zībšņiem (*Alwitry et all., 2002*).

<i>Simptomi</i>	<i>Ikdienas izplatība</i>	<i>Optometristu skaits (n = 69)</i>
Tikai gaismas zībšņi	Nekad	0
	<50 % no gadījumiem	12
	>50 % no gadījumiem	21
	Vienmēr	36
Tikai stiklveida ķermeņa apduļķojums	Nekad	4
	<50 % no gadījumiem	27
	>50 % no gadījumiem	21
	Vienmēr	17

Zibšņi un apduļķojums	Nekad	0
	<50 % no gadījumiem	8
	>50 % no gadījumiem	14
	Vienmēr	47

Vairāki stiklveida ķermeņa apduļķojuma pētījumi tiek veikti, jo apduļķojums tiek uzskatīts par stiklveida ķermeņa atslāņošanas simptomu. Savukārts stiklveida ķermeņa atslāņošana ir galvenais tīklenes atslāņošanas attīstības iemesls. Pētījumi par apduļķojumu sakarību ar tīklenes atslāņošanu tiek veikti, jo 40% pacientiem ar tīklenes atslāņošanu ir konstatēts stiklveida ķermeņa apduļķojums (*Hikichi & Trempe, 1994*).

Pētot stiklveida ķermeņa apduļķojuma sakarību ar stiklveida ķermeņa atslāņošanu tika iegūti rezultāti, kuri parāda, ka cilvēki vecāki par 50 gadiem ir vairāk pakļauti stiklveida ķermeņa atslāņošanai. Nav svarīgi vai acs ir simptomātiska vai nē, jo abos gadījumos tika konstatēta atslāņošana. Jaunākiem cilvēkiem bez acs patoloģijām tas konstatēts nebija. Sīkaki dati par šo pētījumu ir parādīti tabulā 1.3. (*Murakami et al., 1983*).

1.3 tabula.

Stiklveida ķermeņa apduļķojuma pārsvara salīdzināšana simptomātiskai acij un asimptomātiskajai acij. (*Murakami et al., 1983*).

	Simptomātiskā acs				Bezsimptomātiskā acs			
	ir stiklveida ķermeņa atslāņošana		nav stiklveida ķermeņa atslāņošanas		ir stiklveida ķermeņa atslāņošana		nav stiklveida ķermeņa atslāņošanas	
Vecums (gadi)	(N = 123)	%	(N = 25)	%	(N = 32)	%	(N = 82)	%
Līdz 50*	3	14	19	86	0	0	15	100
50+**	120***	95	6	5	32	32	67	68

* 3 pacientiem simptomi izpaudās binokulāri ; ** 9 pacientiem simptoms izpaudījās binokulāri ; ***

Iekļauta acs ar daļējo stiklveida ķermeņa atslāņošanu

1.3. Stiklveida ķermeņa apduļķojumu ārstēšana

Pārsvārā stiklveida ķermeņa apduļķojums nerad redzes diskomfortu, tomēr pastāv gadījumi, kad apduļķojuma daļiņas būtiski pazemina redzes kvalitāti. Šajos gadījumos ir iespējams vērsties pie ārstēšanas. Uz doto brīdi ir divas efektīvas metodes: vitreolīze un vitrektomija.

Viena no iespējām ir Nd:YAG ($Y_3Al_5O_{12}$) lāzera vitreolīze. Vairākās oftalmiskās klīnikās šo metodi izmanto, tomēr ne visi oftalmologi piedāvātu šo procedūru, jo iespējas ir limitētas un ne visos gadījumos lāzers būs efektīvs; ir jāņem vērā kur apduļķojuma daļiņas ir novietotas, kādā izmērā viņas ir un cik daudz procedūru kopumā vajadzēs, jo nedrīkst atnest risku ievainot blakus esošās struktūras. (*Delaney et al., 2002*)

Vitreolizes operācijas laikā ar lāzeru tiek likvidētas apduļķojuma daļiņas, ja pacientam ir viena liela daļiņa, tā to vispirms sašķel mazākas daļās. Šīs procedūras galvenais mērķis ja tiek detektēti vairāki puscaurspīdīgi objekti ir atrast un iznīcināt vietu piekuras daļiņas ir pievienotas, lai turpmāk puscaurspīdīgas daļiņas varētu mainīt savu pozīciju tālāk no stiklveida ķermeņa priekšējās puses. Procedūra tiek veikta vairākas reize ar intervālu 2 mēneši (*Delaney et all.*, 2002).

Lāzera vitreolīze nebija plaši pētīta un pašlaik ir grūti precīzi atbildēt uz jautājumiem par to kādus blakusefektus tas parāda. Rezultātu nav daudz lai droši varētu izmantot šo metodi plašāk. Tie nedauzi pētījumi kuri tika veikti deva sekojošus rezultātus (*Sendrowski et all.*, 2010):

Uz dotot brīdi neviena no veiktām ar Nd:YAG lāzera operācijām nebija 100% veiksmīgas. Procedūra ar šo lāzeri nav kaitīga, bet palīdz tikai vienai trešdaļai no kopējā pacienta skaita. Cik veiksmīgi būs veikta procedūra ir atkarīgs no tā cik daudz atsevišķu daļiņu cilvēks patstāvīgi redz. 43,5 % no procedurām ar vienu peldošo apduļķojuma daļiņu bija veiksmīgas, bet ar vairāku apduļķojuma daļiņu skaitu veiksmīgas bija 31.2 %. Apkopojot atsauces pēc procedūrām tika uzzināts ka 61.4 % no pacientiem nepamanīja būtisku uzlabojumu savā redzes kvalitātē. 7.7 % pacientu apgalvoja ka apduļķojums kļuva vel izsteiktāks. Pie pozitīvajiem rezultātiem var piešķirt to, ka blakusefekti netika konstatēti (*Delaney et all.*, 2002).

Viens no plašāk veiktām operācijām pret stiklveida ķermeņa apduļķojumu ir primārā vitrektomija. Tā dod lielāku pozitīvo rezultātu simptomātisko stiklveida ķermeņa apduļķošanas likvidēšanā. Neskatoties uz to ka vitrektomija deva 93.3 % simptomu iznīcināšanu, liels šīs procedūras ir tas ka samērā daudzos gadījumos parādās nevēlamie post operācijas efekti, tādi ka katarakta, tīklenes atslāņošana, asiņošana un endoptalmīts. Tā 16,4 % no pacientiem pēc operācijas tika konstatēti tīklenes savainojumi, 50 % - 73 % no pacientiem diagnosticēja kataraktu. Katarakta sāk attīstīties pēc diviem gadiem kopš operācijas pacientiem vecākiem par 50 gadiem. Veica arī intraokulārā spiediena mērījumus un tie arī bija augstāki par normu. Šīs blakusparādības ir bīstamākas vairākos gadījumos nekā stiklveida ķermeņa apduļķojums (*Tan et all.*, 2011)

2011. gadā tika veikts pētījums, kur tika pārbaudīts vitrektomijas drošība pacientiem ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu. Tika apskatīti 116 medicīniskie rezultāti starp 2006. gada Janvāri un 2010. gada Jūnijam. Pacientu vecums bija no 26. gadiem līdz 57. gadiem. 86 acis bija diagnosticētas ar primāro stiklveida ķermeņa apduļķojumu un 30 ar sekundāro (vecuma diapazons abām grupām bija līdzīgs). Rezultāti bija iegūti tādi: stiklveida ķermeņa atslāņošana

pēc operācijas parādījās 30.2 % no acīm ar primāro aduļķojumu un 13.3 % ar sekundāro. 16.4 % no visiem 116 gadījumiem bija diagnosticēts tīklenes bojājums un 50 % gadījumos ar dabīgo lēcu bija konstatēta katarakta, kā arī tas ka 9 gadījumos katarakta iepriekši bija ārstēta un pēc vitrektomijas parādījās vēlreiz (*Tan et all.*, 2011) .

Pašlaik neviena no piedāvātām ārstēšanas metodēm nedod pilnīgi pozitīvu rezultātu bez bīstamu blakusparādību. To var saistīt ar to ka netika veikti pietiekami daudz kliniskio pārbaudījumu, kuri dotu plašāku skatu uz stiklveida ķermeņa apduļķojuma ārstēšanu. Bez pietiekamas informācijas nevar liecināt cik efektīvi var ārstēt stiklveida ķermeņa apduļķojumu un cik tas veiksmīgi var veikt bez blakusefektiem kuri ir vairāk kairinoši nekā apduļķojuma daļiņas (*Delaney et all.*, 2002, *Sendrowski et all.*, 2010, *Milston et all.*, 2016).

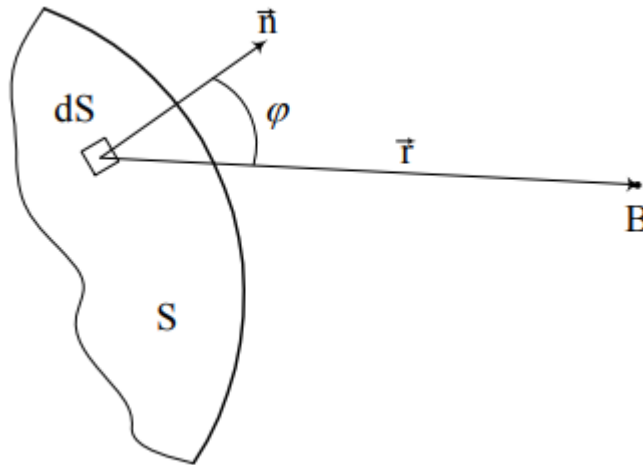
1.4. Difrakcija un difrakcijas ainas

Stiklveida ķermeņa apduļķojuma daļiņas rod ēnas uz tīklenes. Tas tiek uzskatīts par tuva lauka difrakcijas ainām jeb Frenela difrakciju. Ar difrakciju saprot gaismas atkāpi no taisnas izplatīšanas. Tajā skaitā gaismas apliekšana ap šķēršļiem. Viļņu teorijā difrakciju skaidro kā pārādību kopums, kuri traucē viļņa tiešai izplatīšanai. Vairākas difrakcijas parādības var skaidrots ar Heigensa-Frenela principa, kurš savukārt sastāv no diviem atsevišķiem likumiem – Heigensa un Frenela. (*Ahmanova & Nikitin*, 2004)

Vispirms Heigens izvirzīja tādu domu ka katru brīvu punktu uz viļņa frontes noteiktā brīdī jāuzskata par jaunu sekundāru viļņu avotu. Frenelis papildināja – sekundārie viļņa frontes ir koherenti, jo viņiem ir viens avots un pārklājoties viņi (sekundārie viļņi) interferē. Ņemot vērā sekundāro viļņu fāzes un amplitūdu var atrast rezultatīvo viļņu amplitūdu jebkurā punktā, izmantojot formulu:

$$d\vec{E} = C(\varphi) \frac{E_0 dS}{r} \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \alpha_0),$$

kur $(\omega t + \alpha_0)$ ir svarstības fāze, E_0 ir svarstības amplitūda, dS – viļņa laukuma elements kurš ir sekundārā viļņa avots, r – attālums no dS līdz gaismas avotam, k – viļņa skaits, $C(\varphi)$ – proporcionalitātes koeficients, kurš samazinās palielinots leņķim starp dS un vektoru n (skat. att. 1.3) (*Bugrova et all.*, 2002).



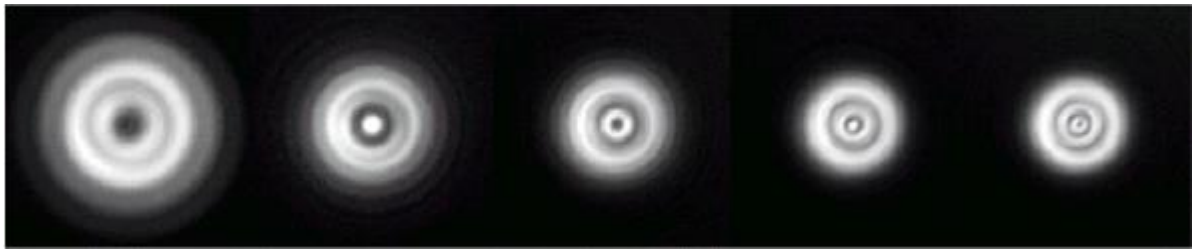
1.3. attēls. Shematisks attēls rezultatīvās viļņu amplitūdas formulai.³

Difrakcijas ainas ir labs piemērs kā darbojās Freneļa zonas. Katra Freneļa zona ir sekundāro viļņu avots un katrai no zonām ir noteikta fāze. Divas blakus zonas savstarpēji veido svārstības. Šīs zonas izmanto lai meklēt gaismas svārstības amplitūdu. Lai vieglāk atrast amplitūdu gaismas svārstībām jāsadala viļņa virsmu uz gredzenveida zonām, kuras sauc par Freneļa zonām. Tas tiek sadalīts uz Freneļa pusperioda zonām, tādā veida ka attālums starp blakus zonām līdz skata punkta atšķiras uz pusi no viļņa garuma ($\lambda/2$) (Bugrova et all, 2002, Hecht, 2002, Ahmanova & Nikitin, 2004).

Difrakcijas ainas var veidot punktveida objekti. Šiem objektiem izpildīsies maksimuma un minimuma nosacījumi kas veido difrakcijas ainu no baltiem un melniem gredzeniem. Tā var daļēji skaidrot gaismas intensitātes izplatīšanu. Minimums vai maksimums gaismas intensitātē ir atkarīgs no tā pāra vai nepāra zonu skaits var ietilpst spraugā. Maksimāla gaismas intensitāte ir spragai ar nepāru zonu skaitu, no kā seko ka minimālā gaismas intensitātē ir pāra zonu skaitam. (Bugrova et all, 2002)

Uz attēla 1.4 it attēlota difrakcijas aina no apaļas spraugas. Ainas atšķiras ar to kāda attāluma bija sprauga no ekrāna. Difrakcijas aina samazinās tuvojoties spraugas diametram un Freneļa atvērtas zonas palielinās no 2 līdz 6. Freneļa difrakcijas ainas ir iespējams novērot ne tikai no apaļas spraugas, bet arī no citu formu spraugām, kā piemēram kvadrāta (skat. att. 1.5). (Bugrova et all, 2002)

³ Бугрова А.И., Г. В. (2002). Физическая оптика. Москва: Московский государственный институт радиотехники.



1.4. attēls. Freneļa zonas no 2 līdz 6. ⁴

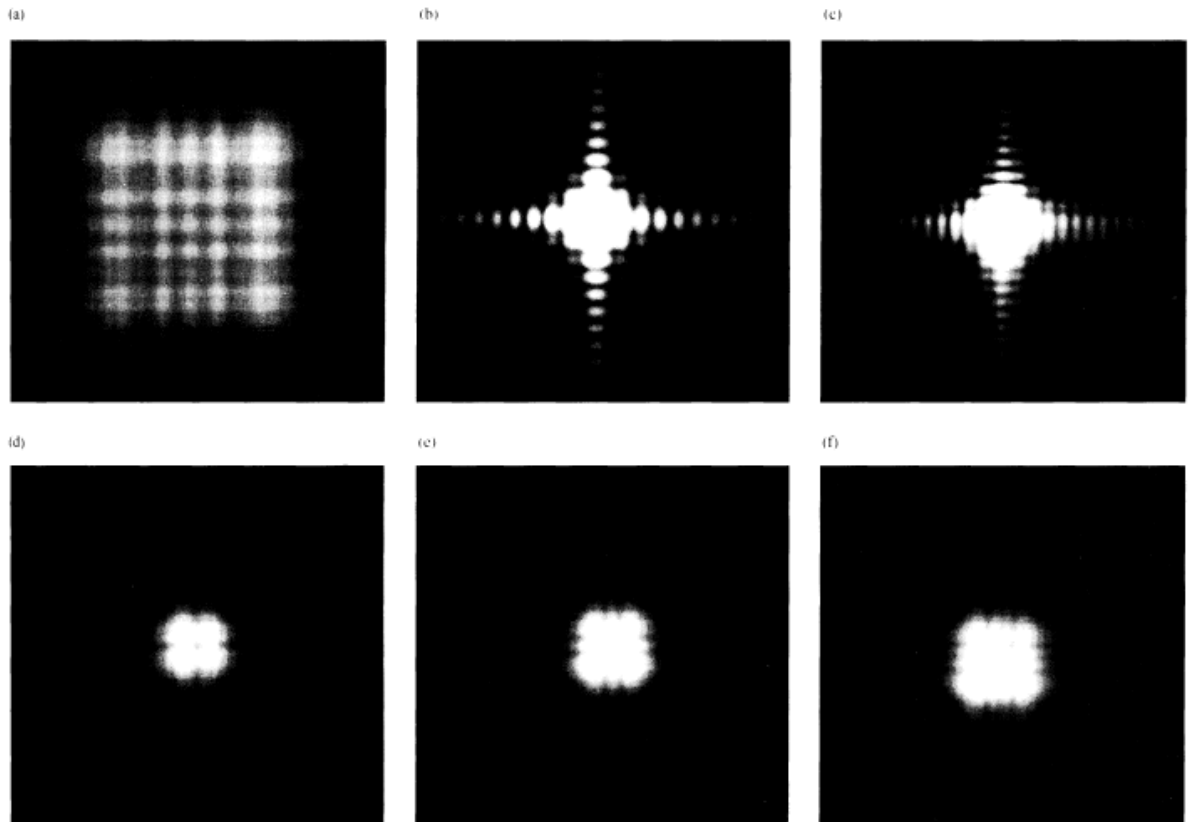
Izšķir arī Fraunhoferu difrakciju. Atšķirībā no Freneļa Fraunhofers apskatīja paralēlu staru difrakciju. Atšķirībā no sferiskiem viļņiem (kurus pētīja Frenels) Fraunhoferu difrakcija matemātisks pieraksts ir samēram vieglāks. Amplitūda, neatkarīgi no attāluma līdz novērojuma punkta, visos gadījumos Fraunhoferu difrakcijā ir konstanta un proporcionalitātes koeficients ($C(\phi)$) ir vienāds 1. Tātad rezultējošo amplitūdu var aprēķināt izmantojot šo formulu (*Bugrova et al*, 2002):

$$E = E_0 \int \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r + \alpha) ds .$$

kur $(\omega t + \alpha_0)$ ir svārstības fāze, E_0 ir svārstības amplitūda, r – attālums līdz gaismas avotam, λ – viļņa garums.

Neskatoties uz to ka Freneļa un Fraunhoferu difrakcijas būtiski viena no otras neatšķiras ir aplami piešķirt stiklveida ķermeņa apduļķojumu pie Fraunhoferu difrakcijas ainām, jo difrakcijas sistēma ir samēri maza un novērojuma punkts atrodas tālu. Savukārt Freneļa difrakcija ir novērojama ar tuvu novietotiem objektiem, mūsu gadījumā tās ir apduļķojuma daļiņas kuras ir novietotas tuvu tīklenei. (*Hecht*, 2002)

4 Бугрова А.И., Г. В. (2002). Физическая оптика. Москва: Московский государственный институт радиотехники.



1.5. attēls. Tipiskās Freneļa difrakcijas ainās izmantojot kvadrāta formu apertūru. ⁵

⁵ Hecht, E. (2002). Optics (Sēj. 4). San Francisko: Person Education.

2. PĒTIJUMA DAĻA

Mērķis: Noskaidrot labākos objektus stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai un detektēšanai

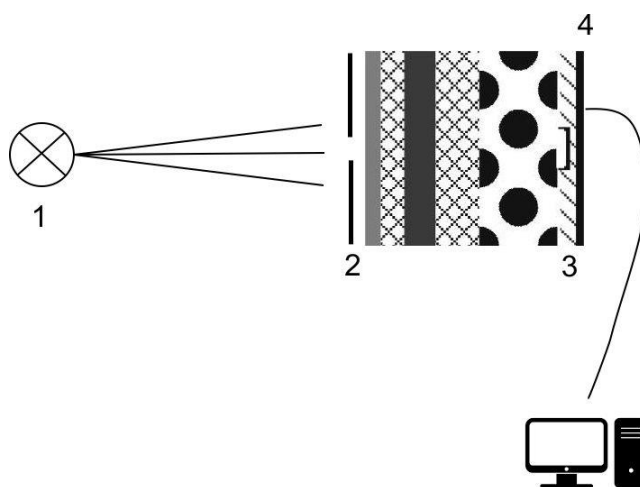
Uzdevumi:

1. Pārbaudīt MATLAB malu detektoru izmantojamību stiklveida ķermeņa apduļķojumu detektēšanai datorā simulētos apduļķojumu attēlos.
2. Simulēt un detektēt apduļķojumus, izmantojot polidimetilsiloksānā (PDMS) veidotas struktūras.
3. Izveidot fotorezistā dažāda izmēra un formas objektus, lai novērotu to detektējamību atkarībā no šo objekta ģeometrijas.
4. Pilnveidot mikrofluidikas sistēmu stiklveida ķermeņa apduļķošanas simulācijai acs modelī.

2.1. Darba shēmas

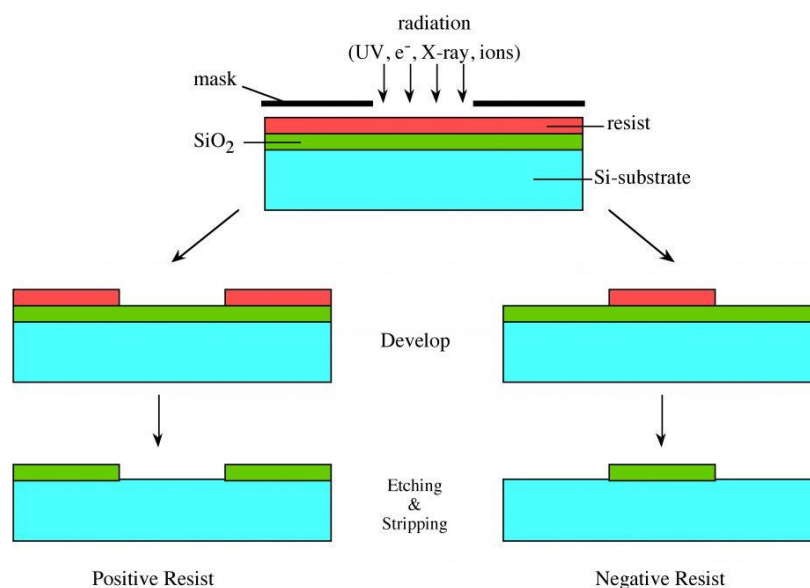
2.1.1. Attēla uzņemšanas shēma

Par gaismas avotu kalpoja ievietotājs telefonā lukturis vai dienas gaisma. Pirms acs modeļa, kurš sīkāk tiks aprakstīts nodaļā 2.2.1., 50 mm attāluma tika novietota diafragma. Diafragmas platums ir 5 mm. Acs modeļa pēdējais slānis ir tīklene un tieši pie tās tiek piestiprināts stikls ar struktūrām, kuras tiks detektētas. Attēls tiek uzņemts ar CDD kameru. Kamera ir novietota cieši pie tīklenes daļas. CDD kamera ir savienota ar datoru, kurā programma S-Eye tiek uzņemtas bildes. Kameras izšķirtspēja ir 2592 x 1944 pikseļi, viena pikseļa izmērs ir 2,2 mikroni.



2.1. attēls Attēla uzņemšanas shēma. 1. Gaismas avots 2. Diafragma (5 mm) 3. Stikls ar struktūrām 4. CCD kamera, kura ir pieslēgta pie datora

2.1.2. Struktūru veidošana fotorezistā



2.2. attēls Litogrāfijas principi

Fotorezists ir gaismas jutīgs polimēra materiāls, kuru iespējams strukturēt, izmantojot fotoķīmiskas metodes. Uz stikla plāksnes tiek uzklāts fotorezista slānis. Tas tiek karsēts vairākas reizes un izgaismots. Svarīgs dotajā etapā ir tas ka gaismošana tiek veikta ar UV stariem. Tāpēc šis litogrāfijas veids saucās par fotolitogrāfiju. Pēc attīstīšanas posma fotorezista slānī tiek izveidotas vēlamās struktūras.

2.2. Metodika

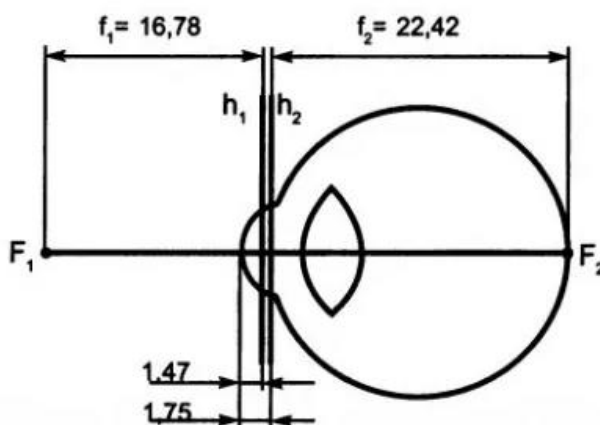
2.2.1. Acs modelis

Pētījumā stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai tika izmantots acs modelis. Acs modelis sastāv no radzenes, kas dotā modelī ir +45 D lēca, priekšējās kameras un daļas no stiklveida ķermeņa (gaiss), acs lēcas, kura ir manuāli pielāgojama, daļas no stiklveida ķermeņa (ūdens), kā arī sastāvā ietilpst PDMS slānis ar mikrofluīdikas kanālu. Tīklenes vietā ir novietota CCD kamera.

Acu lēcai, kura ir manuāli pielāgojama, kas ietver visu dzīvas acs optiskā stipruma diapazonu. Acs kopējais optiskais stiprums ir +54 D. Manuāli regulējamās lēcas optiskā stipruma diapazons pārklāj acs lēcas optiskā stipruma diapazonu.

Acs modeļa primārais fokālais attālums ir -18.6 mm, otrais fokālais attālums ir 27.5 mm. Modeļa primārā plakne ir atrodas 0.9 mm aiz radzenes, savukārt sekundārā plakne atrodas 3 mm pirms radzenes. Kopējais attālums starp divām plaknēm ir 9 mm. Salīdzinot ar Gulstrandā

acs modeli darbā izmantojamais acs modeļa fokālie attālumi ir lielāki. Primārais fokālais attālums Gulstranda acs modelī ir 16,78 mm, bet otrais fokālais attālums ir 22,42 mm. Savukārt primārā un sekundārā plakne izmantojamā acs modelī arī atrodas tālāk no radzenes. Gulstrada piedāvātā modelī primārā plakne atrodas 1,47 mm aiz radzenes, otrā sekundārā plakne – 1,75 mm pirms radzenes. (skat att. 2.3)



2.3. attēls Gulstranda acs modelis ⁶

2.2.2. Pozitīvā fotorezistā veidotas struktūras

Struktūras, kas tika izmantotas apduļķojumu simulācijai, tika veidotas pozitīvā fotorezistā AZ-40XT-11D. Process sākās ar to ka fotorezists tiek uzklāts uz stikla, izmantojot parauga rotēšanas metodi. Fotorezists uz stikla tiek uzvadīts dinamiski, paraugam rotējot ar ātrumu 800 apgriezieni/min. Pēc tam nepieciešama graduāla pirmkarsēšana no istabas temperatūras līdz 110°C temperatūrai. Pēc pirmkarsēšanas paraugs tiek atdzesēts līdz istabas temperatūrai un izgaismots UV gaismā. Pēc izgaismošanas obligāts posms fotorezista apstrādē ir pēckarsēšana. Pēckarsēšanas temperatūra ir 90°C, ilgums 1 minūte. Pēc parauga atdzesēšanas fotorezistā izgaismotās struktūras tiek attīstītas, izmantojot attīstītāju AZ MIF 726.

2.2.3. ‘Canny’ malas detektēšanas metode

Kanija malu detektēšanas metode ir viena no detektēšanas metodēm, kuru var izmantot MATLAB vidē. Šajā malu detektēšanas metodē ir sešu posmu algoritms. Pirmais posms pirms malu detektēšanai ir noņemt nevajadzīgos trokšņus uz bildes. Tas ir iespējams ar Gaussa filtru, kas ir viens no vienkāršākajiem izlīdzinošiem filtriem. Otrajā posmā tiek atrasts malu skaitliska nozīme, pēc tam seko trešais posm – noskaidrošana malu virzienu. To veic nomērot gradientu

⁶ <http://zreni.ru/print:page,1,1255-opticheskiy-apparat-glaza.html>

x un y virzienos. Ceturtais posms ir izsekot malu virzienu un saistīt to ar attēlu. Kad tas ir izdarīts seko piektais posms – nemaksimālās supresijas pielietošanā, kura atļauj atņemt to attēla daļu, kura neattiecas uz malu un neiezīmēt to. Pēdējā posmā mala tiek iezīmēta redzamāk un lieki atstarpes tiek likvidētas. (Maini & Aggarwa, 2009)

Malas detektēšanas algoritms ir iebūvēts MATLAB vidē, kurš ļauj mainīt tikai nelielu mainīgo skaitu, šajā gadījumā tikai vienu – *'fudgefactor'* jeb korekcijas faktors. Šī mainīgai ir skaitliska nozīme, kura parāda uz kādu skaitļu bija pareizināts lokālā vērtībā. Tas tiek darīts lai pietuvināt esošo rezultātu pie tā, kura mēs vēlamies. Korekcijas faktora vērtība šajā darbā variējas no 0.1 līdz 3.0. Optimālā mainīgās vērtībā tiek noteikta balstoties uz vizuālo rezultātu, kuru tā dod.

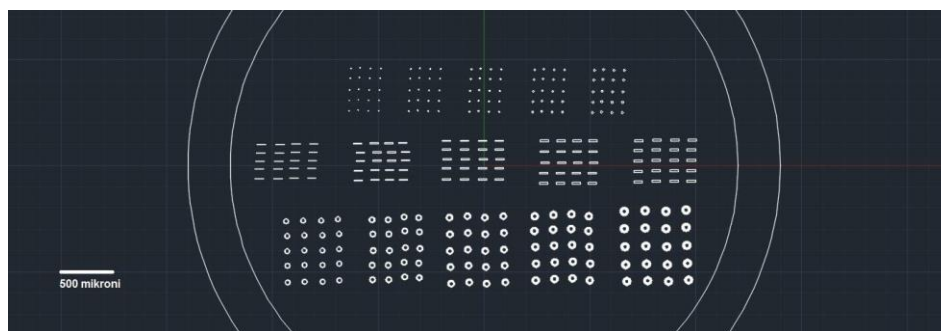
2.3. Eksperimenta gaita

2.3.1. Apduļķojumu simulācijas reālā optiskā sistēmā

PDMS daļiņas bija uzklātas uz stikla, kurš bija novietots acs modeļa aizmugurē. Bilde tika uzņemta telpas lampas apgaismojumā un par fonu kalpoja vienmērīgi krāsota gaiša siena. CCD kamera tika cieši piespiesta pie PDMS slāņa. Iegūta bilde bija apstrādāta ImageJ programmā līdz bilde kļuva melnbalta 8bit formātā. Detektējot korekcijas faktora vērtība tika mainīta līdz brīdim kad attēlā vēl ir detektējami lielāka daļa no struktūrām. Šī eksperimenta mērķis bija pārbaudīt, vai 'Canny' malu detektēšanas algoritms ir pielietojams reālā optiskā sistēmā simulēto apduļķojumu detektēšanai.

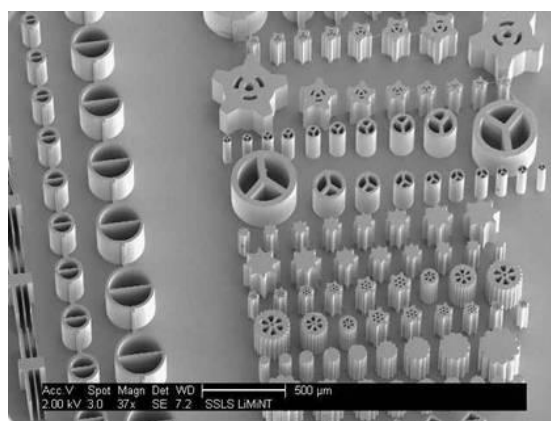
Nākamais posms bija veikts izmantojot stiklu ar PDMS slāni ar mikropulvera daļiņām. Mikropulveris tika iegūts sasmalcinot stikla mikrolodītes dzirnavās. Mikrolodīšu izmērs bija 1-2 mikrometri. Attēls tika iegūts un apstrādāts tādā pašā veidā, kā PDMS daļiņas. Bet atšķirība bija tā, kā par fonu kalpoja ainas, kuras ir redzamas pa logu un apgaismojuma avots bija dienas gaisma. Mikropulvera iemaisīšana bija pirmais mēģinājums radīt struktūras, kuras rod ainas līdzīgas reālajām apduļķojuma ainām.

Ar AutoCAD programmu tika uzģenerēti trīs formas figūras – apaļas, taisnstūra un gredzenveidīgās formas. Pēc izmēra tos var iedalīt piecās grupās atkarībā no diametra – 5 mikroni, 10 mikroni, 15 mikroni, 20 mikroni un 25 mikroni. Taisnstūrim tas bija īsākas malas izmērs, bet gredzenveidīgām struktūrām iekšējā un ārējā rādiusā starpība. Katrā izmēru grupā ir 20 katras formas objektu (skat. att. 2.4.). Izskatīsies viņas līdzīgi figūrām kas ir uz attēla 2.5.



2.4. attēls Ar AutoCAD uzģenerētās figūras.

Pēc šo struktūras izveidošanas AZ40-XT-11D fotorezista slānī ar litogrāfijas metodi tika uzklātas uz stikla. Apkārt struktūrām būs pārklāts PDMS slānis. Ir zināms ka struktūru vidējais laušanas koeficients ir 1.6, savukārt PDMS laušanas koeficients ir 1.4. Tas nozīmē ka parādīsies difrakcijas ainas, kuras tiek pārnestas uz kameras sensoriem izmantojot lēcu.



2.5. attēls Struktūras veidotas no SU-8 fotorezista⁷

Darba ietvaros tika izveidots mikrofluīdikas kanāls izmantojot PDMS. Šīm nolūkam bija izveidots fotorezista šablons. Uz šablona tika uzklāts PDMS slānis. Turpmāk uz stikla virsmas un PDMS slāņa ar ozonātoru tika veidotas -OH grupas. Pēc ozonēšanas abas virsmas tika cieši saspīestas kopā un karsētas. Tas bija izdarīts, lai abu virsmu -OH grupas savienotos izveidojot ciešu, nesaraujamu kontaktu. Ar līmi pie PDMS slāņa bija pielīmēts plastmasa savienotājs modificējot tās virsmu ar PDMS savienotāju poly[dimethylsiloxane-co-(3-aminopropyl) methylsiloxane]. Pēc tam tas ar šļirci savienoja gumijas caurule (*Wu & Lee, 2014*). Šī pētījuma daļā ir *Karitāna, 2016* pētījuma turpinājums un uzlabojums.

Tika apskatīts video ar stiklveida ķermeņa apduļķojuma simulāciju, kurš bija iegūts

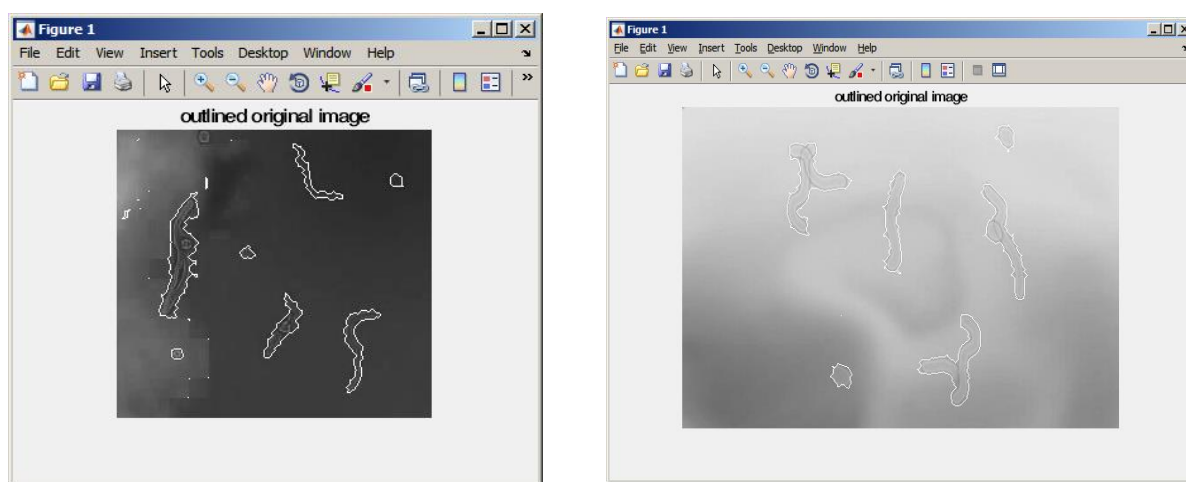
⁷ <http://ssls.nus.edu.sg/facility/limint.html>

iepriekš citā darba ietvaros (Karitāns, 2016). No tā bija ekstraktēti atsevišķi kadri. Svarīgi bija atlasīt kadru uz kura apduļķojuma daļiņas ir ar lielu kontrastu attiecīgi fonam. Ar algoritmu tika veikta malu detektēšana. Šī eksperimenta daļa dos iespēju aplūko kā stiklveida ķermeņa apduļķojums ir redzams no cilvēka perspektīvas, kā reālajā acī apduļķojuma daļiņas tiek saskatītas.

2.4. Rezultāti un analīze

2.4.1. Apduļķojumu detektēšana Internetā pieejamos simulētos attēlos

Izmantojot Kanija malu detektēšanas algoritmu uz attēliem, kuri bija atrasti tiešsaitē, bija iegūts vizuāli uzskatāms rezultāts. Abos attēlos tika detektētas lielāka daļa no attēlotajiem apduļķojuma daļiņām. Tumšā attēlā 7 no 8 struktūrām tika detektētas, savukārt gaišajā attēlā visām 6 struktūrām tika apvilktas malas. Tas liecina par to ka malu Kanija malu detektēšanas metode ir pielietojama stiklveida ķermeņa apduļķojuma detektēšanai, ja bildes ir asu apduļķojuma daļiņu malām (skat.a att. 2.6.).

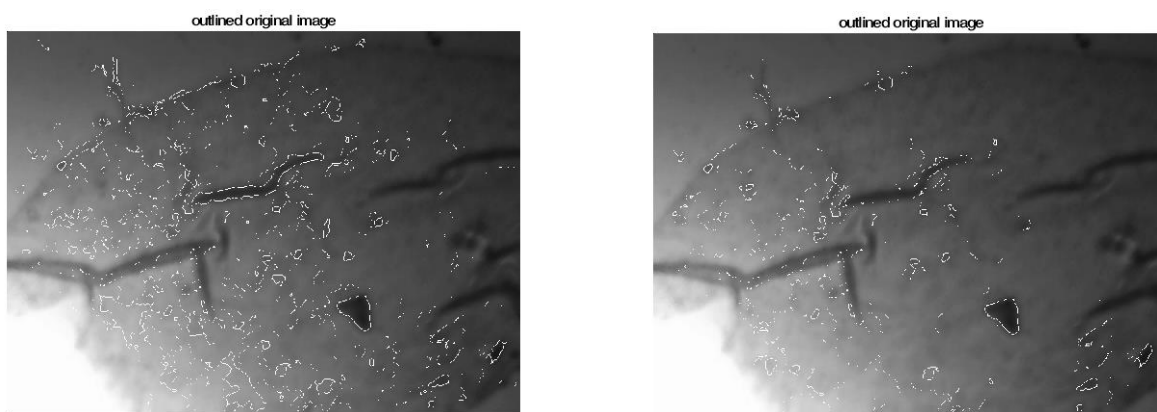


2.6. attēls Kanija malu detektēšanas metode pielietota uz tiešsaitē esošām bildēm.

2.4.2. Apduļķojumu simulācijas reālā optiskā sistēmā

Malu detektēšanas algoritma izmantošana laboratorijā iegūtās bildēs parādīja sekojošos rezultātus (skat. att. 2.7.). Ar PDMS daļiņām, kas uzklātas uz stikla, detektors spēja detektēt dažas no daļiņām, kaut vai malu asums daļiņām bija zems. Manuāli tika atrasta vismazākā struktūra ap kuru ir apvilktis nepārtraukts kontrurs. Tas platums tika pareizināts uz pikseļa izmēru (2.2 mikroni). Vismazākās detektētās daļiņas, ap kuru konturs ir slēgts, platums ir 11 mikroni. Šis izmērs ir līdzīgs vitrozīna šķiedru izmēram (to izmērs ir sākot no dažiem mikroniem līdz dažu desmiti mikronu). Tas liecina par to ka izveidotas daļiņas pēc izmēra ir

līdzīgas reālām struktūrām cilvēka acī.



2.7. attēls Apduļķojumu simulācija izmantojot PDMS daļas. Kanija malu detektēšanas metodes mainīgā fudgefactor vērtība 0.6 (pa kreisi), 0.8 (pa labi).

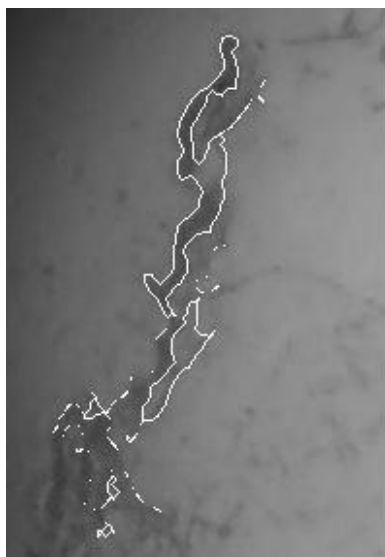
Iegūtā simulācija ar PDMS slāni ar stikla mikropulvera daļiņām dod mazāk uzskatāmu rezultātu (skat. att. 2.8.). To var saistīt ar to ka mikropulvera daļiņas ir tikai dažu mikrometru lielumā. Tieši tas nedod pilnā mērā detektēt daļiņas, kuras ir par mazu. Var likties, ka neviendabīgs fons var būt papildus apgrūtinājums, bet sakarā ar to ka kamera atrodas vienā vietā ar tīklieni acs modelī ir vairāk fokusēts uz tā kas ir tieši acs struktūrā, nevis uz fona. Attēlā var redzēt, ka detektētas tika ne tikai apduļķojuma daļiņas, bet daļas no pilsētas ainas, tas var nozīmēt ka tika veikta visu esošo malu detektēšana, nevis specifisko objektu atpazīšana. Šī problēma varētu būt risināta turpmāk mainot optisko sistēmu. Optisko shēmu var uzlabot, stiklveida ķermeņa apduļķojumus detektējot no acs iznākošajā gaismā tā, lai difrakcijas ainas plāknē no viena tīklenes punkta nākošie stari būtu paralēli.



2.8. attēls Simulācija izmantojot PDMS slāni ar stikla mikropulvera daļiņām

Simulācija, kura bija iegūta ar PDMS neregulārajām struktūrām vizuāli deva vislabākos rezultātus, jo salīdzinot ar iepriekš iegūtām bildēm malas ir asākas (skat. att. 2.9.). Lai PDMS struktūras un detektors būtu lēcas simetrijas punktos tika izmatota +40 D lēca. Struktūras daļiņu izmērs ir arī pietiekami liels lai detektora algoritms tos spēj kvalitatīvi atšķirt un iezīmēt. Iebildums var būt tikai tāds, ka malu detektējošs algoritms redz simulēto struktūru ka atsevišķas daļiņas nevis veselu struktūru, bet uz doto brīdi mērķis detektēt simulāciju ir sasniegts.

Galvenais iemesls dažādiem rezultātiem (kāpēc ne visi rezultāti ir veiksmīgi) ir kontrasts. Bilde ar kurām tika veikti samērā slikti rezultāti tika veikti ar platu zīlīti (lielāka par 8 mm). Samazinot zīlītes diametru tika iegūts lielāks kontrasts, kas deva iespēju iegūt labākus rezultātus.



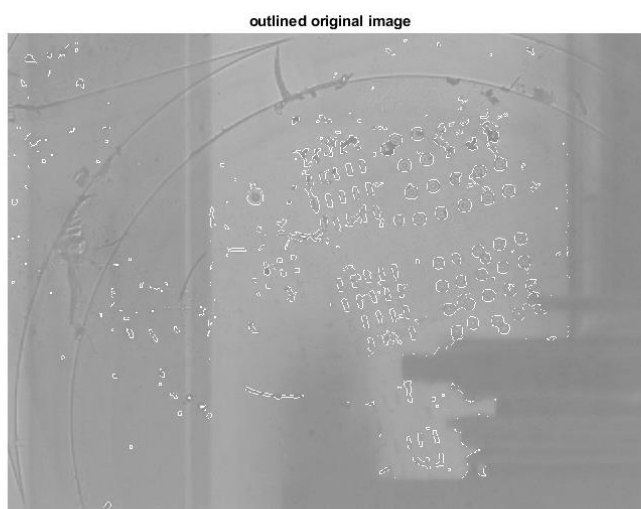
2.9 attēls. Stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācija, izmantojot PDMS struktūras

Pēc pārbaudījumu veikšanas ir praktiski pierādīts, ka Kanija malu detektēšanas metode ir izmantojama stiklveida ķermeņa apduļķojumu detektēšanai, bet ne pilnībā. Identificēt katru struktūru atsevišķi nav iespējams uz doto brīdi, kas var radīt problēmas simulācijas laikā. Turpmāka būs mainīta optiskā sistēma un dotā problēma būs risināta.

2.4.3. Simulācijas ar struktūrām, kuru izmērs ir līdzīgs reālām apduļķojuma daļiņām

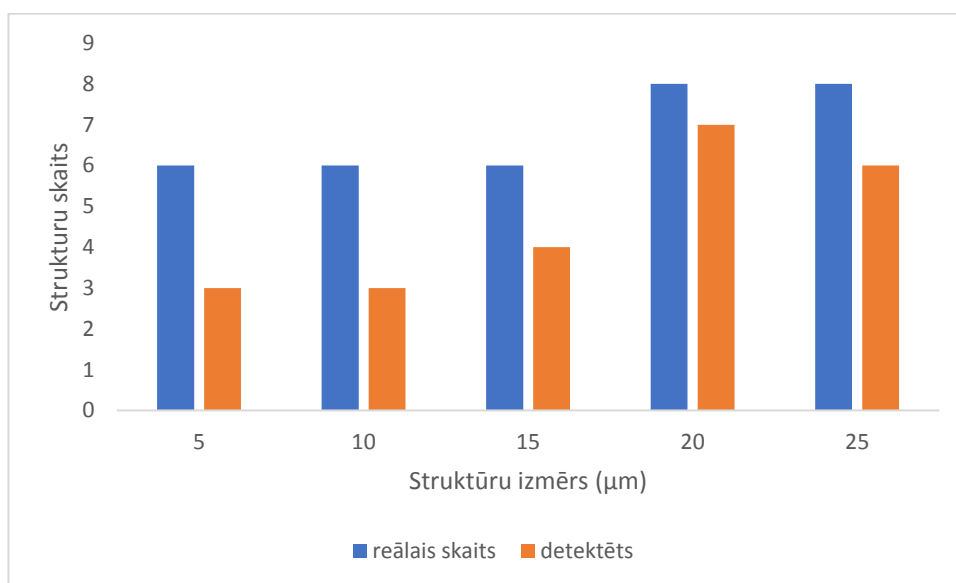
Simulācijā ar AZ40XT-11D fotorezista veidotām struktūrām tika iegūts attēls un tika pielietots ‘Canny’ malas detektēšanas metode (skat. att. 2.10.). Manuāli tika saskaitītas struktūras, kuras izdevās attēlot un tās struktūras ap kurām malu detektors apvilka nepārtrauktu baltu līniju vai tā bija pārtraukta maksimāli maz. Koordinātas ir parādītas koordināšu tabulā, kas ir attēlota attēlā 2.14. Dati procentuāli tika apkopoti tabulā 2.1. Pēc tās var saprast, ka

detektors katrā no struktūru veidā detektēja ne mazāk par 40%.



2.10 attēls. Simulācija ar AZ40XT-11D fotorezistu

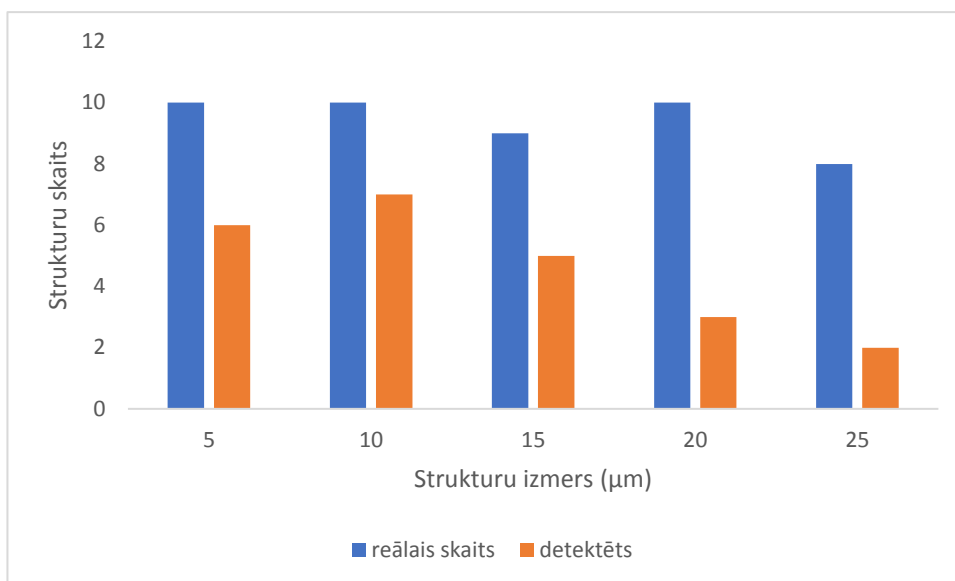
Tika apskatīts katrs struktūras veids atsevišķi. Gredzenveida struktūrās tika attēloti visi piedāvātie izmēri (no 5 mikrometriem līdz 25 mikrometriem). Vislielākais skaits, kurš tika detektēts bija 7 no 8 izmērā 20 mikrometri. Visos izmēros tika detektēts ne mazāk ka puse no esošām struktūrām (skat. att. 2.11.)



2.11. attēls. Gredzenveida struktūru reālo skaitu attēlā salīdzinājums ar detektēto struktūru skaitu.

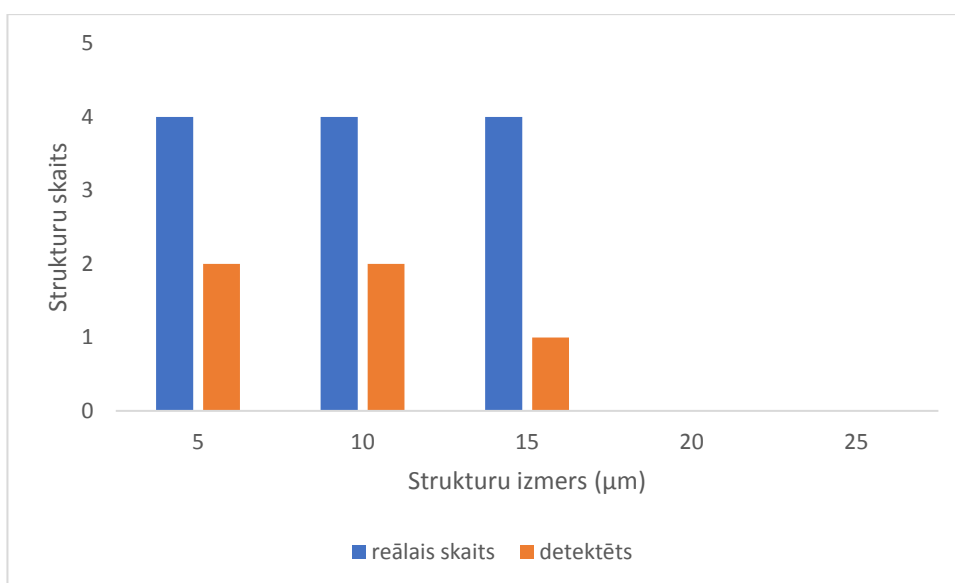
Taisnstūra struktūras arī izdevās attēlot izmēros 5,10,15,20 un 25 mikrometri. Vislielākais skaits, kurš tika detektēts 7 no 10 izmērā 10 mikrometri. Neskatoties u to ka kopumā struktūru

tika attēlots vairāk, detektēt lielāku struktūru skaitu neizdevās. To var saistīt ar to ka struktūru kontūrs attēla (att. 2.10.) apakšējā daļā ir ar mazāku kontrastu, tātad detektoram ir grūtāk to atšķirt to kopējā fona. (skat. att. 2.12.)



2.12. attēls. Taisnstūra struktūru reālo skaitu attēlā salīdzinājums ar detektēto struktūru skaitu.

Apaļas formas struktūras tika attēlotas trijos izmēros – 5, 10 un 15 mikrometri. Divos no trīs gadījumiem tika detektēta puse no attēlotie. To ka rezultāts ir sliktāk nekā iepriekšējās grupās var saistīt ar to ka apaļo struktūru kontrasts bija zems, manuāli skaitot kopējo struktūru skaitu bija grūti atpazīt apaļas struktūras.



2.13. attēls. Apaļu struktūru reālo skaitu attēlā salīdzinājums ar detektēto struktūru skaitu.

2.1. tabula

μm	Gredzeni		Taisnsturi		Apļi	
	reālais skaits	detektēts	reālais skaits	detektēts	reālais skaits	detektēts
5	6	3	10	6	4	2
10	6	3	10	7	4	2
15	6	4	9	5	4	1
20	8	7	10	3	0	0
25	8	6	8	2	0	0
Kopā	34	23	47	23	12	5
%	67.65		48.94		41.67	

Variables - B

B x aug_rinda x apak_rinda x

341x1 cell

	1	2	3	4	5
121	38x2 double				
122	99x2 double				
123	20x2 double				
124	10x2 double				
125	26x2 double				
126	150x2 double				
127	[541 443;54...				
128	[204 448;20...				
129	59x2 double				
130	56x2 double				

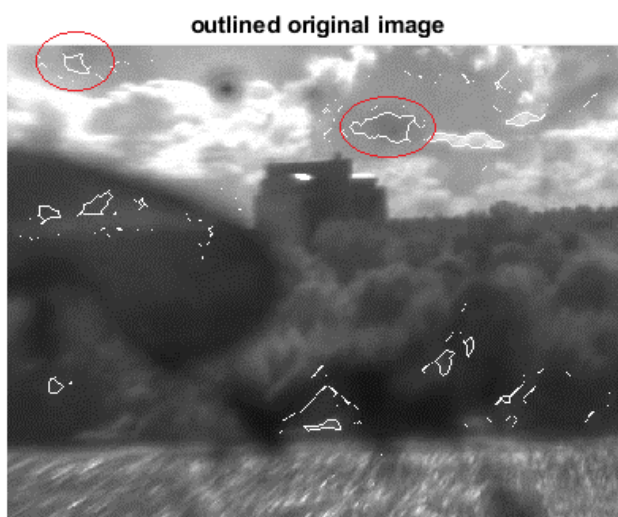
2.14. attēls. Fragments no detektēto struktūru koordināšu tabulas.

Mikrofluīdikas kanāls (skat. att. 2.15.) tika izveidots un pie tā tika pastiprināts plastmasa savienotājs ar gumijas šļirci, pa kuru tika laists šķidrums ar mikrolodiņām. Neskatoties uz to ka šķīdumu izdevās veiksmīgi palaist tikai vienu reizi, uzdevums tika izpildīts. Mikrofluīdikas kanāls tika ievērojami uzlabots. PDMS slānis tika ciešāks piespiests pie stikla mehāniski piespiežot to ar svaru. Tas deva lielāku stabilitāti un šķidrums, ja pat netrāpīja tieši pa kanālu nepārrāva PDMS robežas. Uzņemot simulācijas bildes kamera tiks novietota pret stiklu un būs cieši piespiesta sensoram.



2.15. attēls Mikrofluīdikas kanāls

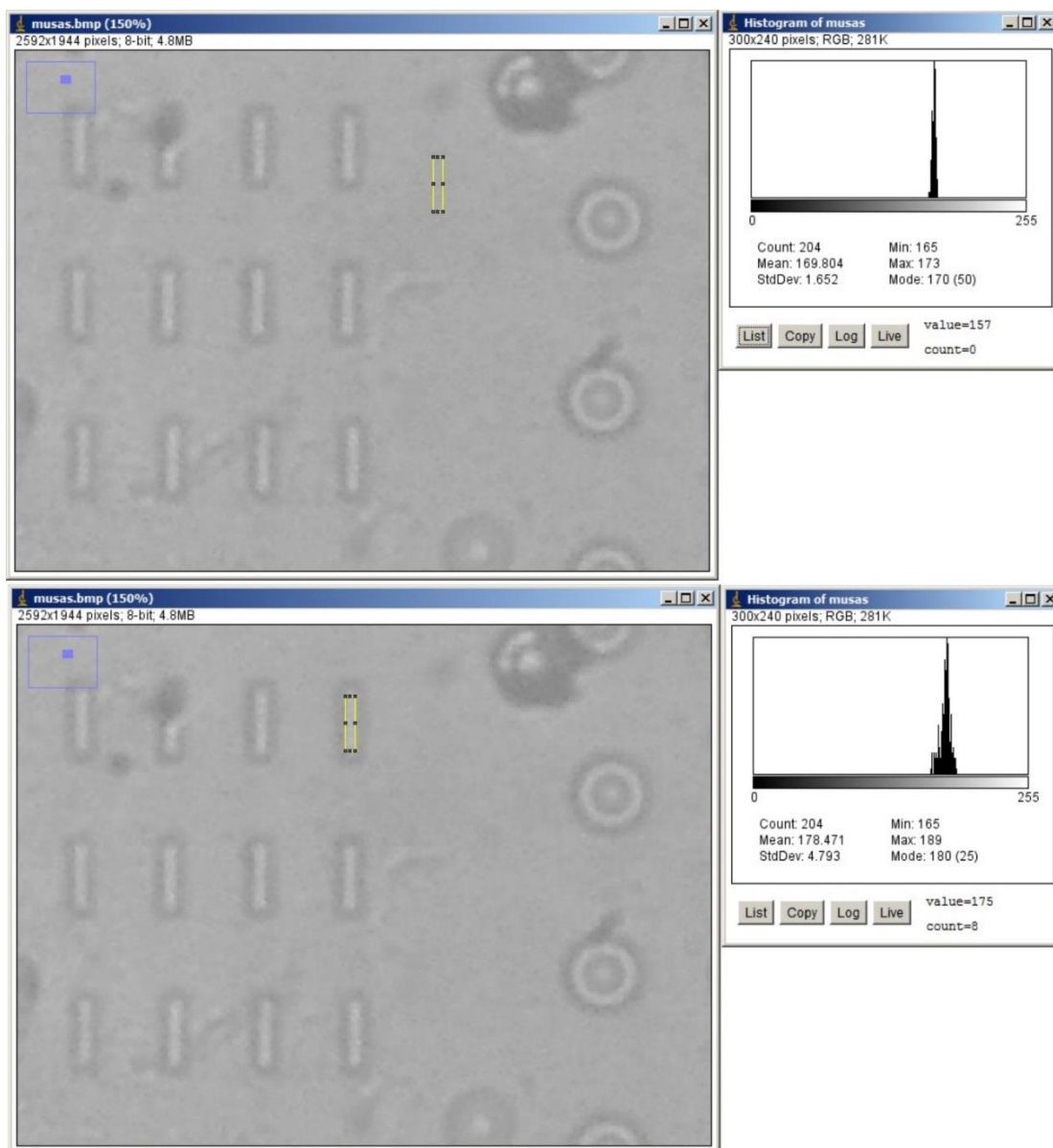
Apskatot iegūtos rezultātus no video fragment (skat. att. 2.16.) izdevās detektēt divas apduļķojuma simulācijas. Secināt var to ka neskatoties uz to ka kontrsts ir zems ir iespējams detektēt apduļķojuma struktūras uz dabīgā fona. Tā pat ka cilvēka acī apduļķojuma daļiņas nekur nepazūd, pat ja notiek refraktīvās izmaiņas. Tikai ja apduļķojuma daļiņa nekontrastē ar fonu, tad izskatās ka to daļiņu vispār nav. Tieši tādēļ stiklveida apduļķojums ir labāk saskatāms uz gaiša viena toņa fona.



2.16. attēls Kanija malu detektēšanas algoritms izmantots ar stiklveida ķermeņa apduļķojuma simulācijas video fragmenta.

2.4.4. Struktūru intensitātes salīdzinājumā ar fona intensitāti

Izanalizējot taisnstūra struktūras intensitātes apgabalu iekšā un ārpus (skat. att. 2.17). Intensitāte tika rēķināta dzeltenā kvadrāta iekšpusē. Bija novērots tas, ka struktūras iekšpusē vidējā intensitāte ir lielāka nekā ārpusē, ārpus tā ir 169.804 un iekšpusē – 178.471. Standarta deviācija no abām pusēm būtiski atšķiras, jo savstarpēji nepārklājas (ārpus standarta deviācija ir 1.652, bet iekšējā struktūras pusē 4.793). Tāda atšķirība parāda ka tiek novērota difrakcija un gaismas intensitātes telpiskā sadalīšana. Tāda veida ainas novēro cilvēks ar stiklveida ķermeņa apduļķojumu.



2.17. attēls. Taisnstūra struktūras intensitātes apgabalu ārpus un iekšpusē analīze. Vidējā vērtībā: ārpus – 169.84, iekšpusē – 178.471. Standarta deviācija: ārpus – 1.652, iekšpusē – 4.793.

SECINĀJUMI

1. MATLAB izmantotā malu detektēšanas metode ir pielietojama stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijā. ‘Canny’ malas detektēšanas metode detektori spēj detektēt apduļķojumus, kuru izmēri ir salīdzināmi ar vitrozīna šķiedru izmēriem, t.i., daži mikroni līdz daži desmiti mikronu.
2. Fotorezista AZ40-XT-11D un polidimetilsiloksāna struktūras ir iespējams izmantot stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai. Neraugoties uz to, ka malu detektēšanas algoritmi detektē arī citus objektus, izstrādātā metode ir derīga apduļķojumu detektēšanai.
3. Mikrofluīdikas kanāls tika ciešāk piestiprināts pie stikla plāksnes, uzlabojot kanāla stabilitāti uz stikla plāksnes. Ciešāk piespiests kanāls novērš PDMS un stikla kontakta atvienošanos.

NOBEIGUMS

Darba ietvaros tika veiktas vairākas stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijas ar PDMS un fotorezista struktūrām. Veicot šīs simulācijas, tika noskaidrots, ka labākā metode stiklveida ķermeņa apduļķojuma simulācijai ir fotorezistā veidotu struktūru izmantošana. Ir svarīgs arī augsts kontrasts, kuru var iegūt samazinot zīlītes diametru acs modelī.

‘Canny’ malas detektēšanas metode parādīja labus rezultātus detektējot ap 50 % no izveidotām struktūrām. Šī darba mērķis bija parādīt ka detektēšana ir iespējama. Skaitīt struktūras vajadzēja manuāli, jo tomēr bija veikta detektēšana nevis indifricēšana. Šī problēma var būt risināta nākamajos stiklveida ķermeņa apduļķojuma pētījumā darbos.

Mikrofluīdikas kanāls tika veiksmīgi uzlabots. PDMS slānis tika ciešāk pievienots pie stikla plāksnes. Kopumā ar visu iepriekš pateikto var liecināt ka visa darba uzdevumi tika izpildīti un hipotēze tika apstiprināta.

PATEICĪBA

Vēlos pateikties darba vadītājam, fizikas doktoram, Varim Karitānam par sniegtu palīdzību bakalaura darba izstrādē, pacietību un atbalstu.

Pateicos Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas par sniegtajām zināšanām un par iespēju aizstāvēt darbu.

Paldies ģimenei un draugiem, kuri morāli atbalstīja visa darba laikā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Ahmanova, S.A., Nikitin, S.Y. (2004). *Физическая оптика 2-е издание* (Sēj. 2). Москва: Наука, Издательство Московского университета.
- Alam, M., Chaudhry, N. A., Goldberg, L. H. (2002). Vitreous floaters following use of dermatologic lasers. *Dermatologic Surgery*, 11(28), 1088-1091.
- Alwitry, A., Chen, H., Wigfall, S. (2002). Optometrists' examination and referral practices for patients presenting with flashes and floaters. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 22(3).
- Benjamin, L. (2003). Nd: YAG vitreolysis as a treatment for vitreous floaters. Reply. *Eye*, 17, 113.
- Bugrova, A.I., Gorbachenko, V.A., Mishina, E.D., Tusnov, Y.I. (2002). *Физическая оптика*. Москва: Московский государственный институт радиотехники.
- Cipoletta, S., Beccarello, A., Galan, A. (2012). A psychological perspective of eye floaters. *Qualitative Health Research*, 11(22), 1547-1558.
- del Campo, A., Greiner, C. (2007). SU-8: A photoresist for high-aspect-ratio and 3D submicron lithography. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 6(17), R81-R95.
- Delaney, Y.M., Oyinloye, A., Benjamin, L. (2002). Nd:YAG vitreolysis and pars plana vitrectomy: surgical treatment for vitreous floaters. *Eye*, 16(1), 21-26.
- Diamond, J. P. (1992). When are simple flashes and floaters ocular emergencies? *Eye*, 6, 102-104.
- Hecht, E. (2002). *Optics* (Sēj. 4). San Francisco: Person Education.
- Hikichi, T., Trempe, C. L. (1994). Relationship between floaters, light flashes, or both, and complications of posterior vitreous detachment. *American Journal of Ophthalmology*, 117(5), 593-598.
- Takehashi, A., Inoda, S., Shimizu, Y., Makino, S., Shimizu, H. (1998). Predictive value of floaters in the diagnosis of posterior vitreous detachment. *Brief Reports*, 125(1), 113-114.
- Karitāns, V. (2016). Model eye incorporating a manually tunable polymer lens and microfluidics chamber for simulation of vitreous floaters. *Imaging and Applied Optics 2016* (Ipp. IM3F.2). Heidelberg: Optical Society of America.
- Laibovitz, R. A. (1984). The vitreous and vitreous floaters. Understanding a common visual complaint. *Postgraduate Medicine*, 75(5), 64-67.
- Lee, B., Litt, M., Buchsbaum, G. (1992). Rheology of the vitreous body. Part I: Viscoelasticity of human vitreous. *Biorheology*, 29(5-6), 521-533.
- Maini, R., Aggarwa, H. (2009). Study and comparison of various image edge detection

- techniques. *International Journal of Image Processing*, 3(1), 1-12.
- Metwalli, E., Haines, D., Becker, O. , Conzone, S. , Pantano, C.G. (2006). Surface characterizations of mono-, di-, and tri-aminosilane treated glass substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*(298), 825-831.
- Milston, R., Madigan, M. C., Sebag, J. (2016). Vitreous floaters: etiology, diagnostics, and management. *Survey of Ophthalmology*, 61(2), 211-226.
- Murakami, K., Jalkh, A. E., Avila, M. P., Trempe, C. L., Shepens, C. L. (1983). Vitreous floaters. *Ophthalmology*, 90(11), 1272-1274.
- Reva, G.V., Reva, I.V., Yamamoto, T. (2011). Структура стекловидного тела глаза человека. *Тихоокеанский медицинский журнал*(1), 65-69.
- Sendrowski, D. P., Bronstein, M. A. (2010). Current treatment for vitreous floaters. *Optometry*, 81(3), 157-161.
- Sommerville, D. (2015). Vitrectomy for vitreous floaters: analysis of benefits and risks. *Current Opinion in Ophthalmology*, 26(3), 173-176.
- Tan, S., Mura, M., Lesnik, O. S. Y., Bijl, H. M. (2011). Safety of vitrectomy for floaters. *American Journal of Ophthalmology*, 151(6), 995-998.
- Tyler, C. (1978). Some new entoptic phenomena. *Vision Research*, 18(12), 1633-1639.
- Tseng, G. C. (2015). Doctor-shopping behavior among patients with eye floaters. *Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7949-7958.
- Wagle, A. M., Lim, W.Y, Yap, T.P., Neelam, K., Au, E. K.G. (2011). Utility values associated with vitreous floaters. *American Journal of Ophthalmology*, 152(1).
- Webb, B. F., Webb, J. R., Schreoder, M. C., North, C. S. (2013). Prevalence of vitreous floaters in community sample of smartphone users. *International Journal of Ophthalmology*, 6(3), 402.
- Wu Jing, L. N. (2014). One-step Surface Modification For Irreversible Bonding Of Various Plastics With Poly(dimethylsiloxane) Elastomer at Room Temperature. *Lab on a Chip*(9).
- Wu, J., Lee, N.Y. (2014). One-step Surface Modification For Irreversible Bonding Of Various Plastics With Poly(dimethylsiloxane) Elastomer at Room Temperature. *Lab on a Chip*(9).

Bakalaura darbs „Dažādu formu un izmēru objektu pielietojums stiklveida ķermeņa apduļķojumu simulācijai un detektēšanai” izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors:

Adele Antoņuka

Stud.apl.nr. aa15085

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr. fiz. Varis Karitāns

Recenzents: Lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. Protokols Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____