

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAUKLTĀTE  
FIZIKAS NODAĻA

Lāzera speklu kontrasta analīze ādas asins plūsmas novērtēšanai

BAKALaura DARBS

Autors: Jānis Savickis

Darba vadītājs: LU ASI pētnieks, Mag. Eng. **Dainis Jakovels**,

LU FMF prof. **Jānis Spīgulis**

**RĪGA 2012**

## Anotācija

Darba mērķis ir izveidot vienkāršu ierīci, kura spētu detektēt un attēlot asins plūsmas izmaiņas ādā reālā laikā, izmantojot lāzeru speķu kontrasta analīzi.

Tika izveidota ādas asins plūsmas novērošanas maketierīce, kuras pamtā izmantot diožu lāzera modulis un kamera. Ierīces darbība parbaudīta *in vitro* mērijumos- izmantojot vienkāršu slīdlentas maketu. Ierīce apbrobēta arī *in vivo* mērijumos, arteriālās oklūzijas testos. Iegūtie rezultāti parādīja lineāru sakarību starp speķu kontrastu un plūsmas ātruma izmaiņām. Pirmie *in vivo* mērijumi parāda ierīces potenciālu neinvazīvai ādas asins rītes novērošanai laikā kā arī kartēšanai.

Astlēgas vārdi: lāzera speķu kontrasta analīze, ādas asins plūsmas kartēšana, speķi.

## ANNOTATION

The aim of the work is to develop a simple device, with which one could detect and map changes in blood flow in real time. Using only speckle contrast analysis.

An experimental blood perfusion mapping device was created from laser diode and video camera. The device was tested on *in vitro* experiments, using a sliding surface model. The Device was approbated as well on *in vivo* experiments, such as arterial occlusion tests. The results showed a linear connection between speckle contrast and perfusion speed value change. First *in vivo* results gave a good look into devices potential to use it as non-invasive human tissue perfusion mapping device in real time.

Keywords: laser speckle contrast analysis , blood flow perfusion mapping, speckle.

## SATURA RĀDĪTĀJS

## Apzīmēju saraksts:

*LASCA* – lāzer speklu kontrasta analīze

*A* – viļņu garums

*E* – Elektriskā lauka intensitātes vērtība

*T* - periods

*K* – speklu kontrasts

$\sigma$  – standartnovirze

*I* – intensitātes vidējā vērtība

*SC* - speklu kontrasts

*S* - virsmas laukums

*v* – plūsma

## IEVADS

Medicīnā jau no seniem laikiem ir svarīga bijusi dažādu ar ķremeni saistītu procesu izpēte. Kā vienīgā neinvazīvā metode ilgu laiku ir kalpojusi kvalitatīvā analīze, kas balstās uz zināmas pieredzes. Laikam ejot, tika izveidotas jaunas neinvazīvas metodes ķremeņu procesu pētīšanai. Darbā tiek pētīta metode, kur lāzera speklu kontrasts tiek izmantots ādas asins plūsmas kartēšanai reālā laikā.

Darba mērķis ir izveidot ierīci, kura spētu detektēt un attēlot asins plūsmas izmaiņas ādā, izmantojot lāzera speklu kontrasta analīzi.

Lai sasniegtu darba mērķi, tika izvirzīti šādi darba uzdevumi:

1. Iepazīties ar literatūrā pieejamo teoriju par lāzera starojuma speklu veidošanos, speklu kontrastu un tā pielietojumiem in vivo mērījumos, Konstruēt LASCA (*laser speckle contrast analysis*) maketierīci un izveidot tai programnodrošinājumu
2. Pārbaudīt maketierīces darbību ar kontrolējamas plūsmas sistēmu un slīdenti ar maināmu kustības ātrumu
3. Pārbaudīt, vai izveidotā ierīce spēj detektēt asins plūsmas izmaiņu oklūzijas testā.

Analītiskajā daļā ir apkopota informācija par optiskajiem procesiem, kuri tiek izmantoti šajā metodē, ādas optiskās īpašības. Darba pētnieciskajā daļā ir apskatīta ierīces uzbūve un tās komponentes, darba eksperimentālo maketu izveide un to darbību principi, iekārtas programmatūra.

Darba rezultātu daļā ir apskatīti iegūtie rezultāti no eksperimentālajiem modeļiem, modeļu kalibrācijas, kā arī parādīta plūsmas kartēšana un oklūzijas testa rezultāti. Izdarīti darba gaitā iegūtie secinājumi par metodi un sniegti ieteikumi metodes uzlabšanā.

## 1. DARBA ANALĪTISKĀ DAĻA

Medicīnā plaši tiek izmantotas neinvazīvas metodes dažādu bioloģisku sistēmu pētīšanai un diagnostikai. Lāzera speķu kontrasta analīzes izmantošana ādas asinsrites novērtēšanā ir relatīvi jauna pieeja. Šajā nodaļā tiks apskatītas metodē izmantotās optiskā starojuma īpašības, cilvēka ādas uzbūve un metodes pielietojums medicīnā.

### 1.1. Optiskais starojums.

Optiskais starojums ir termins ar dažādām nozīmēm, tomēr šeit tas apzīmēs elektromagnētiskā spektra reģionu, kurā viļņa garumi vakuumā ir no 100 nm līdz 1 μm. Šajā reģionā ietilpst infrasarkanais starojums, ultravioletais starojums, kā arī redzamā gaisma. Par redzamo gaismu sauc spektra daļu no 400 nm līdz 700 nm, ko var uztvert cilvēka redzes orgāns - acs. [1]

Fizikā gaismas parādību var izskaidrot ar divām pieejām – klasisko un kvantu. Klasiskajā variantā tā tiek uzskatīta par oscilējošu elektromagnētisko lauku svārstībām – ar plašu tai piemītošās enerģijas diapazonu. Turpretī kvantu pieejā gaisma sastāv no enerģijas paketēm – fotoniem –, kur tā enerģija ir proporcionāla elektromagnētiskā starojuma frekvencei  $\nu$ . Enerģijas apmaiņa starp gaismu un matēriju notiek fonu veidā, kas tiek uzskatīti par šīs apmaiņas pamatelementiem.

Speķu veidošanās pamatā ir gaismas viļņu daba, tāpēc tālākā teorijas daļā tiks apskatīta ar to saistīta parādība - interference.

#### 1.1.1. att. Elektromagnētiskais spektrs. [2]

### 1.2 Monohromatisks vilnis

Monohromatisks vilnis ir tāds, kuram ir viens noteikts viļņa garums –  $\lambda$ . Šādam vilnim atbilst bezgalīgi gara sinusoīda ar nemainīgu amplitūdu. Elektrons atomā izstaro cugu jeb, modeliski runājot, sinusoīdas gabalu ar laikā dilstošu amplitūdu.

Šādus cugus, izmantojot Furjē rindu var sadalīt harmoniskās monohromatiskās sastāvdaļās. Monohromatisko sastāvdaļu skaits un amplitūdas ir atkarīgas no cuga garuma un amplitūdas dilšanas straujuma. Jo garāks ir cugs un jo lēnāk dilst tā amplitūda, jo mazāk ir monohromatisko sastāvdaļu un atoma izstarotā gaisma ir monohromatiskāka. [3]

### 1.3. Koherence

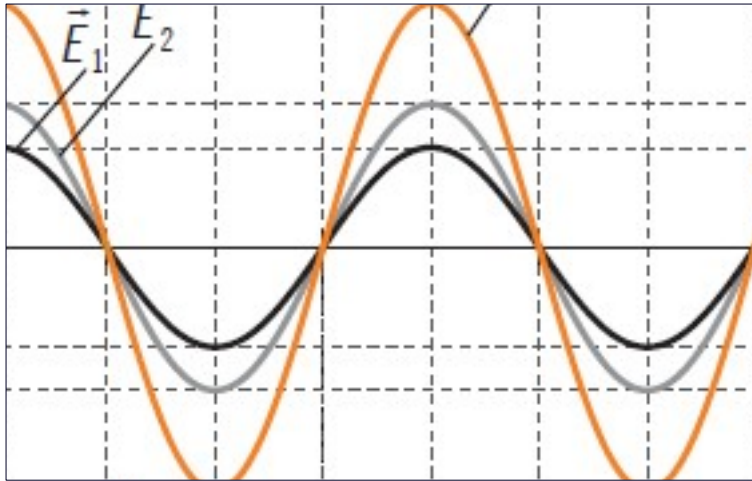
Lai ieraudzītu interferences izraisītās parādības jeb interferences ainu, nepieciešami, lai gaismas viļņi ir savstarpēji koherenti. Koherenti ir tikai monohromatiski viļņi, kuru svārstību frekvences ir vienādas.

Vēl nepieciešams, lai katrā vietā, kur viļņi pārklājas, viļņu svārstību fāžu starpība laikā būtu nemainīga. Paskaidrosim šī nosacījuma nozīmīgumu. Divu monohromatisku viļņu svārstības (neraugoties uz to, ka tām ir vienādas frekvences) kādā vietā uz ekrāna var nokļūt ar fāžu nobīdi. Šī fāžu nobīde interferences ainu neizjauc, ja vien tā laika gaitā saglabājas nemainīga. Tad pēc superpozīcijas principa rezultējošās svārstības šajā vietā arī nemainās. Savukārt, ja fāžu starpība kādā vietā haotiski mainās, tad haotiski mainās arī rezultējošās svārstības un interferences aina nav redzama.

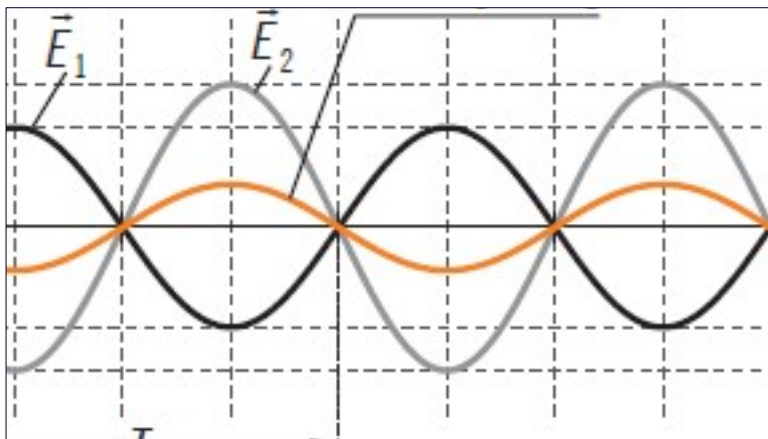
Pastāv vēl trešais nosacījums, lai gaismas viļņus varētu saukt par koherentiem. Gaisma ir elektromagnētisks šķērsvilnis. Proti, elektriskā lauka intensitātes vektors svārstās perpendikulāri viļņa izplatīšanās virzienam. Koherentiem gaismas viļņiem elektriskā lauka intensitātes vektoru svārstību virzieniem telpā ir jāsakrīt. [4]

### 1.4. Interference

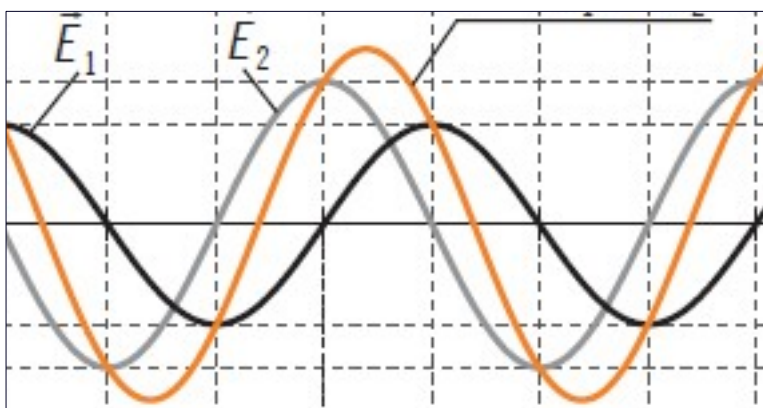
Lai novērotu speķu rakstu uz virsmas ir nepieciešams, lai veidotos interference, kas ir divu vai vairāku vienādu periodu viļņu pārklāšanos, kuras rezultātā pārklāšanās apgabalā notiek rezultējošās amplitūdas pastiprināšanās un pavājināšanās atkarībā no viļņu fāžu attiecībām. Interferēt var tikai viļņi, kuros svārstības norisinās gar vienu taisni.[3]



1.4.1. att. Šajā attēlā kādā telpas punktā abu viļņu svārstību fāze atšķiras par  $T$ .  
Svārstības maksimāli pastiprinās.



1.4.2. att. Šajā attēlā kādā telpas punktā abu viļņu svārstību fāze atšķiras par  $T/2$ .  
Svārstības viena otru maksimāli dzēš.



1.4.2. att. Šajā attēlā kādā telpas punktā abu viļņu svārstību fāze atšķiras par  $T/4$ .

Interferences aina ir vienā krāsā, ja aplūkojam divu monohromatisku (vienkrāsainu) viļņu interferenci. Tad interference izpaužas tikai kā secīga virsmas apgaismojuma maiņa, kurā novēro tā sauktos interferences maksimumus un minimumus. Ko var novērot kā speķu raksts uz virsmas. [4]

### 1.5. Lāzeru speķs

Lāzera speķs ir interferences raksts, ko rada gaisma atstarojoties vai izkliedējoties no apgaismotās virsmas dažādām daļām. Ja virsma ir nelīdzena (virsmas augstuma atšķirības ir lielākas par izmantotās gaismas viļņu garumu), tad gaisma no virsmas dažādām daļām iekš vienas izšķirtspējas šūnas šķērso dažādus optiskos ceļus, lai sasniegtu attēla plakni. Gadījumā, kad novērotājs skatās uz virsmu, ko apgaismo lāzers, izšķirtspējas šūna ir acs izšķirtspējas limits un attēla plakne ir tīklene. Kopējā intensitāte attēla konkrētā punktā tiek aprēķināta saskaitot visu viļņu amplitūdas, kas nonāk punktā. Ja rezultējošā amplitūda ir nulle, jo individuāli viļņi nolīdzsvarojas, tad punktā ir redzams tumšs speķs, bet, ja visi viļņi ierodas punktā fāzē, tad tiek novērots intensitātes maksimums. [5]

Tā kā lāzera speķs veidojas uz virsmas pēc nejaušības principa jeb no virsmas grumbuļainība veidojas speķi, kur virsmas grumbuļainība ir nejauša, bet to ir iespējams aprakstīt ar statistikas paņēmieniem. Gudmans (1975. gadā) izstrādāju detalizētu teoriju, bet šim darbam svarīga ir tikai speķa raksta kontrasta izteiksme.

$$K = \frac{\sigma}{\langle I \rangle} \leq 1.$$

(1)

Pieņemot ideālus apstākļus – vienas frekvences lāzera gaismu un perfekti difūzējošu virsmu ar virsmas augstuma svārstību Gausa sadali – var parādīt, ka intensitātes variāciju standarta novirze speķa rakstā ir vienāda ar vidējo intensitāti. Praksē, speķa rakstam parasti ir standartnovirze, kas ir mazāka par vidējo intensitāti, un tas ir novērojams kā speķa raksta kontrasta samazināšanās. Parasti speķa kontrasts tiek aprakstīts kā standartnovirzes attiecība pret vidējo intensitāti:

Ir jāpiebilst, ka spekla raksta izmēram-katra individuāla spekla lielumam- nav nekāda sakara ar nelīdzeno virsmu, kas to rada. To pilnībā nosaka optiskās sistēmas spraugas atvērums ar kuru tiek novērots spekla raksts [5]

Spekli ir labi saredzami uz nekustīgas virsmas, bet kad virsma tiek kustināta speķu kontrasts pavājinās, jeb raksts izplūst. Jo ātrāk virsma tiek kustināta, jo kontrasts ir daudz vairāk izplūdis, tādēļ darbā ir svarīgi izpētīt kā mainīsies speķu kontrasts no virsmas kustības ātruma un iegūt sakarību.

## 1.6. Ādas uzbūve.

Āda ir organismam kā aizsargbarjera no apkārtējās vides, kā arī mehānisms, kas regulē ķermeņa temperatūru un aizkavē izžūšanu. Tās sastāv no 1-4mm bieziem slāņiem, kas klāj visas ārējās ķermeņa virsmas. Ādā savienojas bez pārtraukumiem ar strukturāli līdzīgo gļotas membrānu. Bet atšķirībā no membrānas, ādā ir papildus struktūras, kā piemēram sviedru dziedzeri, kas izdala sviedrus, kā arī matus un eļļas radošas struktūras.

Ādā ir arī asins vadi, pa kuriem plūst asinis, kas nodrošina organisma nepieciešamo vielu transportu pa visu ķermeni. Atkarībā no asins vadu lieluma, tajos plūst asinis ar dažādiem ātrumiem. Medicīnā ādas asinsvadu izpētei ir izvaidotas dažādas pieejas. No optiskām metodēm par „zelta standarts” tiek uzskatīts lāzer Doplera perfūzijas attēlošana. Tomēr tā ir samērā lēndarbīga. [6]

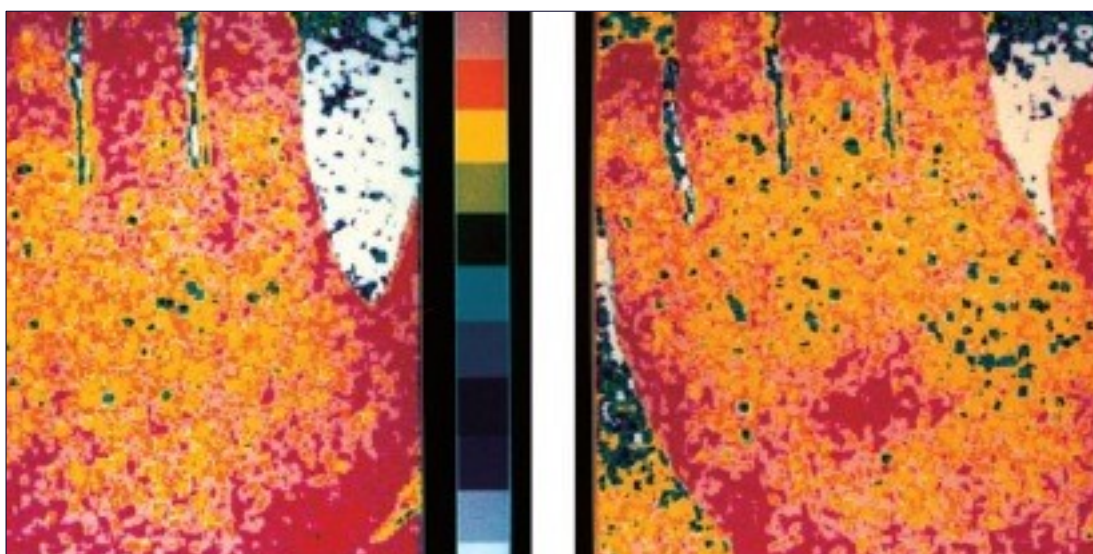
## 1.7. Lāzera speķu izmantošana ādas diagnostikā

1980 gadā Essenas Universitātes optikas nodaļai bija jāizstrādā neinvazīva metode acs problēmu diagnozei. Vienā no projektiem par mērķi tik izvirzīts tīklenes asins plūsmas mērīšana. Klasiskā metode tajā laikā bija fluorescentas krāsa injekcēšana pacienta asins plūsmā. Tad tika gaidīts, kamēr krāsa parādās tīklenes asinsvados. Tika izteikts priekšlikums, ka neinvazīvai metodei būtu priekšrocības gan pacientiem, gan oftologiem.

Tika izstrādāta teorētiska metode, kurā tiek fotografēts lāzera speķa raksts. Vieta, kur notiek plūsma attēlā būs izplūduši. Turklāt, jo lielāks ir plūsmas ātrums un

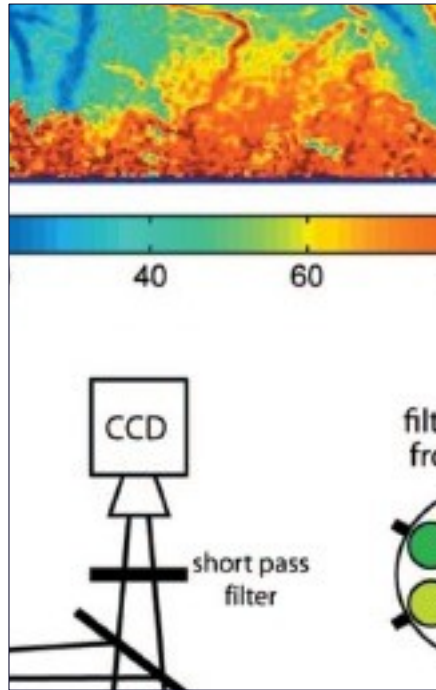
fotogrāfijas ekspozīcijas laiks, jo vairāk izplūdusi būs šī attēla daļa. Spekla raksta daļa, kura atrodas tur, kur nav plūsmas, savukārt, saglabās augstu kontrastu. Tādejādi ātruma sadali varēja attēlot kā izmaiņas spekla kontrastā. Praksē kontrasta izmaiņas bija grūti noteikt ar neapbruņotu aci, tāpēc tika pielietots filtrs, kas uzlaboja kontrastu karti.[7]

Attēls 1.7.1. ir ņemts no 2001. Gada publikācijā [8], darbā tika iegūta speklu kontrasta attēls tika izmantots, lai apskatītu metodes lietošanu ādās plūsmas izmaiņai. Darbā tika veikti foto uzņēmumi, kurus apstrādāja un salīdzināja, bet kā var redzēt, tad izšķirt spēja ir zema un lai iegūtu rezultātus ir nepieciešams laiks. Vēl nebija panākta kartēšana reālā laikā.



**1.7.1. att. Lāzera speklu kontrasta attēls, apskatot asins apasiņotību (a) pirms un (b) pēc maigi ieskrāpējot nelielu apgabalu uz rokas.**

Kā pēdējā laika viens no svarīgākajām attīstībām ir notikusi 2001. Gādā. Kad tika veikti eksperimenti uz pelēm un žurkām, pētot smadzeņu apasiņotību. [9] Metodēs attēls ir redzams attēlā 1.7.2. žurkai pie galva piestiprināja metāla gredzenu, pie kura piespirināja kameru un apgabalu apstaroja ar lāzeru, veidojot speklu ainu. Speklu attēli tiek uzņemti pie dažādiem viļņa garumiem. No iegūtajiem rezultātiem tiek veidota smadzeņu asins vadu plūsmas karte. Šajā metodē tiek izmantoti dažādi filtri kamerai, tādā veidā iegūstot arī spektrāla rakstura informāciju, ko var izmantot arī skābekļa līmeņa novērtēšanai asinīs.



1.7.2. att. (a) smadzeņu asinsvadu asins plūsmas attēls, (b) plūsmas attēla noteikšanas ierīces darbības princips.

## DARBA PĒTNIECISKĀ DAĻĀ

Darba pētnieciskajā daļā var iepazīties ar eksperimentos izmantotajiem modeļiem un speklu kontrasta detektēšanas un pētīšanas maketierīci.

### 2.1 Eksperimentālais stends

Tika izveidoti divi eksperimentālie stendi pētījumu rezultātu iegūšanai. Pirmais stends tika izveidots, lai noteiktu un kalibrētu izveidotos eksperimentālos modeļus, kas ir redzams attēlā 2.1.1. Otrs stends tika izveidots, veiktu in vivo mērījumus uz ādas un ir parādīts attēlā 2.7.1.

Eksperimentālais stends modeļu testēšanai sastāv no gaismas avota, kas ir 650nm diožu lāzermodulis, video kameras un plūsmas vai ātruma maketu, kuri ir aprakstīti tālāk darba turpinājumā, koka kaste, ko apsedz ar audeklu, lai mazinātu apkārtējās vides trokšņus.



2.1.1. att. Eksperimentālais stends plūsmas modeļu testēšanai un kalibrēšanai.



## 2.2. Gaismas avots

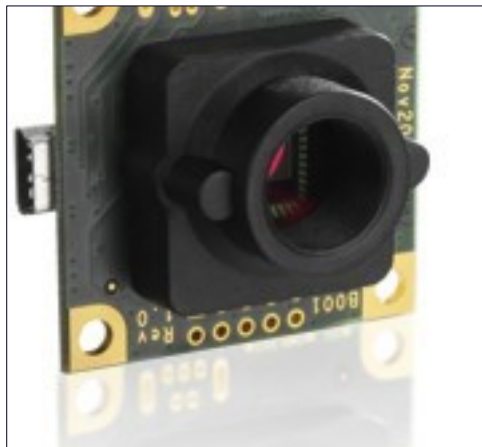
Par gaismas avotu pamatā tika izmantots 650nm diožu lāzermodulis 650nm atbilst sarkanai gaismai. Lāzeru viļņa garums tika izvēlēts, jo šis viļņa garums spēj iespieties zemajos ādas slāņos, kur asinsvadi ir tuvāk. Tādā veidā panākot, ka speķu kontrasts izmainīsies atkarībā no asins plūsmas izmaiņām. Kā otra priekšrocība ir lāzera mazais izmērs un tā pieejamība. Sarkanās diožu lāzermodulis tiek plaši izmantotas - kā plaši pieejami un lēti lāzerpointeri. Darbā izmantotā diode ir 4,5 cm gara un ar diametru 1.5 cm – to var uzskatīt par ļoti kompaktu. To var apskatīt attēlā 2.2.1. Ar šādiem izmēriem viņu ir viegli iestiprināt statīvā un pārvietot. Ar diožu lāzermodulis tehniskajiem parametriem ir iespējams iepazīties pielikumā 2.

2.2.1 att. Darbā izmantotā diožu lāzera modulis.



## 2.3. Video kamera

Video kamera tika izvēlēta no laboratorijā dotajā brīdī pieejamajām kamerām. Kā nosacījums kameras izvēlei bija iespēja mainīt kameras uzstādījumus. Svarīgākais parametrs ir iespēja mainīt ekspozīcijas laiku un fokusēt tā lēcu, lai varētu iegūt asu virsmas attēlu. No pieejamajām kamerām izvēlējās uEye LE UI-1241LE kameru, ko var apskatīt attēlā 2.3.1. Kamerai ir CMOS (complementary-symmetry metal-oxide-semiconductor) tipa matricu ar izšķirt spēju 1280x1024 pikseļi. Kas ir pietiekami daudz, lai novērotu speķu rakstu. Ar kameras tehniskajiem datiem ir iespējams iepazīties pielikumā 1.



2.3.1. att. Video kamera uEye LE UI-1241LE

## 2.4. LASCA maketierīces izveidošana

LASCA ierīce sastāv no kameras, lāzera un datora, kā arī statīva, kur tiek piestiprināta gan kamera, gan lāzers. Tās uzbūves shēma ir redzama attēlā 2.4.1. Visas ierīces tika piestiprinātas pie statīva tādā veidā panākot, ka tās var izvietot sev vēlamā izvietojumā un augstumā. Kā arī ja ir nepieciešams iekārtu var viegli pārvietot uz citu vietu. Atšķirībā no slimnīcā pieejamām diagnostikas iekārtām, šī iekārta aizņem ļoti maz vietas. Veicot eksperimentus ir nepieciešams tikai novietot kameru virs pētāmās virsmas un novietot lāzeru tā, lai tas pēc iespējas vienmērīgāk apgaismotu apgabalu. Svarīgi ir, lai neveidotos apgabali, kas ir pārgaismoti. Savādāk aprēķinot intensitātes vērtībās kartēšanai, tiks iegūts, ka vairāk apgaismotā apgabalā ir lielākas plūsmas vērtības. Lai veiktu kartēšanu, tad tika izveidota speciāla programmatūra *Matlab* vidē, kas ir aprakstīta tālākās nodaļās.



*2.4.1. att. LASCA ierīces uzbūve*

## **2.5. Eksperimentālās iekārtas testēšanas modeļi**

Tika izveidoti divi eksperimentālie maketi metodes pētīšanai. Kā uzstādījums bija izveidots ierīci, kas vistuvāk atbilstu reālai asins plūsmai ādā un to kalibrēt pietuvinot sistēmas ātrumus reālai asins plūsmai.

Pirmais makets, kas tika izveidots, sastāvēja no aptiekā nopērkamas 50ml šļirces, katetra un plastmasas pamatnes. Plastmasa pamatnē tika izurbti caurumi, caur kuriem tika izlaista cauri katetra tā, lai tā veidotu paralēlu tinumu. Tādā veidā ir iespējams palielināt sistēmas plūsmas laukumu. Kā arī izmantot to punktveida mērījumiem. Pie katetra gala tika pielīmēta šļirce ar karsto līmi. Šļirce šajā gadījumā kalpoja kā rezervuārs, kuru attiecīgi iestiprināja statīvā un atkarība no šļirces augstuma varēja izmainīt plūsmas ātrumu. Modelis ir redzams attēlā 2.5.1.



*2.5.1. att. Eksperimentālais modelis plūsmas pētīšanai*

Lai nodrošinātu tādas pašas vai vismaz līdzīgas optiskās īpašības kā asinīm, tika izmantots saldais krējums. Tika veikti arī mērījumi ar ūdeni, pienu un paniņām, bet kā izrādījās, tad uz krējuma varēja vislabāk novērot spektru kontrastu izmaiņu.

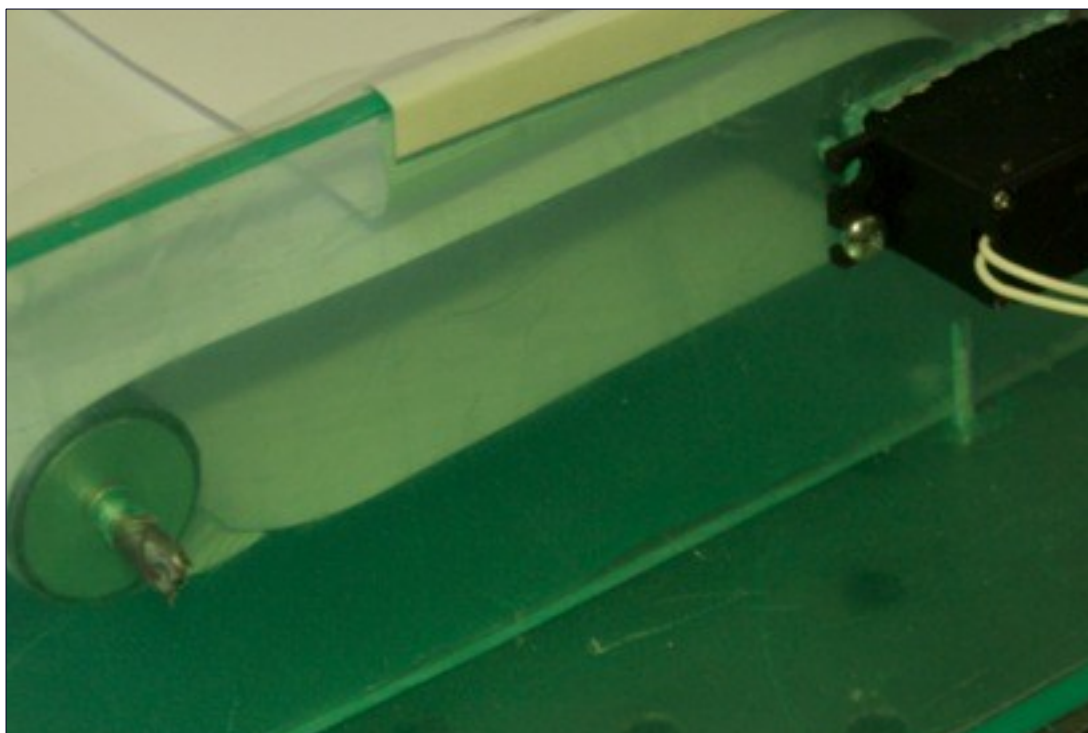
Izpētot publikācijas par to kāds ir asins plūsmas ātrums tika noskaidrots, ka asins plūsma zem ādas ir ar ātrumu no 0.14 mm/s līdz pat 0.93 mm/s. [10] Kalibrējot plūsmas maketu tika nonākts pie secinājumiem, ka nevar iegūt precīzus ātrumus un ar šo maketu arī nevar iegūt tik zemas ātrumus kā asins vados. Tādēļ tika konstruēts otrs makets.

Takā plūsmas makets spēja dot priekšstatu par to, ka izveidotā ierīce spēj detektēt plūsmas izmaiņas, bet nespēj noteikt speklu kontrastu izmaiņas atkarība no sistēmas plūsmas ātruma. Tad otrs makets tika veidots, lai tieši pētītu šo sakarību.

Lai spētu novērot izmaiņas pie dažādiem ātrumiem, makets tika veidots kā slīdošā lenta. Izmantojot akrila plāksnītes, tika izveidots pamats un sienas. Sienās tika izurbti caurumi un iestiprināts neliels elektromotors. Par kustīgajiem objektiem tika izmantoti divi marķieri, kuri iestiprināti ar veikalā nopērkamām naglām. Lentu izgriezta no baltas printera lapas, kuru aptina apkārt un salīmēja ar papīra līmlenti.

Par lentas materiālu tika izmantots papīra lapa, ko izmanto printeros, jo apskatot tā virsmu var redzēt, ka tas nav pilnībā gluds, bet ar mazām porām. Tādēļ uz papīra ir ļoti labi redzēt speklu rakstu. Takā papīrs viegli lokās, tad var viegli aplikt rullīšiem un salīmēt. Kā arī tas nav pārāk biezs un strādā kā lenta, maz ietekmējot sistēmas ātrumu.

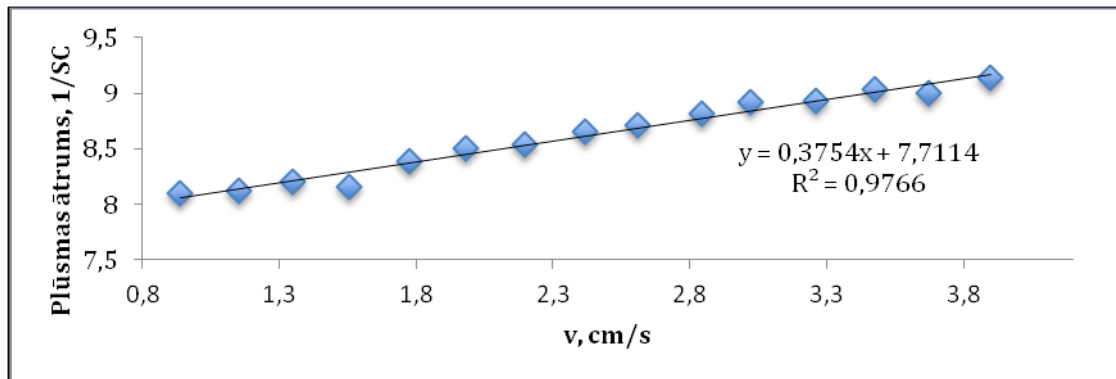
Šādam modelim ir ļoti viegli veikt kalibrāciju, palielinot strāvas stiprumu – palielinājās motoru apgriezienu skaits. Lai noteiktu ar kādu ātrumu sistēma griežas, ir nepieciešams saskaitīt apgriezienu skaitu noteiktā laika intervālā. Zinot lentas garumu, apgriezienu skaitu laikā aprēķināt ātrumu nav problēmas. Veicot kalibrēšanu, tomēr neizdevās iegūt asins plūsmas zemākos ātrumus, bet varēja novērot speklu kontrastu atkarību no ātruma. Modeli ir redzams attēlā 2.5.2



**2.5.2. att. Eksperimentālais modelis specklu kontrasta pētīšanai atkarībā no virsmas ātruma.**

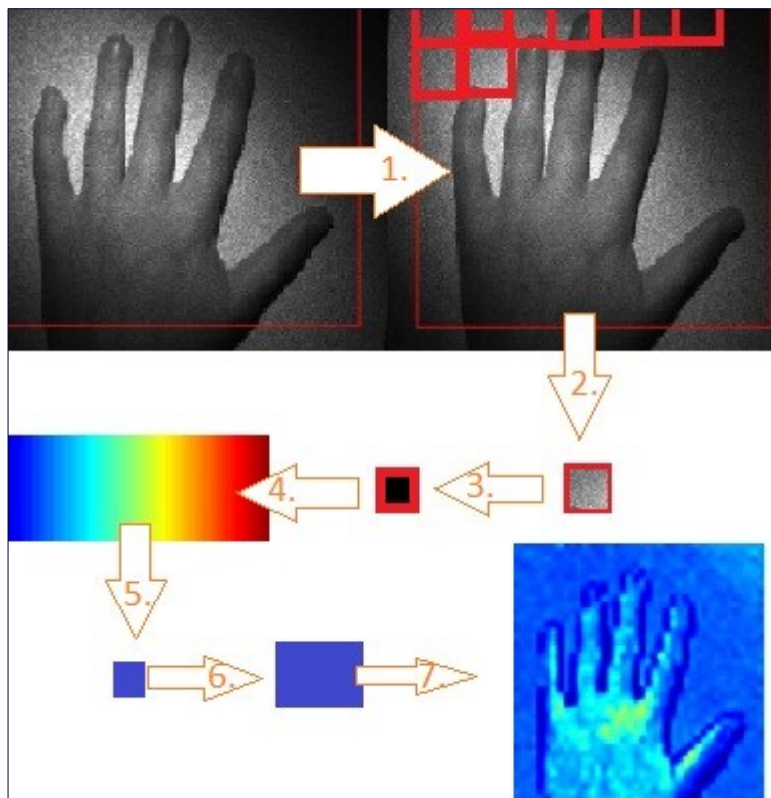
Lai iegūtu sakarību starp specklu kontrasta izmaiņu un virsmas ātruma tika lietots, pirms tam nokalibrēts, rotējošās lentas modelis. Lentas virsma tika apstarota ar pirms tam minēto 650nm lāzeru. Eksperimenta gaitā motoram tika pievadīt strāva no 0.5V līdz 2V ar soli 0.1V. Tādā veidā cenšoties iegūt lineāro sakarību, kur specklu kontrastam ir jāsamazinās, palielinot rotācijas ātrumu. Katrai strāvas vērtībai kalibrācijas procesā tika noteikts atbilstošs ātrums. Tādā veidā tupinot strādāt ar modeli var precīzi iestatīt noteiktos ātrumus.

Kalibrējot iekārtu tika iegūtas rotācijas vērtības pie dažādām strāvas vērtībām. Kā var redzēt 2.5.1. grafikā, tad sakarība ir lineāra, kas norāda, ka sistēmas ātrums ir tieši atkarīgs no pieliktā sprieguma.



2.5.1. grafiks. Plūsmas vērtības pie dažādām slīdētas ātruma vērtībām.

## 2.6. Plūsmas ātruma attēla iegūšana

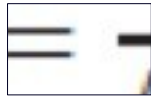


2.6.1. att. Plūsmas ātruma attēla iegūšanas shēma pa darbību soļiem.

Plūsmas kartēšanas attēla iegūšana izklāsts pa soļiem (shēma attēlota 2.6.1. attēlā) :

1. No video kameras attēla izvēlās interesējošo apgabalu.

2. Interesējošais apgabals tālāk tiek sadalīts mazākos apgabalos, apgabalu izmērus pirms tam. Jo vairāk un mazāki ir apgabali, jo precīzāk kartējumu var iegūt un attiecīgi ir lielāks datu apjoms.
3. Katrā apgabalā tiek rēķinātas intensitātes vidējās vērtības un standartnovirzes.
4. Speklu kontrasts tiek noteikts kā standartnovirzes un vidējās vērtības dalījums:



Plūsma ir apgriezti proporcionāla speklu kontrastam.

5. Vecajam pikseļa kvadrātam tiek piešķirta plūsmas vērtība, kas kartējumā tiek iekrāsota attiecīgā krāsā atkarībā no izmantotās krāsu skalas. Piem., šajā gadījumā tiek izmantota Jet krāsu skala, kas ir līdzīga gaismas spektram
6. Mazais kvadrāts tiek atgriezts līdz iepriekšējiem izmēriem. Un tas tiek izdarīts ar visiem apgabaliem, kurus sadalīja otrajā solī.
7. Jaunizveidotie kvadrāti tiek atgriezti vecajās attēla vietās un tiek iegūts plūsmas ātruma attēls.

## 2.7. Maketierīces programmatūras izveide

Iepriekšējā nodaļā tika aprakstīta pa soļiem kā tiek iegūta plūsmas ātruma attēls. Lai spētu novērot kā mainās plūsmas ātrums ir nepieciešams apstrādāt lielu daudzumu ar attēliem. Tādēļ tika izveidota programmatūra, kas spētu veikt visus nepieciešamos aprēķinus un spētu iegūt kartējumu reālā laikā.

Tika izveidots arī programmas grafiskais interfeiss, lai atvieglotu darba gaitu un spētu novērot plūsmas kartēšanu un iegūt speklu kontrasta izmaiņas vērtības reālā laikā, kā arī iegūt speklu kontrasta izmaiņas vērtības.

Kopā tika izveidotas divas programmas, viena, kas rēķināja tikai izvēlētā apgabala spektru kontrastu, vai attiecīgi izmainot kodā to uz apgriezto vērtību, plūsmas ātrumu, un veido grafiku, kur tiek attēlota spektru kontrasta vērtības laikā. Otra programma ir jau pirms tam pieminētā plūsmas kartēšanas programma, kas tika būvēta uz speklu kontrasta izmaiņu programmas, tikai to papildinot, lai tā spētu veidot kartēšanu reālā laikā. Programmas interfeisā arī ir tāds pats grafiks kā kontrasta izmaiņu noteikšanā, kurš rēķina visa (nevis katra mazā kvadrāta) apgabala kontrasta izmaiņu. Programmas kods ir apskatāms pielikumā 1.

## 2.7. Oklūzijas tests

Lai pārbaudītu vai metode spēj detektēt asins plūsmas izmaiņu reālā laikā tika veikts oklūzijas tests. Oklūzijas testam ir nepieciešams tonometrs, vākuma spilvens un LASCA ierīce. Oklūzijas testa veikšana ir redzams 2.7.1. attēlā, Ar oklūzijas testu tika pierādīts, ka ir iespējams detektēt plūsmas izmaiņu dzīvos audos (ādā), uz kā arī balstās plūsmas kartēšanas metode.



2.7.1. att. Oklūzijas testa veikšanas eksperimentālais stends.

## 2.8. Oklūzijas testa veikšana gaita.

Oklūzijas testa laikā brīvprātīgajam tika aplikts ap augšdelmu tonometrs. Pēc tam roka tiek noguldīta uz vakūmspilvena, no kura izpumpējot gaisu, panāk rokas fiksāciju. Ir ļoti svarīgi, lai mērījumu laikā roka neizkustētos, savādāk kustības tiek detektētas un rezultātā tās atspoguļojas kā krasas izmaiņas ātruma plūsmā jeb trokšņi. Eksperiments tiek veikts pēc iespējas tumšākā telpā bez papildus apkārtējā apgaismojuma. Tas tiek darīts, lai mazinātu trokšņu daudzumu rezultātā.

Oklūzijas testa sākumā tonometrs netiek uzpumpēts, bet tiek nogaidīts līdz tiek iegūts speķu kontrasts normālos apstākļos. Pēc laika, aptuveni 30 sekundēm, tonometrs tiek uzpumpēts, aizspiežot asins vadus. Asins plūsmas samazināšanās rezultātā speķu kontrasts palielinās, ko var novērot grafikos 3.5.1. un 3.5.2. Tonometrs tiek atstāts uzpumpēts aptuveni 2 minūtes, pēc tam no tā izlaiž gaisu. Kā

rezultātā, speķu kontrasts strauģi samazinās, jo strauģi palielinās asins plūsmā un speķi tiek izķliedēti. Ar oklūzijas testa rezultātiem var iepazīties darba beigās.

## REZULTĀTI

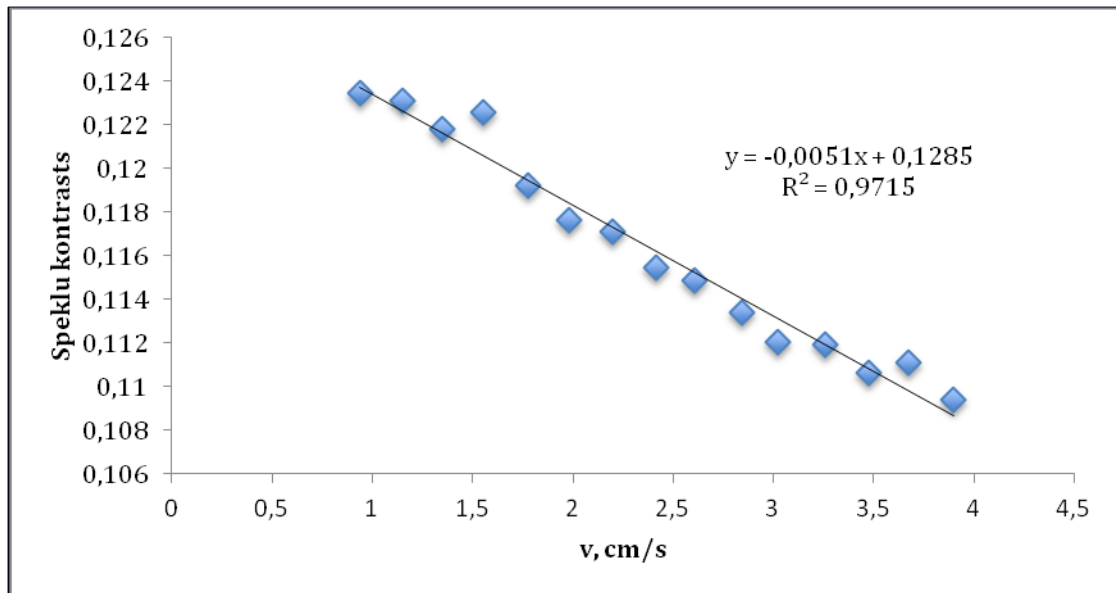
### 3.1. Speklu kontrasta izmaiņa atkarībā no slīdentes ātruma.

Kā pirmais svarīgākais rezultāts ir speklu kontrasta izmaiņa atkarībā no sistēmas ātruma. Izveidojot pirmo mērmaketu (plūsmas maketu), tika novērotas izmaiņas kontrastā, izmainot plūsmas ātrumu, bet diemžēl šo modeli neizdevās nokalibrēt pietiekami precīzi, tādēļ tika izveidota otra maketierīce (slīdentes modelis), kuru izdevās precīzi kalibrēt.

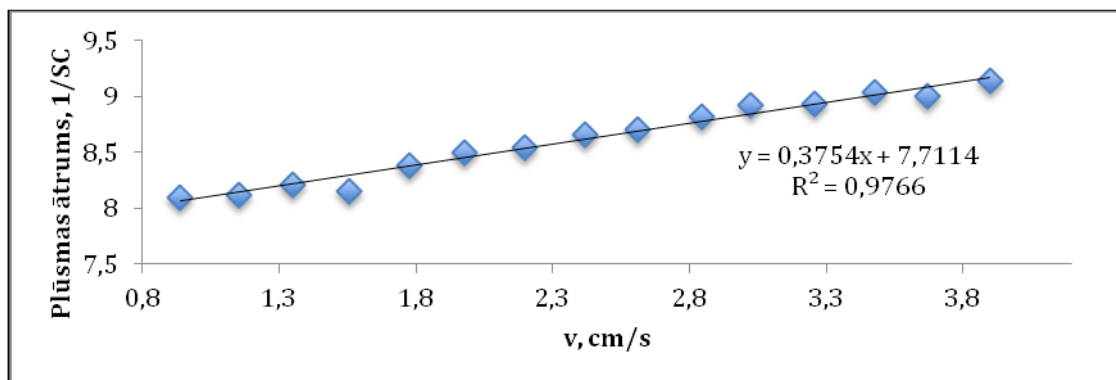
Tika izvirzīts uzdevums pārbaudīt, vai speklu kontrasts ir lineāri atkarīgs no sistēmas ātruma. Grafikā 3.1.1. ir redzams, ka speklu kontrasts tik tiešām ir lineāri atkarīgs no sistēmas ātruma.

Lai uzņemtu grafiku, tika veikti mērījumi pie katras kalibrētās ātruma vērtības. Katrs mērījums sastāvēja no 1000 kadriem. Mērījuma sākumā slīdente bija miera stāvoklī, pēc aptuveni 100 kadriem maketam ieslēdza strāvu jeb sāka griezt lentu. Pēc 900 kadriem [skaitot no 0] strāva tika izslēgta un sistēma atkal nonāca miera stāvoklī. No iegūtajiem mērījumiem tika veidots grafiks, no kura izvēlējās vērtības, kurās bija mazāk trokšņu brīdī, kad ieslēdza strāvu, jo sākoties kustībai tika detektētas daudz lielākas kontrasta vērtību izmaiņas. Visam izvēlētajam apgabalam tika aprēķināta vidējā vērtība un izveidots grafiks.

Lai iegūtu plūsmas ātrumu izmaiņu, tiek rēķināta speklu kontrasta attiecības apgrieztā vērtība. Attiecīgi var novērot, ka plūsmas ātrums tik tiešām palielinās, palielinot sistēmas ātrumu. Tātad var secināt, ka ir izdevies pierādīt, ka lineāra sakarība starp modeļa ātrumiem un plūsmas ātrumu.



3.1.1. grafiks. Speklu kontrasta atkarība no slīdentes ātruma.

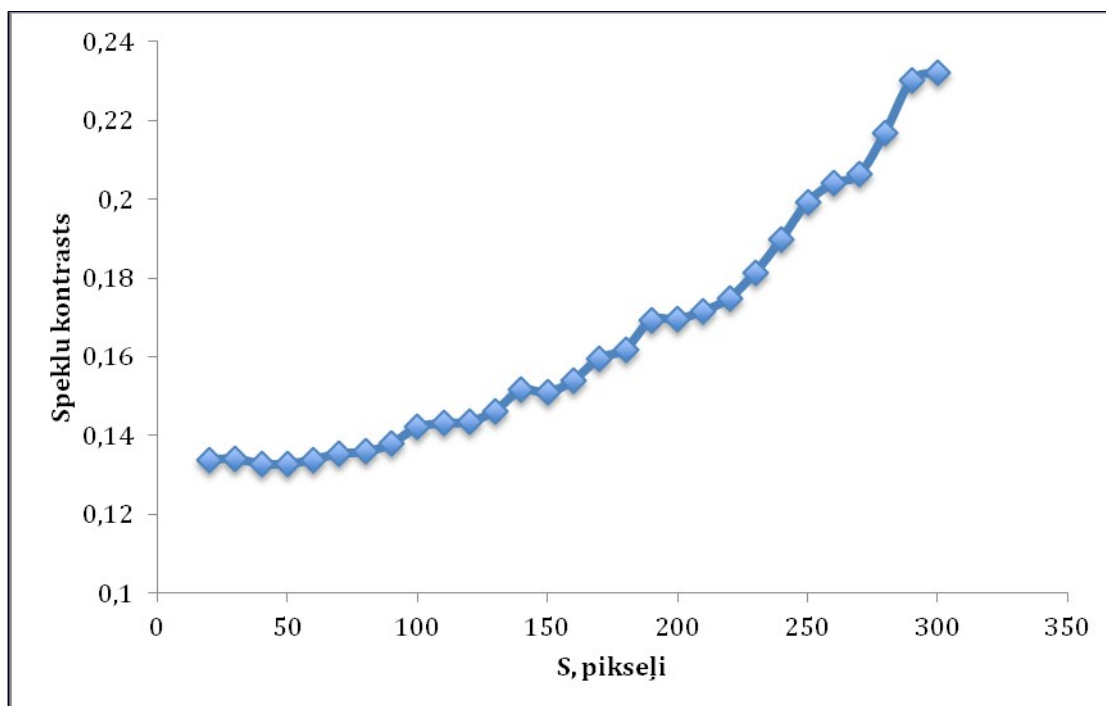


3.1.2. grafiks. Plūsmas ātruma atkarība no slīdentes ātruma.

### 3.2. Speklu kontrasta izmaiņa atkarībā no pētāmā laukuma.

Viens no darba uzdevumiem bija izpētīt sakarību starp pētāmo apgabalu un speklu kontrastu. Tika sagaidītas lineāras izmaiņas, bet kā grafikā 3.2.1. redzams, tad izmaiņas ir drīzāk eksponenciālas. Vēl no grafika var redzēt, ka speklu kontrasta izmaiņa pie maza interesējošā apgabala (proti, apgabala izmēri tuvojas punktveida mērījumiem) ir minimāla. Tāpat var secināt, ka kontrasta izmaiņas vērtības sasniedz noteiktu robežu, zem kuras tās vairs nesamazinās. Šeit būtu jāveic mērījumi pie

zemām ātruma vērtībām, lai spētu gūt precīzāku ieskatu metodē. Šos izmērus var izmantot punktveida mērījumiem, bet ne plūsmas kartēšanai.



3.2.1. grafiks. Speklu kontrasta atkarība no pētāmas virsmas laukuma pie nemainīga ātruma.

### 3.3. Speklu kontrasta izmaiņas atkarībā no ar ekspozīcijas laikiem

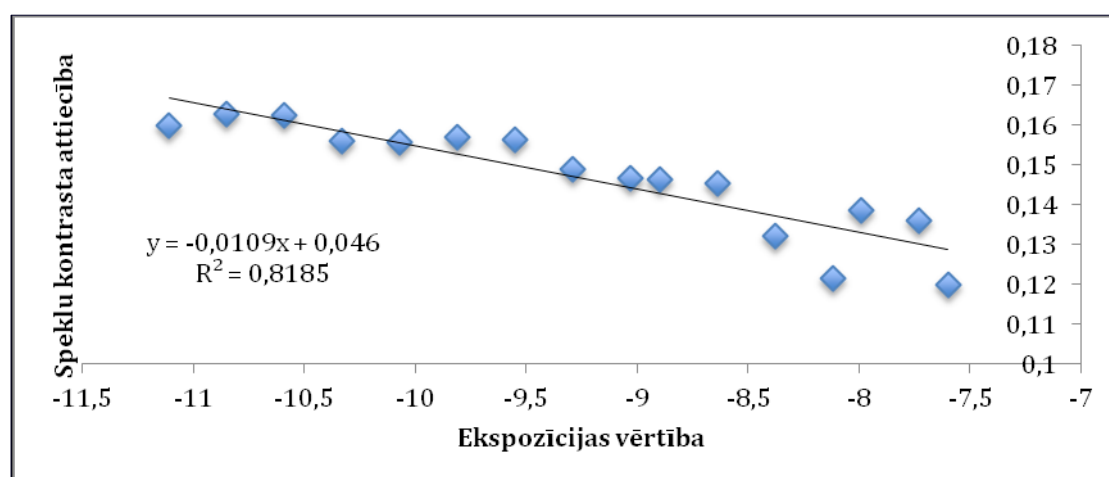
Turpinot izpētīt metodes specifiskāciju, tika veikti mērījumi, lai apskatītu, kāda ir speklu kontrasta saistība ar ekspozīcijas vērtībām, nemainot sistēmas pārējos lielumus.

Grafikā 3.3.1. ir attēloti iegūtie rezultāti. Analizējot grafiku, var novērot, ka palielinoties ekspozīcijas laika vērtībām kontrasta attiecības novirzās no lineāri apksimētās taisnes. To var skaidrot ar faktu, ka pie lielām ekspozīcijas vērtībām pētāmais apgabals ir pārapgaismots un tiek novēroti daudzi trokšņi. Tādējādi ir grūti novērot izmaiņas.

Grafika var redzēt, ka pie mazām ekspozīcijas vērtībām kontrasta attiecība izmainās, attiecīgi apgabals ir tumšāks un speklus iespējams labāk novērot, līdz brīdim, kad ekspozīcijas laiks ir mazs un tiek iegūts tumšs apgabals uz kura nevar novērot speklu kontrasta izmaiņas. Apskatot grafika beigu daļu, var redzēt, ka vērtības

sāk sasniegt maksimālās kontrasta vērtības, un pēdējais mērījums parāda, ka kontrasts sāk samazināties. Iemesls tam ir fakts, ka pie augstām ekspozīcijas vērtībām video kameras attēls ir ļoti tumšs un spekli ir grūtāk saredzami. Tika apskatīts ekspozīcijas laiks apgabalā no -11.5 līdz -7.5 relatīvām vērtībām.

Ņemot vērā šos rezultātus, turpinot mērījumus, tika mēģināts strādāt ar ekspozīcijas vērtībām apgabalā no -8.5 līdz -9.5, kurās varēja vislabāk novērot speklus. Ekspozīcijas vērtības tika manuāli iestatītas atkarībā no tā, cik ļoti apgaismota bija sistēma. Tas liek domāt, ka būtu jāizveido metode, pēc kuras programma pati iestatītu ekspozīcijas vērtības atkarībā no apgaismojuma, panākot, ka, veicot mērījumus, rezultātus neietekmētu ekspozīcijas laika dažādie uzstādījumi.



3.3.1. grafiks. Speklu kontrasta attiecība atkarībā no ekspozīcijas uzstādījumiem.

### 3.4. Eksperimentālā plūsmas modeļa rezultāti

Izveidojot plūsmas modeli, tika paredzēts, ka varēs iegūt reālai asins plūsmai ādā pietuvinātas ātruma vērtības, bet diemžēl asins plūsmas ātrumi ādā ir pārāk mazi, lai tos varētu realizēt uz plūsmas modeļa. Diemžēl šo modeli neizdevās kalibrēt pietiekami precīzi, jo ātrums, ar kādu krējums plūda caur modeli, nebija laikā nemainīgs. Tika novērots, ka, pilnam rezervuāram izplūstot, plūsmas ātrums samazinājās. Tādēļ, lai iegūtu precīzu ātrumu konkrētā brīdī, būtu jāapskata tā ātruma gradients. Vēl jāmin, ka, izmainot rezervuāra augstumu, ātruma izmaiņa tiek novērota tikai pēc laika, jo ir nepieciešams laiks, kamēr plūsma izmainīsies.

Tomēr modelis labi parāda, ka ar šo metodi iespējams novērot plūsmas izmaiņas. Grafikā 3.4.1. ir redzama kontrasta attiecības izmaiņa - jo lielāka ir kontrasta vērtība, jo sistēmā ir mazāks ātrums.



3.4.1. grafiks. Plūsmas modeļa speklu kontrasta ar roku ierosinātas plūsmas izmaiņas.

### 3.5. Oklūzijas testa rezultāti apakšdelnai.

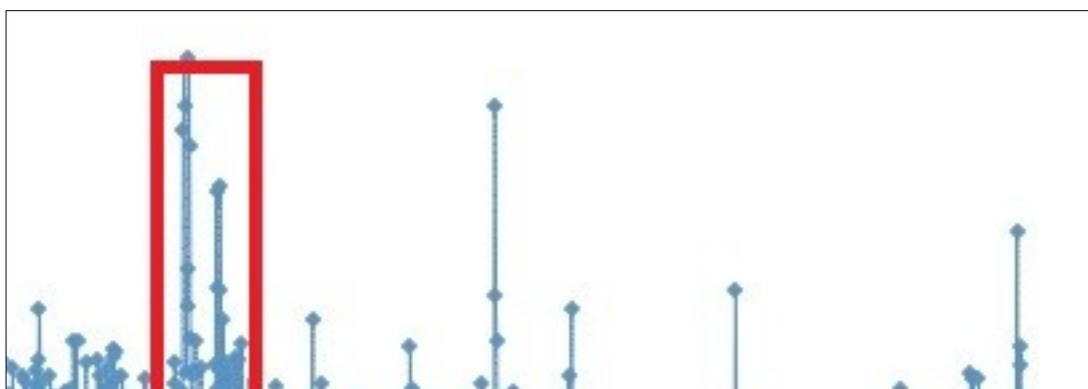
Kā primitīvākais no testiem, lai pārliecinātos, ka metode patiešām spēj detektēt asins plūsmas izmaiņu ādā, tika veikts oklūzijas tests. Oklūzijas testa gaita ir aprakstīta darba analītiskajā daļā.

Tests tika veikts divās vietās- plaukstas aizmugurē un virspusē- attiecīgi iegūstot divus grafikus 3.5.1. un 3.5.2. Apskatot grafikus, var ļoti redzēt, ka metode tiešām spēj detektēt plūsmas izmaiņu ādā. Pirmajā grafikā ir ļoti labi redzams- kad asins plūsma ir *normālā* līmenī, tad tā tiek aizspiesta un plūsmas ātrums samazinās līdz brīdim, kad asinsrite tiek atjaunota, ko parāda straujais lēciens grafika, kā arī ir iespējams novērot pīķi ar vērtību, kas pārsniedz *normālās* plūsmas vērtību Tam seko plūsmas pazemināšanās līdz normālām līmenī, to vēlāk var arī novērot grafikos.

Salīdzinot abus grafikus, var novērot, ka, veicot mērījumu atkārtoti, otrajā reizē asins spiediens rokā ir pazeminājies, kas uzskatāmi parāda plūsmas relatīvi mazo izmaiņu. Toties ļoti labi var redzēt, kā pēc tam plūsmas vērtības atgriežas tuvu eksperimenta sākuma vērtībām. Darba gaitā tas tika vairāk kārtīgi novērots, ka veicot atkārtoti vairākus mērījumus, plūsmas vērtības bija zemākas, nekā kad pirmo reizi aizspieda asinsvadus. To var arī ļoti pateikt pēc pašsajūtas – roka ātrāk sāka tirpt, norādot ka asins plūsma iespējams nav pilnībā atgriezies pie normāla spiediena.

Turpinot salīdzināt grafikus, var redzēt, ka kopumā oklūzijas testam, kas tika veikts plaukstas augšpusē, ir mazāk trokšņu kā apakšā. Iespējams, ka augšpusē ir vairāk pakļauta saules iedarbībai, kā rezultātā āda ir tumšāka. Lai pārbaudītu šo hipotēzi, ir nepieciešams veikt oklūzijas testu uz cilvēkiem ar dažādām ādas pigmentācijām un salīdzināt rezultātus.

Veicot eksperimentu, svarīgs aspekts bija, apkārtējās vides nemainība un trokšņu neesamība. Eksperiments tika veikts aptumšotā telpā, kas nebija noslēgta eksperimenta laikā caur telpu izgāja cilvēki, atverot un aizverot durvis. No durvju attaisīšanas līdz aizvēršanas brīdim – grafikā 3.5.1. varēja novērot pēkšņas palielinātas vērtības, kas norāda, ka telpā tika apgaismojums no blakus istabas un sistēmas intensitāte palielinājās. Atvēršanas un aizvēršanas brīdi novēroja palielinātas pīķveida izmaiņas, kuras varēja rasties no vibrācijām, ko izraisīja durvju aizvēršana un atvēršana. Rezultātā tika izmainīts speklu raksts un tās tiek detektētas kā plūsmas izmaiņas. 3.5.2. grafikā ir redzama pīķveida pēkšņa plūsmas izmaiņas – tajā brīdī tika izkustināta roka, uz kuras tika veikts eksperiments. Tas viss norāda uz to, cik jutīga ir metode un cik liela nozīme ir precīzi nofiksētam lāzeram un kamerai.



**3.5.1. grafiks. Oklūzijas tests apakšdelmas apakšai. Ar zāļu ir atzīmētas tonometra uzpumpēšanas un izpumpēšanas vietas. Ar sarkano ir attēloti lielākie apkārtējās vides trokšņi.**



**3.5.2. grafiks. Oklūzijas tests apakšdelmas augšpusei. Ar zāļu ir atzīmētas tonometra uzpumpēšanas un izpumpēšanas vietas. Ar sarkano ir attēloti lielākie apkārtējās vides trokšņi.**

### 3.6. Rotējošās lentas modeļa kartēšana

Slīdlentas modelis tika izveidots ar mērķi izpētīt, kā metode strādā pie dažādiem ātrumiem; šis modelis vēlāk tika izmantots arī kā pamats, uz kura veidot plūsmas kartēšanu. Virs slīdlentes tika piestiprināta balta lapa, kas slīdlentes modelim nodrošināja nekustīgu apgabalu, pret kuru var salīdzināt kustīgā apgabala speķu kontrastu.

Veicot mērījumus, nācās saskarties ar vairākām problēmām. Modeļa lielākā problēma ir pati uzbūve. Lai panāktu to, ka slīdvirsmā grieztos, tika izmantoti divi marķieri, kuri tika sagriezti un kuros ielika cilindrus, caur kuriem rullīšus piestiprināja pie sienīņām ar naglām. Šāds stiprinājuma veids radīja diezgan lielu berzi, kā rezultātā tie negriezās *gludi*, bet ar aizķeršanos, un to varēja novērot grafikā kā paaugstinātus pīķveida trokšņus.

Tomēr tas neradīja lielākos trokšņus. Baltā papīra lenta, kas kalpoja kā pētāma virsma, tika apliekta ar rullīšiem un savienota ar līmlenti. Sākumā tika izmantota PVA līme, bet eksperimenta laikā salaiduma vieta deformējās, līdz tā atlīmējās vaļā. Izmantojot līmlenti, salaiduma vieta arī tika deformēta, bet lipšanas problēma tika novērsta. Deformācija izpaudās kā līmējuma vietas ieliekšanās uz iekšpusi. Grafiski to varēja novērot kā atkārtotu pīķa vērtību, kas uz fona radīja vislielāko kontrasta izmaiņu. Interesanti ir tas, ka, rēķinot kontrasta attiecību no slīdlentes ātruma, sistēmas kopējā kontrasta izmaiņa tomēr saglabāja savu linearitāti neatkarīgi no pīķa vērtības parādīšanās biežuma. Turklāt, pie lielām strāvas vērtībām vērtībām tika iegūts grafiks 3.6.2., no kura var secināt, ka metode spētu detektēt arī asins rites pulsu, bet tam ir nepieciešama padziļināta izpēte.

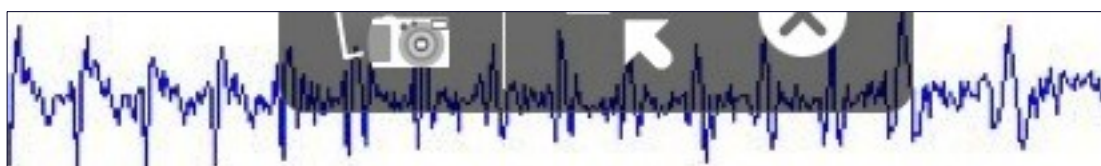
Veicot eksperimentus, arīdzan tika novērots, ka speķu kontrasts izmainās atkarībā no attāluma līdz kamerai. Sākumā nekustīgā virsma tika piestiprināta pēc iespējas tuvāk slīdvirsmā, kā rezultātā uz nekustīgās virsmas radās vibrācijas, un tā minimāli, bet konstanti kustējās. Tādējādi, veidojot speķu kontrasta izmaiņu, ko detektēja kā ātruma izmaiņu un apgrūtināja iegūt kustīgu-nekustīgu kartējumu. Tas tika atrisināts nekustīgo virsmu piestiprinot augstāk. Šajā brīdī tika novērots, ka speķu kontrasts ir atkarīgs arī no virsmas attāluma līdz video kamerai, kas visu detektēja. Tādā veidā mēs varam secināt, ka, veicot kartēšanu uz rokas, ir

nepieciešams izvēlēties tādu apgabalu, kur āda ir pēc iespējas līdzenāka. Tas savukārt nozīmē, ka vai nu nepieciešami labojumi aprēķinos (ņemt vērā intensitātes samazināšanos no virsmas izliekuma) vai nepieciešams samazināt interesējošo apgabalu.



- 3.6.1. att.** Kreisajā attēlā ir redzams slīdlentes makets. Vidējā attēlā ir redzams kameras attēls datorā, kur sarkanie kvadrāti ir dažādi pētāmie apgabali. Labajā attēlā ir redzams modeļa kartēšanas attēls, kur tumši zilais apgabals ir nekustīgs, bet kustīgais apgabals redzams gaišākā krāsā.

### 3.6.2.



**3.6.2. grafiks.** Speklu kontrasta vērtību izmaiņa pie lielām strāvas vērtībām.

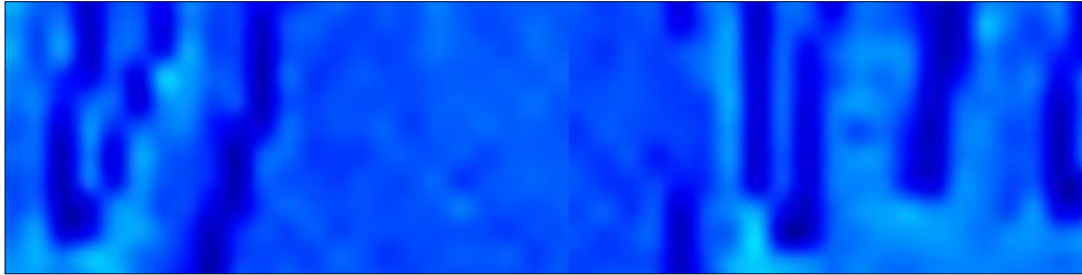
## 3.7. Asins plūsmas kartēšana plaukstai

Pēc tam, kad plūsmas kartēšana bija nokalibrēta uz slīdvirsmas maketa, tika veikti eksperimenti uz cilvēkiem. Eksperimentam tika izvēlēta sieviete bez asinsrites un sirds problēmām. Tā kā metode jau bija nokalibrēta, tad atlika to tikai pārbaudīt.

Pirmā tika veikta kartēšana rokai, neaizspiežot asins vadus, tad tika uzlikta manšete, kas aizspieda rokas asins vadus, un atkārtoti tika iegūta plūsmas karte. Rokai sākoties tirpt, no manšetes tika izlaists gaiss un uzņemta jau plūsmas karte. Iegūtos attēlus var redzēt attēlā 3.7.1.

Kad tika iegūts kartējums rokai, tika mēģināts atkārtot eksperimentu uz rētas, kas bija aptuveni 2-3 nedēļas vecas un jau bija sadzijusi, palicis tikai vizuāls ādas bojājums. Diemžēl rēta kartējumā neuzrādījās. Iespējams tas ir saistīts ar to, ka

sarkanā gaisma iespiežas dziļākos ādas slāņos un ir ne pieciešams lāzers ar citu viļņa garumu, lai to pārbaudītu ir nepieciešama dziļāka izpēte.



**3.7.1. att. Rokas kartēšana. No kreisās puses – izvēlētais rokas reģions, roka bez tonometra, roka ar uzpumpētu tonometru, roka izlaižot gaisu no tonometra**

## SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

Darba gaitā ir radušies šādi secinājumi:

1. Izmantojot lāzerdiodi un kameru var tikt konstruēta vienkārša LASCA ierīce ādas asins plūsmas novērtēšanai.
2. Izveidotā maketierīce var tikt izmantota ādas asins plūsmas izmaiņu novērošanai laikā, kā arī plūsmas kartēšanai gandrīz reālā laikā.
3. In vitro mērījumos konstatēts, ka starp speķu kontrasta izmaiņām un plūsmas ātrumu pastāv lineāra sakarība.
4. Slīdlentes makets var tikt izmantots kā vienkāršs makets ierīces darbības in vitro novērtēšanai.
5. Oklūzijas tests var tikt izmantots kā vienkāršs veids ierīces darbības in vivo novērtēšanai.
6. Metode ir jutīga pret apkārtējās vides izmaiņām – apgaismojuma intensitātes svārstības, apskatāmā objekta svārstības, kas rada ievērojamus trokšņus rezultātos.

Rekomendācijas metodes uzlabošanā:

1. Metodes in vitro aprobēšanai un kalibrēšanai nepieciešams izveidot modeli, kas ir tuvāks ādas uzbūvei.
2. Precīzākai plūsmas kartēšanai nepieciešams uzlabot ierīces apgaismojuma vienmērīgumu.
3. Ir nepieciešama labākas kvalitātes video kamera kā arī jaudīgāks dators, lai varētu veikt precīzāku un kvalitatīvāku plūsmas kartēšanu.
4. Jāpārbauda metodes darbība pie dažādiem viļņa garumiem, kā arī jāizvērtē ādas pigmentācijas ietekme.
5. Jāsamazina apkārtējās vides izmaiņu ietekme uz mērījumu rezultātiem.
6. Pārbaudīt metode pielietojamību asins pulsāciju detektēšanā, salīdzināt ar citām alternatīvām metodēm.

IZMANTOTĀ LITEREATŪRA:

1. **Mobley, J., Vo-Dinh, T.** Chapter 2: Optical Properties of Tissue. **In:** *Biomedical Photonics Handbook*. CRC Press LLC, 2003, p. 1 – 76.
2. **Antonie Education Website** [tiešsaiste] – [atsauce 09.05.2010.]. Pieejams: [http://www.antonine-education.co.uk/physics\\_gcse/Unit\\_1/Topic\\_5/em\\_spectrum.jpg](http://www.antonine-education.co.uk/physics_gcse/Unit_1/Topic_5/em_spectrum.jpg).
3. **Students, O.** *Optika*. Rīga : izdevniecība „Zvaigzne”, 1971.
4. Materiāls ņemts no Bauskas Valsts Ģimnāzijas mājas lapas pieejamās informācijas [tiešsaite] – [http://b1v.lv/wp-content/uploads/2008/09/fiz12\\_5.pdf](http://b1v.lv/wp-content/uploads/2008/09/fiz12_5.pdf)
5. . **K. David Briers**, Laser speckle contrast imaging for measuring blood flow, Kingston University, 2007 gads.
6. **Stephen McPhee, Gary D. Hammer**, Pathophysiology of Disease An Introduction to Clinical Medicine, Sixth Edition, astotā nodaļa, 2009. Gads. [tiešsaite] - <http://www.accessmedicine.com/content.aspx?aID=5368753>
7. **M. Stucker**, Capillary Blood Cell Velocity in human Skin Capillaries Located Perpendicularly to the skin surface: Measured by a New Laser Dppler Anemometer,1996. Gads.
8. **J David Briers**. Laser Doppler, speckle and related techniques for blood perfusion mapping and imaging, Kingston University, 2001. Gads.
9. **David A. Boas, Andrew K. Dunn**. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics, journal of Biomedical Optics, 2010. Gads
10. **M. Stucker**, Capillary Blood Cell Velocity in human Skin Capillaries Located Perpendicularly to the skin surface: Measured by a New Laser Dppler Anemometer,1996. Gads.
11. Izmantotās kameras tehniskie parametri [tiešsaite] - [http://www.ids-imaging.de/frontend/products.php?cam\\_id=160](http://www.ids-imaging.de/frontend/products.php?cam_id=160)

## **PIELIKUMI**

## 1. Pielikums

Darbā izmantotās video kameras tehniskie parametri

<b>Interface</b>	USB 2
<b>Lens mount</b>	S-Mount
<b>Sensor Technology</b>	CMOS (e2v)
<b>Model Name Color</b>	UI-1241LE-C
<b>Model name Mono</b>	UI-1241LE-M
<b>Resolution (H x V)</b>	1280 x 1024
<b>Color Depth</b>	8bit (10bit ADC)
<b>Resolution Category / pixel class</b>	1.3 megapixels
<b>Sensor Size</b>	1/1.8 "
<b>Shutter</b>	Global
<b>max. fps in Freerun mode</b>	25 fps
<b>Exposure Time in Freerun mode</b>	9μs - 2000ms
<b>Exposure time in trigger mode</b>	9μs - 2000ms
<b>AOI Modes</b>	horizontal and vertical
<b>Binning modes</b>	horizontal and vertical
<b>I / O - I2C</b>	
<b>HDR (High Dynamic Range)</b>	-
<b>Sensor Name (m / c)</b>	EV76C560BB / EV76C560BC
<b>Pixel pitch in microns</b>	0.229166667
<b>Optical surface</b>	6784 x 5427 mm
<b>Dimensions</b>	H: 36.00 mm, W: 36.00 mm, L: 20.00 mm
<b>Weight</b>	12.00 g
<b>Power</b>	USB

## 2. Pielikums

Darbā izmantotās diožu lāzermoduļa tehniskie parametri

### Main Specifications:

- Available wavelength: 650nm
- Size: dia.14mm x len.45mm
- Output power: 10mW
- Output aperture: dia.5mm
- Operating voltage: DC 3V
- Operating current: less than 120mA
- Standard operating distance: 10 meters, focus adjustable
- Beam character: elliptical
- Elliptic proportion: 1:1.4
- Divergence: 0.5mrad
- Beam size: about 3.5 x 5mm@ 10m; 5 x 9 mm@ 20m; 12 x 17mm@ 40m
- Optics: glass lens both sides AR coated
- Operating temperature: -10-+40 Celsius degree
- Storage temperature: -40-+80 Celsius degree
- Life time: more than 8000 hours
- Laser safety classification: class 3

```

function varargout = LASCA(varargin)

%% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @LASCA_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @LASCA_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
%% End initialization code - DO NOT EDIT

%% --- Executes just before LASCA is made visible.
function LASCA_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
% Inicializacija
handles = initialize(handles)
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
%%

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = LASCA_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
%% -----

%% --- Executes on slider movement.
function slider_expo_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles = expocontrol(handles);
set(handles.expo, 'String', num2str(get(handles.slider_expo, 'Value')));
%set(handles.expo, 'String', num2str(round(get(handles.slider_expo, 'Value'))));
guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function slider_expo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', [0 0 0]);
end
%%

```

```

function roi_size_Callback(hObject, eventdata, handles)
%% Hints: get(hObject,'String') returns contents of roi_size as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
roi_size as a double
handles = input_roi(handles);
guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function roi_size_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','black');
end
%%

%% --- Executes on button press in start.
function start_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles = mapping(handles);
% handles = start(handles);
guidata(hObject, handles);

% --- Executes on button press in del_roi.
function del_roi_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to del_roi (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
delete(handles.rect)

function h = initialize(h)

%% Inicializācija
set(h.figure1,'CurrentAxes',h.im_input);
% uz attēla izveido melnu kvadrātu, nulles apzīme ka ir melns
im = imshow(zeros(1024,1280,'uint8'));

% zīme grafiku ( no kurienes nē informāciju, nezīnu , nezīnu,
nezīnu)
h.plot = plot(h.data_output,0,0,'b-');

%% Kāmeras iestatījumi
% objekts kamera = video ieeja (w video komanda, kura kamera tiek
izmantota
% 1 ir iebūvēta 2 nākama pieslēgta, kāmeras nosaukums)

h.cam = videoinput('winvideo',2,'RGB24_1280x1024');
%h.cam = videoinput('winvideo',1,'YUY2_160x120');

%iestada kāmeras uzstādījumus
src = getselectedsource(h.cam);
vid.ReturnedColorspace = 'grayscale';
src.ContrastMode = 'manual';
src.Contrast = 50;
src.ExposureMode = 'manual';
src.GainMode = 'manual';
src.Gain = 0;
src.ContrastMode = 'manual';
src.Contrast = 50;

```

```

% rada atelu bet nesaglaba informaciju
preview(h.cam,im)

% h.fps = str2double(src.FrameRate);
h.fps = 30;
% kuru attelu vins saglaba pec kartas 1 = katru 10 = katru 10o
h.cam.FramesPerTrigger = 2;
% cik ilgi programma saglaba attelus
h.cam.TriggerRepeat = Inf;
% triggerconfig(h.cam,'manual');

function h = expocontrol(h)

%% Iestāda ekspozīciju

src = getselectedsource(h.cam);
% no slaidera nolasa ekspozīcijas vertibas
src.Exposure = get(h.slider_expo,'Value');

function h = input_roi(h)

%% Ievada RoI izmēru
sz = str2double(get(h.roi_size,'String'));
% sakums atrasanas vieta
x = 500; y = 500;

%% Aktivizē RoI logu

% Aktivizē RoI logu
set(h.figure1,'CurrentAxes',h.im_input);
hRoI = imrect(gca,[x,y,sz,sz]);
h.pos = round(wait(hRoI));
delete(hRoI)
h.rect = rectangle('Position',h.pos,'EdgeColor','r');

% zime kvadratu (atrasanas vieta ( x, y, platums/garums, liniju
krasa)

% %% Attēlo palielinātu
% set(h.figure1,'CurrentAxes',h.im_zoom);

function h = mapping(h)

%% Inicializācija
y = h.pos(1);
x = h.pos(2);
W = h.pos(3);
H = h.pos(4);
s = 15;
X = zeros(fix(W/s),fix(H/s));

N = 100;
t = zeros(N,1);
sc = zeros(N,1);

set(h.figure1,'CurrentAxes',h.im_map);
% uz attēla izveido melnu kvadratu, nulles apzīme ka ir melns
im = imshow(zeros(W,H,'uint8'));
colormap(jet(256));

```

```

%% Processings
start(h.cam)

for n = 1: N
    % Grafiks
    set(h.status, 'String', ['Kadrs ' num2str(n)])
    [fr,t(n)] = getdata(h.cam,1);
    data = fr(h.pos(2)+(0:h.pos(4)-1),h.pos(1)+(0:h.pos(3)-1),1);

    %sc(n) = std2(data)/mean2(data);
    sc(n) = mean2(data)/std2(data);

    set(h.plot, 'XData',t(1:n), 'YData',sc(1:n))

% Kartesana
for j = y: s: y+H
for i = x: s: x+W
    klucis = fr(i+(0:s-1),j+(0:s-1),1);
    %originals
    %X(1+(i-x)/s, 1+(j-y)/s) = std2(klucis)/mean2(klucis);
X(1+(i-x)/s, 1+(j-y)/s) = mean2(klucis)/std2(klucis); % kartes mas

end
end

Y = imresize(X, s);

%originals
%Y = uint8(255*2*(Y-min(min(Y))/(max(max(Y))-min(min(Y)))));
%izmainitais

%Y = uint8(255*2*(Y-min(min(Y))/(max(max(Y))-min(min(Y)))));
%Y = uint8(7*(Y-min(min(Y))/(max(max(Y))-min(min(Y)))));
Y = uint8(7*(Y-min(min(Y))/(max(max(Y))-min(min(Y)))));

set(im, 'CData',Y)
drawnow
end
stop(h.cam)

function h = start(h)

%% Inicializācija
%cik reizes programma izpildis savu darbību / apstradas attelus
N = 1000;
t = zeros(N,1);
sc = zeros(N,1);

%% Sāk video procesingu
start(h.cam)
% iesledz video kameru
for j = 1: N
    set(h.status, 'String', ['Kadrs ' num2str(j)])
    [fr,t(j)] = getdata(h.cam,1);
    data = fr(h.pos(2)+(0:h.pos(4)-1),h.pos(1)+(0:h.pos(3)-1),1);
    sc(j) = std2(data)/mean2(data);
    set(h.plot, 'XData',t(1:j), 'YData',sc(1:j))
end

stop(h.cam)

```

Bakalura darbs ‘ ‘ Lāzera speklu kontrasta analīze ādas asins plūsmas novērtēšanai’’  
izstrādāts Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūtā

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

Autors Jānis Savickis: ..... (paraksts)

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Darba vadītājs Mag. Eng. Dainis Jakovels: ..... (paraksts)

Darba vadītājs prof. Jānis Spīgulis: ..... (paraksts)

Recenzents asoc. Prof. Andris Jakovičs: .....(paraksts)

Darbs iesniegts Fizikas nodaļā ..... - ..... – 2012.

Studiju metodiķe Ārija Deme ..... (paraksts)

Darbs aizstāvēts baka;aura gala pārbaudījumu komisijas sēdē

..... - ..... – 2012. Protokols ....., vērtējums .....

Komisijas sekretārs: ..... (paraksts)