



**LATVIJAS
UNIVERSITATE**
ANNO 1919



Izglītības un zinātnes
ministrija

VPP SOPHIS projekts nr.3
**Biofotonika: attēlošana, diagnostika
un monitorings**

Pārskats par posmā paveikto
Projekta vadītājs: Dr.habil.phys. Jānis Spīgulis

Inga Saknīte, MSc. Phys.

Rīgā, 2015. gada 7. oktobrī

MĒRĶI UN 1. POSMA UZDEVUMI

1. posma izpildes laiks:

plānotais: 01.06.2014 - 31.05.2015

reālais: 01.11.2014 – 30.06.2015

Projekta pamatmērķis:

attīstīt inovatīvas tehnoloģijas bioobjektu attēlu iegūšanai un apstrādei.

1. posma pētnieciskie uzdevumi:

Izstādāt eksperimentālo mērījumu metodikas jaunu attēlošanas tehnoloģiju aprobācijai laboratorijas apstākļos:

- 1.1. vairāku monohromatisku spektrālo attēlu iegūšanai no viena digitāla krāsu attēla datiem
- 1.2. sirdsdarbības un asinsrites parametru bezkontakta monitoringam tuvajā infrasarkanajā spektra diapazonā

1. POSMĀ PAVEIKTAIS

Atbilstoši plānotajam, izstrādātas divas eksperimentālo mērījumu metodikas jaunu attēlošanas tehnoloģiju aprobācijai laboratorijas apstākļos:

- vairāku monohromatisku spektrālo attēlu iegūšanai no viena digitāla krāsu attēla datiem (A1.1.a)
- sirdsdarbības un asinsrites parametru bezkontakta monitoringam tuvajā infrasarkanajā spektra diapazonā (A1.1.b)

Papildus plānotajam:

- izveidota mēriekārta, veikti mērījumi un simulācijas ādas stāvokļa novērtējumam 0.7 - 1.7 mikronu spektra diapazonā (A1.1.c)
- veikti ādas diagnostikas prototipa ierīces *Sklmager* programmatūras pilnveidojumi (A1.3.d).

SASNIEGTIE REZULTATĪVIE RĀDĪTĀJI

(IEKAVĀS – PLĀNOTIE)

Oriģināls zinātniskais raksts – 1 (1)

J.Spigulis, I.Oshina. „3x3 technology for snapshot mapping of skin chromophores”, OSA Technical Digest, doi:[10.1364/BODA.2015.JT3A.39](https://doi.org/10.1364/BODA.2015.JT3A.39), 2015.

Aizstāvētie maģistra darbi – 5 (3)

- A.Bekina, „Ādas parametriskā kartēšana, izmantojot vairākus spektrālos attēlus un segmentācijas algoritmu” (2014)
- K.Vasiļjeva, „Fluorescences dzīves laika spektroskopija ādas endogeno fluoroforu raksturošanai” (2014)
- T.Eglītis, „Paņēmienu kopuma izstrāde sistēmai, ar kuru iespējams izdalīt plaukstas biometriskās pazīmes” (RTU, 2014)
- O.Ļašuka, „Pulsa viļņa izplatīšanas ātruma noteikšana ar bezkontakta fotopletizmogrāfijas metodi” (2015)
- J.Bauer, „Spectral reflectance estimation with an optical non contact device for skin assessment” (University of Eastern Finland, 2015)

Papildus tam, par projekta tematiku

- iesniegts aizstāvēšanai promocijas darbs: I.Saknīte, „Ādas bilirubīna, hemoglobīna un ūdens optiska izvērtēšana un kartēšana”
- aizstāvēti 2 LU FMF bakalaura darbi: I.Ošiņa, „Ādas hromoforu kartēšana trihromātiskā lāzeru apgaismojumā” un G.Tunēns, „Monte Karlo simulācijas tuvajā infrasarkanajā spektra diapazonā ādas mitruma novērtējumam”.

SASNIEGTIE REZULTATĪVIE RĀDĪTĀJI

(IEKAVĀS – PLĀNOTIE)

Konferenču ziņojumi ar publicētām tēzēm – 6 (1)

- J.Spigulis, I.Oshina, „3x3 technology for snapshot mapping of skin chromophores”, *OSA Optics in the Life Sciences* (Vancouver, CA, 12-15/04/2015);
- G.Tunens, I.Saknīte, J.Spigulis, „Modeling diffuse reflectance spectrum of skin in the near-infrared spectral range by Monte Carlo simulations”, *Developments in Optics and Communications* (Rīga, 10-12/04/2015);
- I.Oshina, J.Spigulis, „Snapshot mapping of skin chromophores at triple-wavelength illumination”, *Developments in Optics and Communications* (Rīga, 10-12/04/2015);
- J.Bauer, W.Heikkinen, J.Spigulis, „Spectral reflectance estimation with an optical non contact device for skin assessment”, *Developments in Optics and Communications* (Rīga, 10-12/04/2015);
- J.Bauer, W.Heikkinen, J.Spigulis, „Spectral reflectance estimation with an optical non contact device for skin assessment”, *Northern Optics and Photonics* (Lappeenranta, FI, 2-4/06/2015);
- I.Oshina, J.Spigulis, „Image processing for snapshot mapping of skin chromophores”, *IONS Karlsruhe 2015* (Karlsruhe, DE, 26-29/06/2015).

Ziņojums seminārā – 1(1)

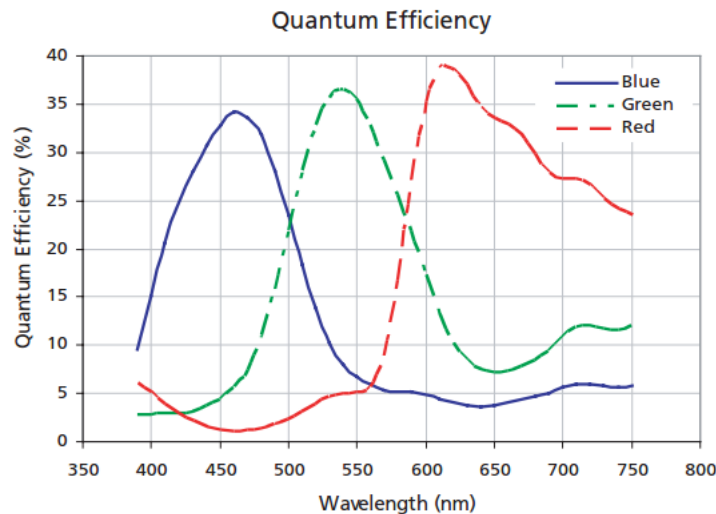
- J.Spigulis, Biofotonikas laboratorija 2014.gadā. LU ASI seminārs 19.02.2015.

Rīkotais seminārs – 1(1):

- VPP SOPHIS 1. posma atskaites seminārs 18.06.2014. pl. 9:00 LU ASI.

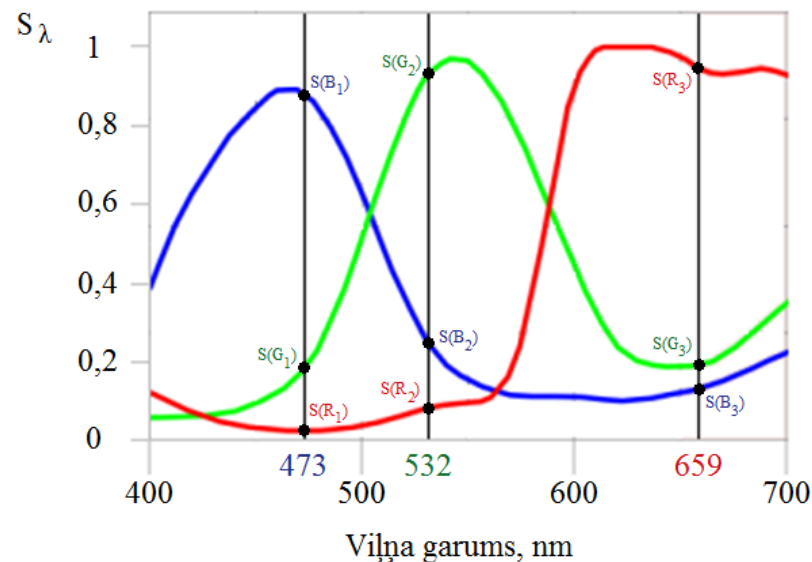
AKTIVITĀTE A1.1a

Izstrādāta eksperimentālo mērījumu metodika vairāku monohromatisku spektrālo attēlu iegūšanai no viena digitāla krāsu attēla datiem



KRĀSU ATTĒLS 3 SPEKTRĀLLĪNIJU APGAISMOJUMĀ

- Viena RGB krāsu attēla datu masīvs ļauj izdalīt R, G un B joslu attēlus
- No tiem savukārt iespējams iegūt monohromatiskus spektrālos attēlus īpaša apgaismojuma apstākļos
- Analizējam situāciju, kad apgaismojuma spektrā ir tikai 3 šauras spektrālīnijas
- Traucē joslu pārklāšanās → *crosstalk*
- Korekcijas ideja: katrai uztverošai joslai ir zināmas spektrālo jūtību attiecības 3 dotajiem viļņu garumiem
- To var izmantot, lai izfiltrētu «tīrus» monohromatiskus attēlus



$$R_1 = \frac{R}{1 + \frac{1}{S_{R12}} + \frac{1}{S_{R13}}}$$

$$R_2 = \frac{R}{S_{R12} + 1 + \frac{1}{S_{R23}}}$$

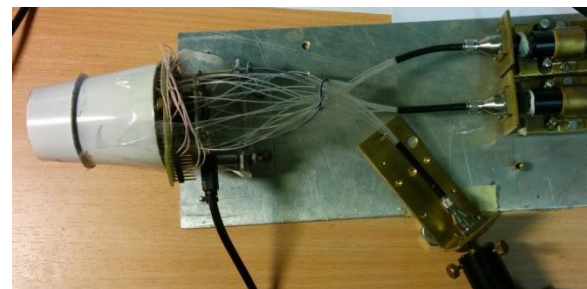
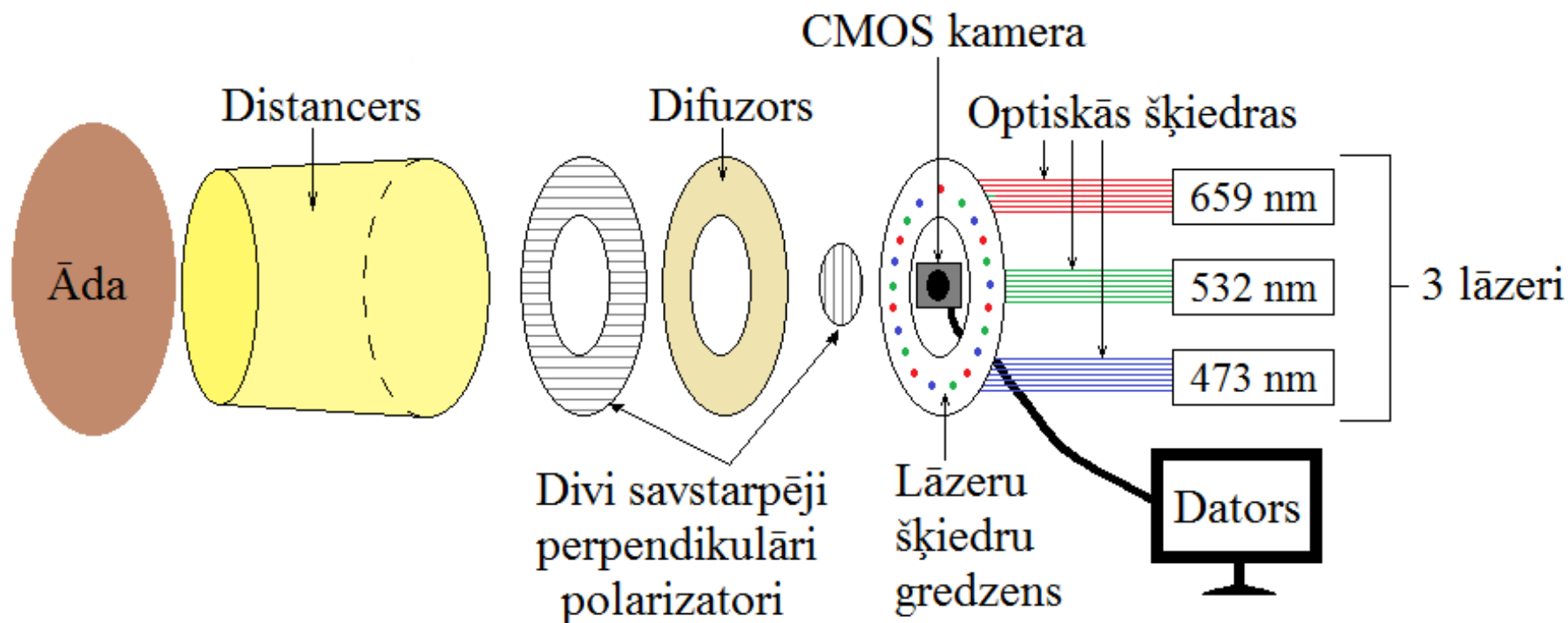
$$R_3 = \frac{R}{S_{R13} + S_{R23} + 1}$$

$$B = B_1 + B_2 + B_3$$

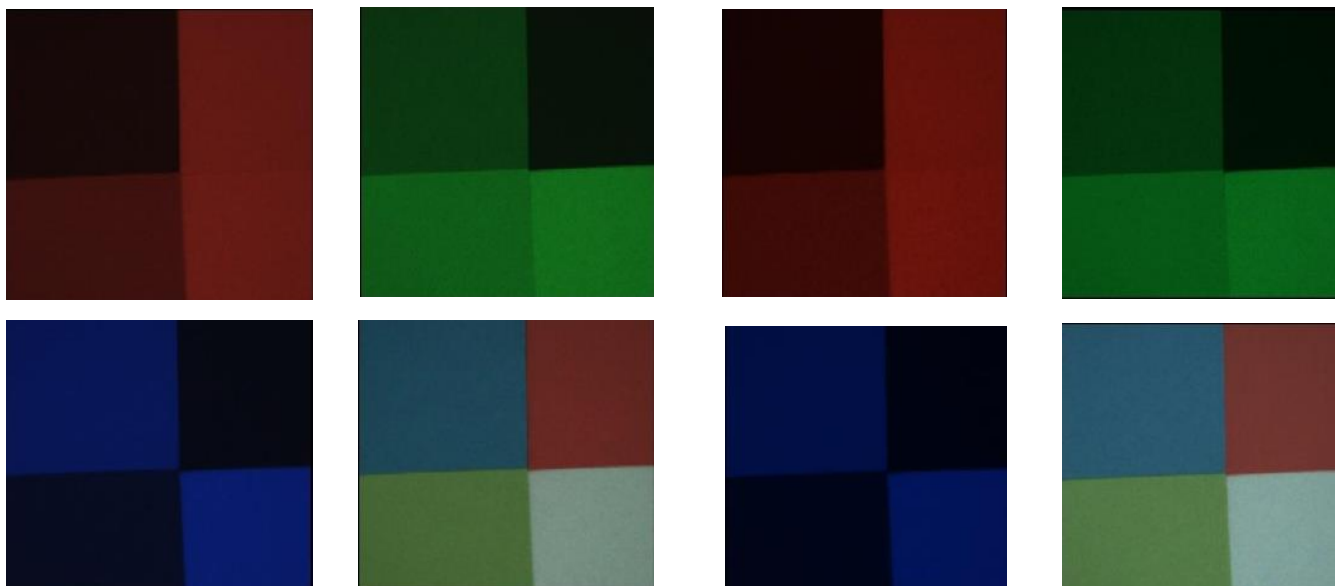
$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

EKSPERIMENTĀLĀ IEKĀRTA



KRĀSU MĒRĶU MĒRĪJUMI



Attēli, uzņemti sarkanā, zaļā
un zilā lāzera apgaismojumā

Attēli, izmantojot visu 3
lāzeru apgaismojumu un
korekciju

PIELIETOJUMS: ĀDAS HROMOFORU SADALĪJUMA KARTĒŠANA

- Bēra – Lamberta likums:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_a d}$$

- Izmantojot 3 hromoforas:

$$\begin{cases} c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_1) + c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_1) + c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_1) = -\frac{\ln\left(\frac{I_1}{I_{01}}\right)}{l_1} \\ c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_2) + c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_2) + c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_2) = -\frac{\ln\left(\frac{I_2}{I_{02}}\right)}{l_2} \\ c_a \cdot \varepsilon_a(\lambda_3) + c_b \cdot \varepsilon_b(\lambda_3) + c_c \cdot \varepsilon_c(\lambda_3) = -\frac{\ln\left(\frac{I_3}{I_{03}}\right)}{l_3} \end{cases}$$

I_0 – krītošās gaismas intensitāte

I' – cauri audiem izejošās gaismas intensitāte

l - gaismas iespiešanās dziļums

I_1 – no ādas atstarotā gaismas intensitāte

I_{refl} – no veselas ādas atstarotās gaismas intensitāte

c – koncentrācija

ε – ekstinkcijas koeficients

OH – oksihemoglobīns

DOH – deoksihemoglobīns

MEL – melanīns

PRIEKŠROCĪBA: VIENKĀRŠS ATRISINĀJUMS

$$c_a = 0.145 \cdot \ln k_3 - 0.033 \cdot \ln k_2 - 0.024 \cdot \ln k_1$$

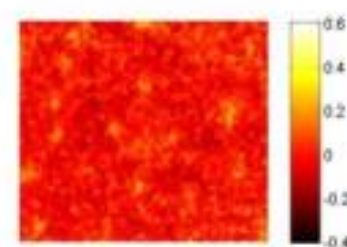
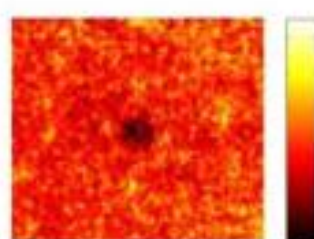
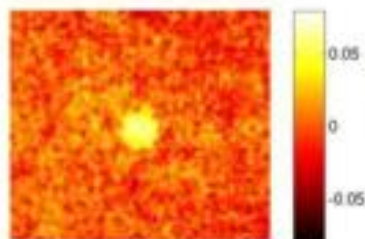
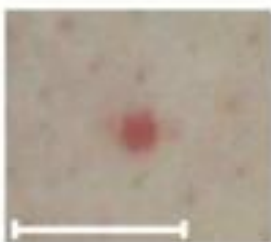
$$c_b = -0.128 \cdot \ln k_3 - 0.024 \cdot \ln k_2 + 0.057 \cdot \ln k_1$$

$$c_c = -0.738 \cdot \ln k_3 + 0.408 \cdot \ln k_2 - 0.806 \cdot \ln k_1$$

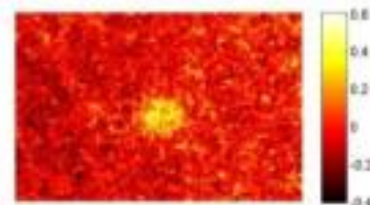
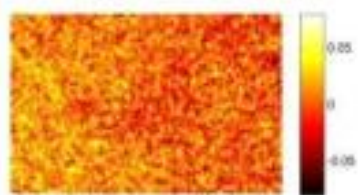
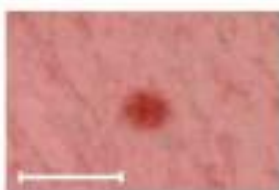
Zinot spektrālo vājinājumu $k_i = \frac{I_i}{I_{0i}}$ vērtības katrā pikselī, nonākam pie 3 hromoforu koncentrācijām attiecīgajā pikselī → konstruējam sadalījuma kartes katrai no 3 ādas hromoforām

PIEMĒRS: ĀDAS ASINSVADU VEIDOJUMS UN PIGMENTĒTS VEIDOJUMS (DZIMUMZĪME)

Asinsvadu
veidojums



Pigmentēts
veidojums



Āda

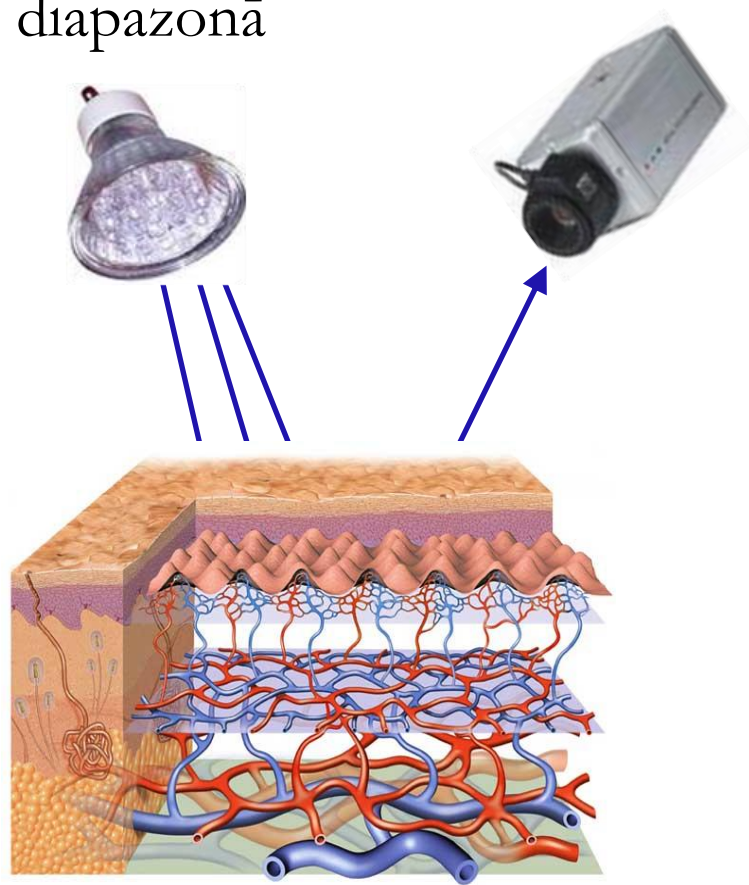
Oksihemoglobīna
karte

Deoksihemoglobīna
karte

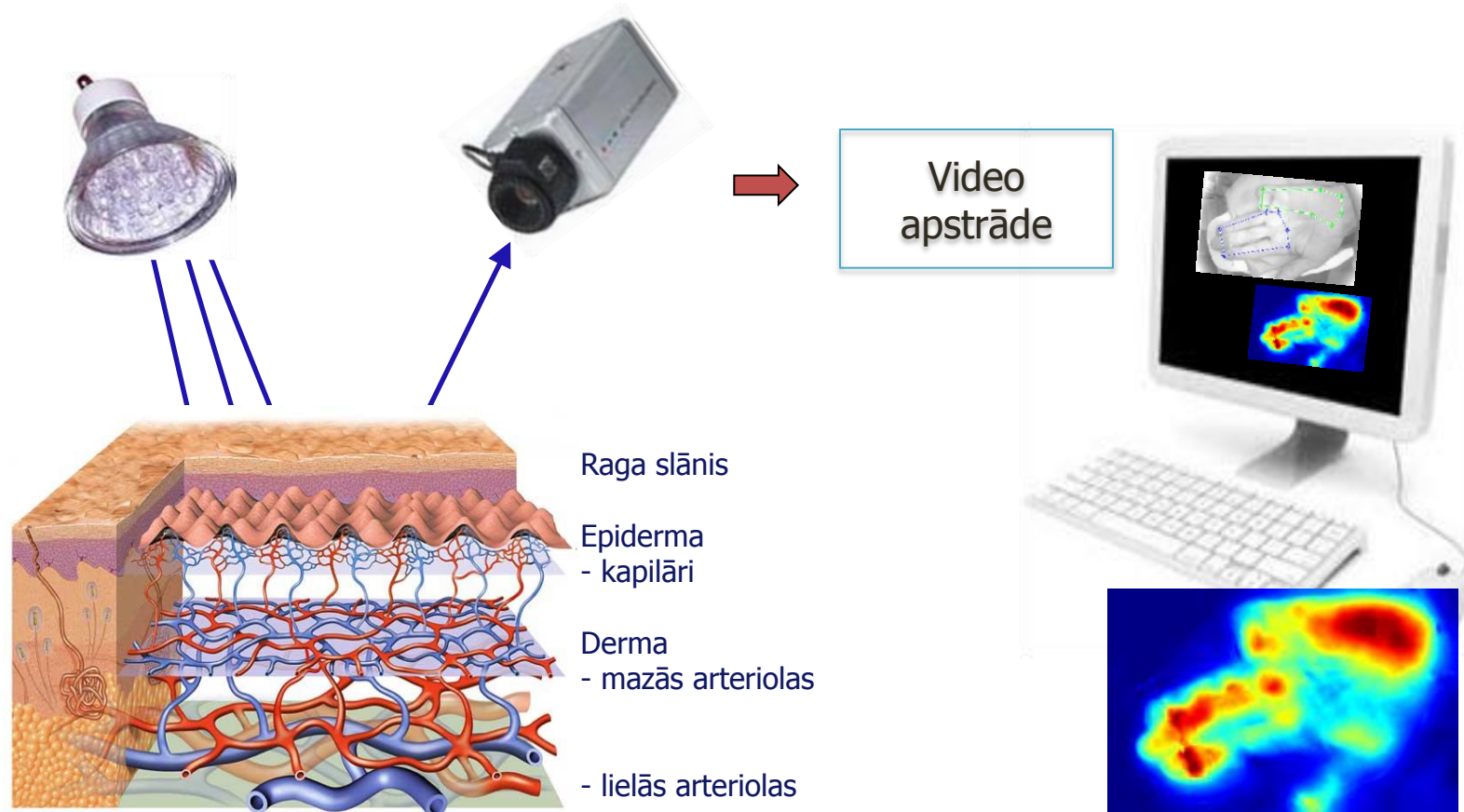
Melanīna
karte

AKTIVITĀTE A1.1b

Izstrādāta eksperimentālo mērījumu metodika sirdsdarbības un asinsrites parametru bezkontakta monitoringam tuvajā infrasarkanajā spektra diapazonā

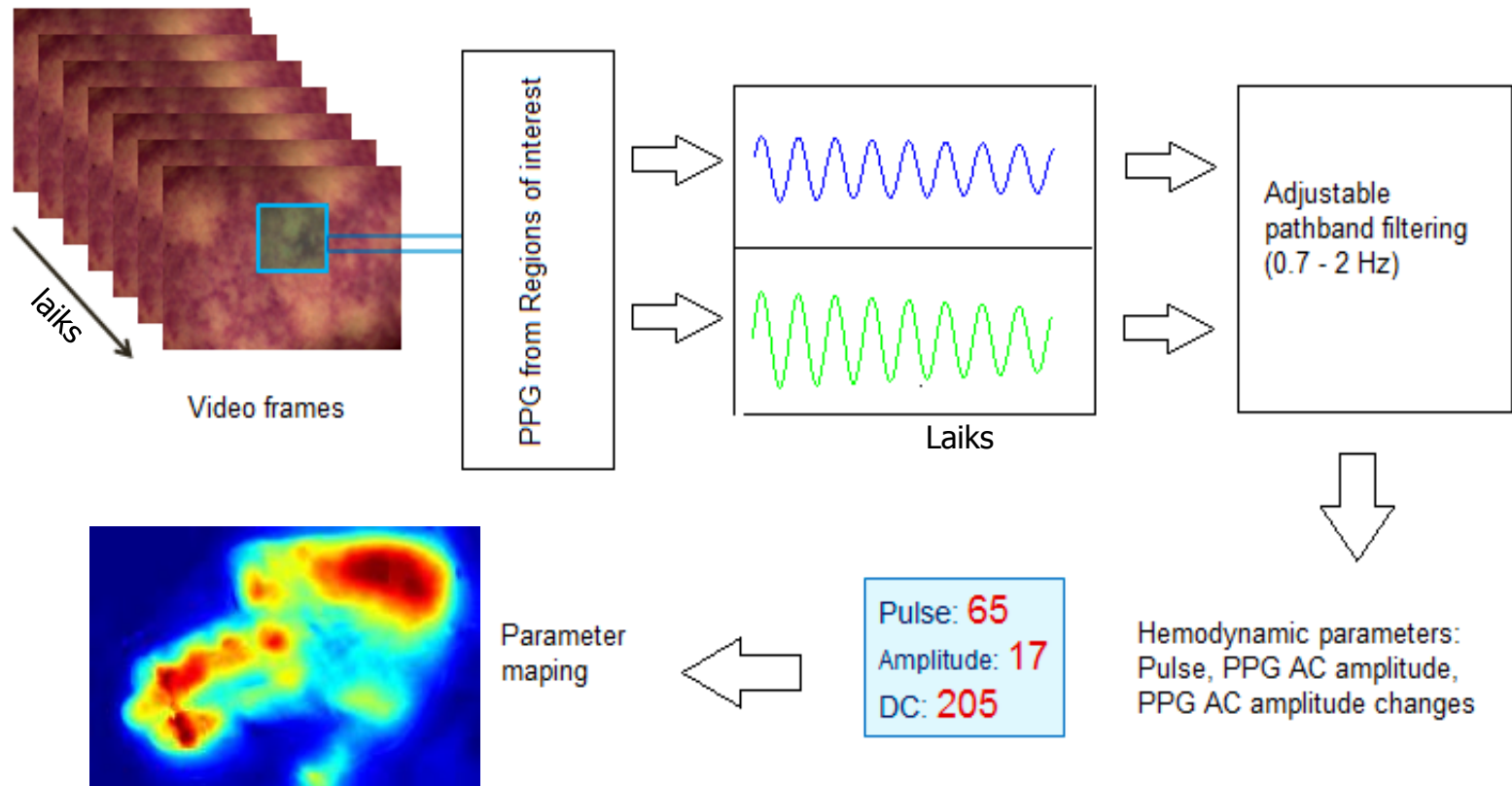


BEZKONTAKTA FOTOPLETIZMOGRĀFIJAS PRINCIPS

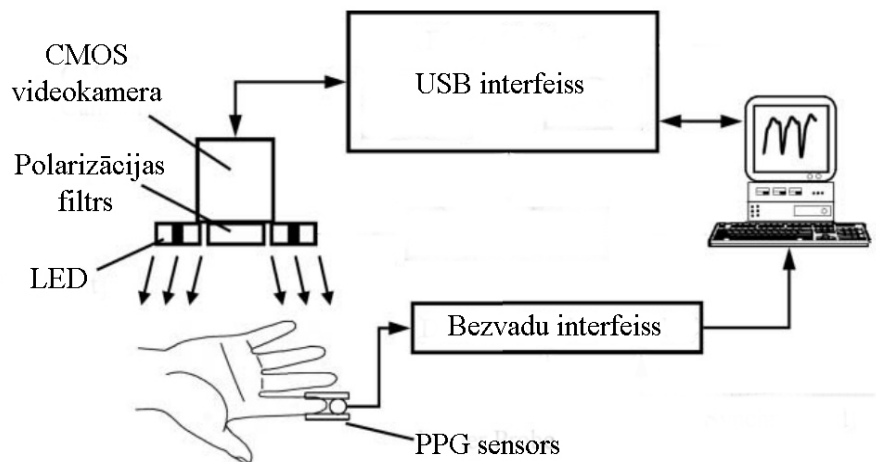


Bezkontakta fotopletizmogrāfija (bFPG) ir optiska metode audu asins tilpuma pulsāciju iegūšanai, izmantojot optisko starojumu un videokameru.

BEZKONTAKTA FOTOPLETIZMOGRĀFIJAS ALGORITMS



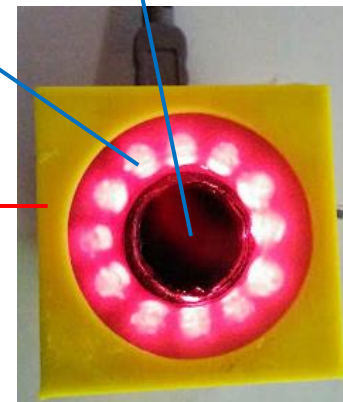
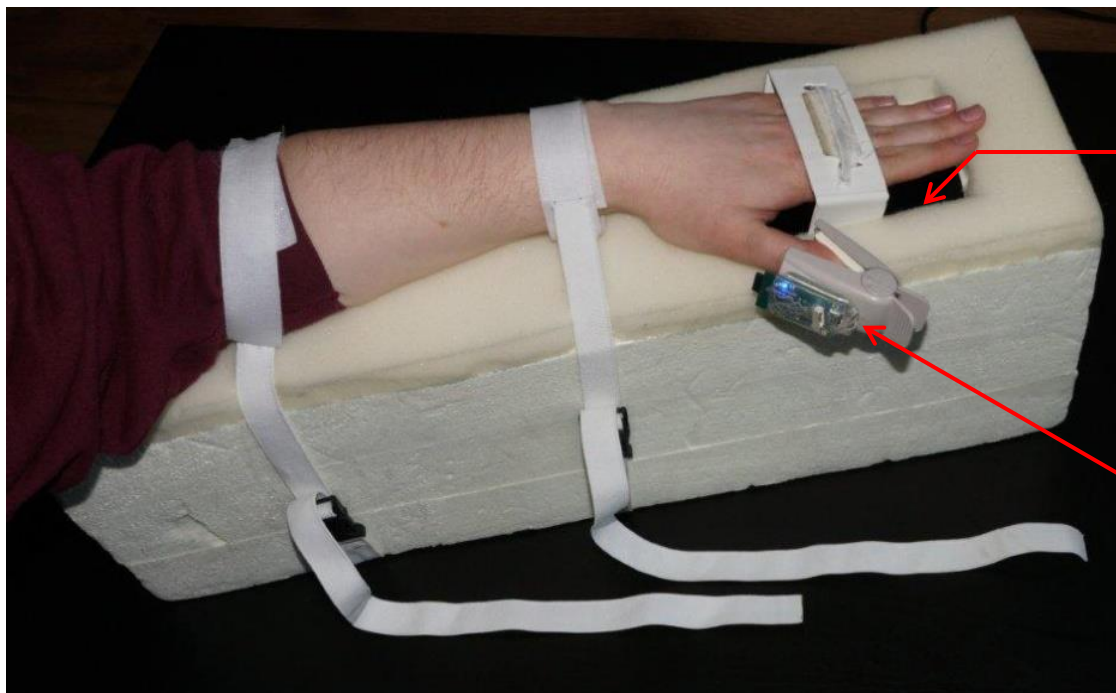
MĒRĪJUMU PROTOKOLS



Mērījums tiek veikts, sildot ādu ar fēnu vai termoforu

760nm diodes nodrošina infrasarkanā starojumu

Video kamera ādas filmēšanai (376 x 240 pikseli, 44 kadri/s)



Kontakta PPG sensors ādas asins tilpuma pulsāciju mērīšanai

MĒRĪJUMU PROTOKOLS

Eksperimentālo mērījumu veikšanai tika iesaistīti 24 veseli cilvēki vecumā līdz 30 gadiem. Tika veikta plaukstas dzesēšana (2min) un sildīšana (10 min), vienlaicīgi reģistrējot FPG un bFPG signālus.



Ledus gēls dzesēšanai



Termofors plaukstas sildīšanai



Fēns plaukstas sildīšanai

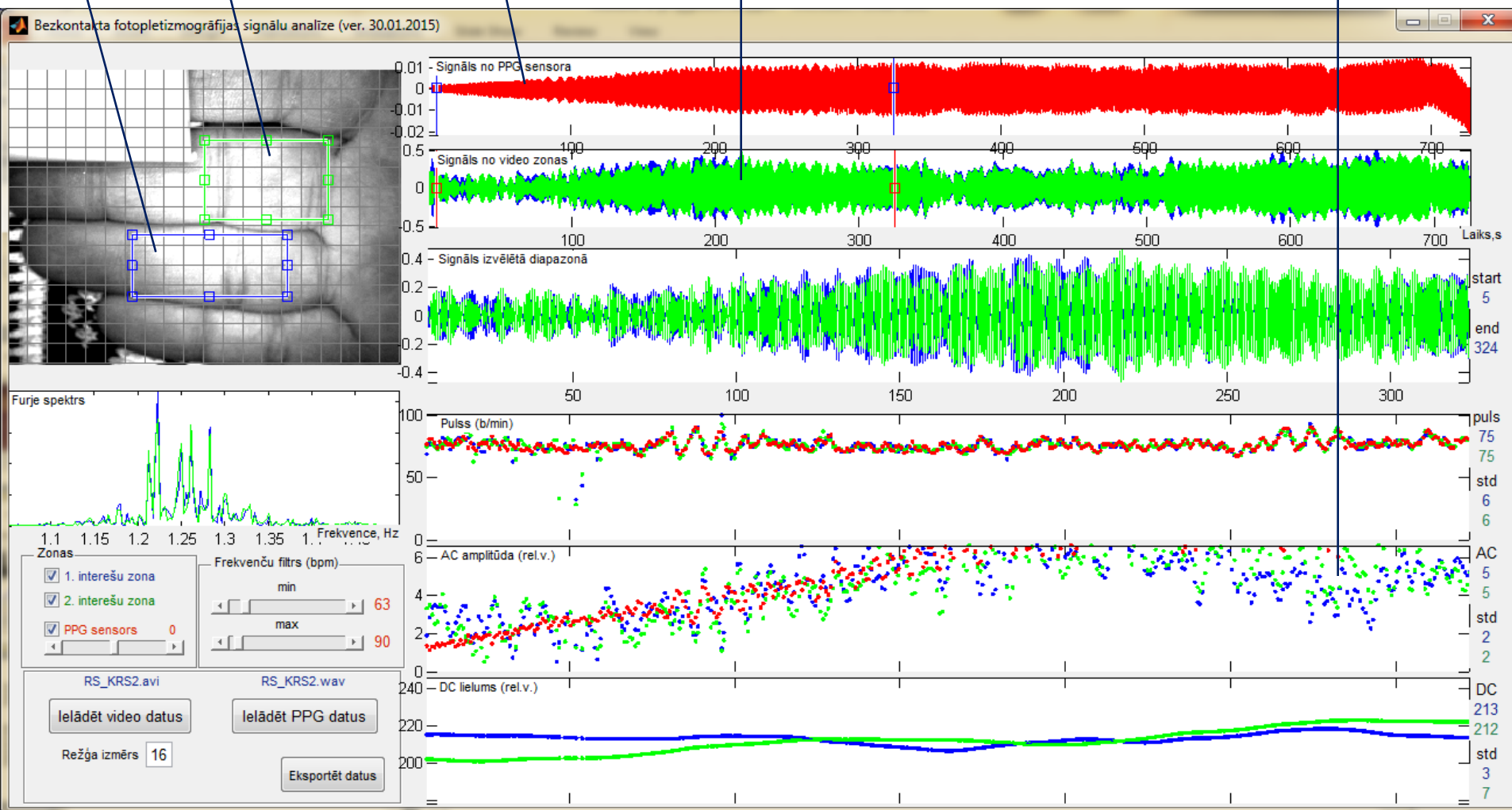
BEZKONTAKTA FPG SIGNĀLU ANALĪZE

Ādas interešu zonas

Signāls no
kontaktzondes

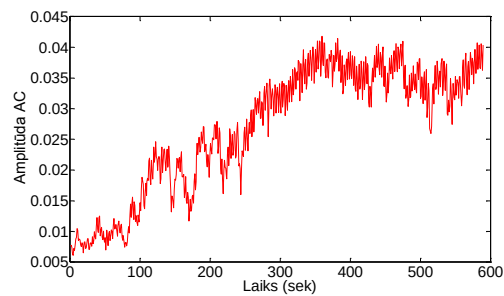
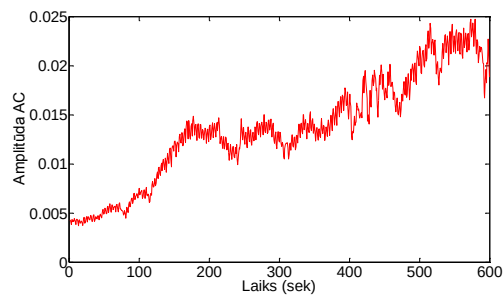
Signāls no ādas
zonas

Hemodinamiskie
parametri

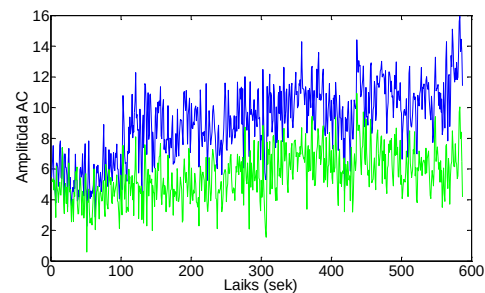
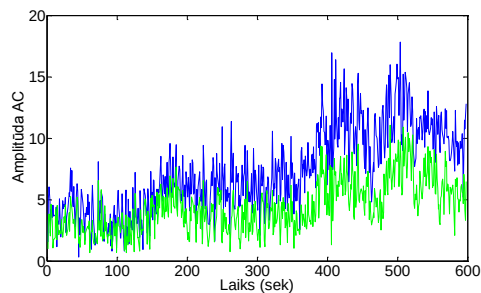


REZULTĀTI

Kontakta FPG
signāls, sildot roku

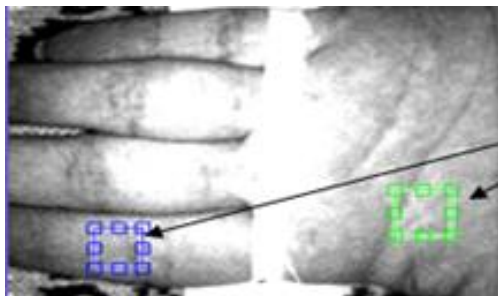


Bezkontakta FPG
signāls, sildot roku



Piemērs 1

Piemērs 2



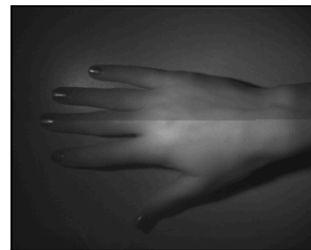
Ādas
interesu
zonas

AKTIVITĀTE A1.1c

Izveidota mēriekārta, veikti mērījumi un simulācijas ādas stāvokļa novērtējumam 900 – 1700 nm spektra diapazonā.



980 nm



1100 nm



1200 nm



1300 nm



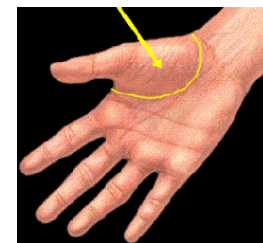
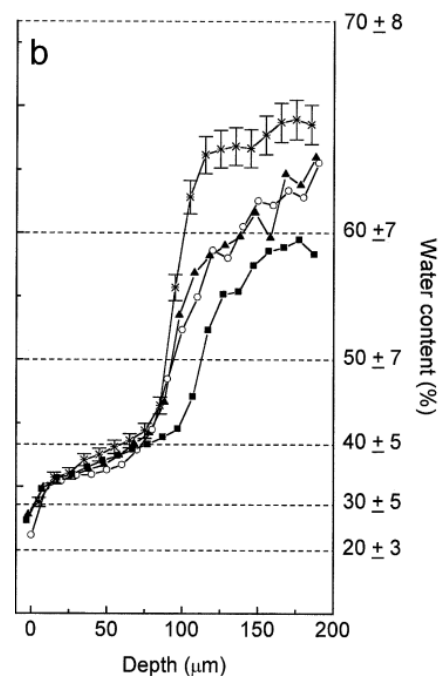
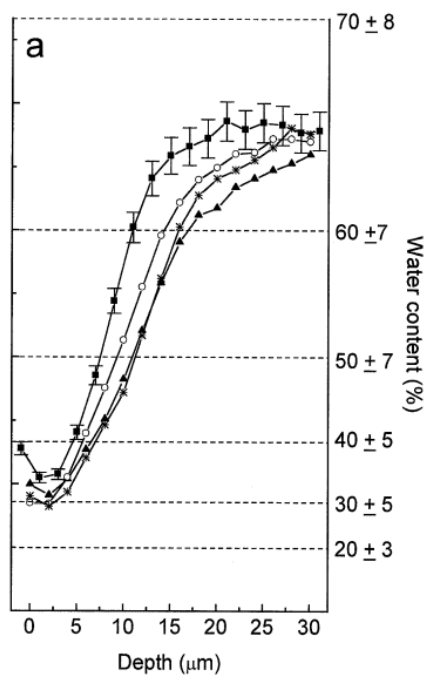
1450 nm



1600 nm

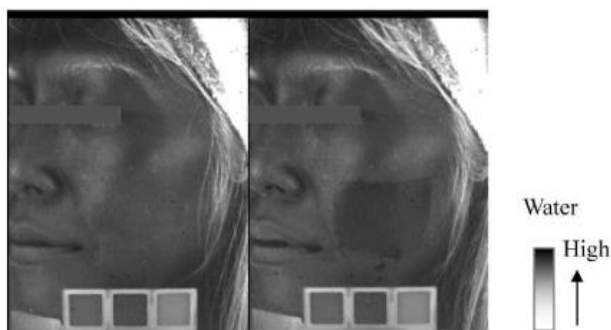
AKTUALITĀTE

- Ādas mitruma noteikšana – šobrīd esošās metodes pārsvarā balstās uz pretestības/kapacitātes izmaiņām ādā mitruma ietekmē (tiek uzskatītas par neprecīzām);
- Optisko metožu potenciāls ādas mitruma novērtējumam; joprojām neeksistē vienotas skaidras metodoloģijas un izpratnes → **izpēte optisko metožu pielietojumiem tuvajā infrasarkanajā diapazonā**

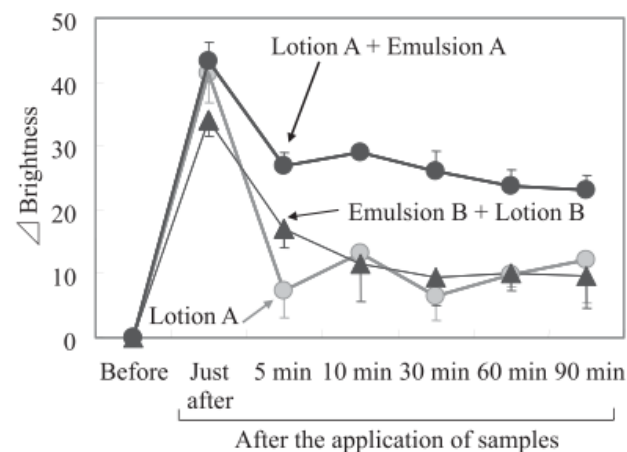


AKTUALITĀTE

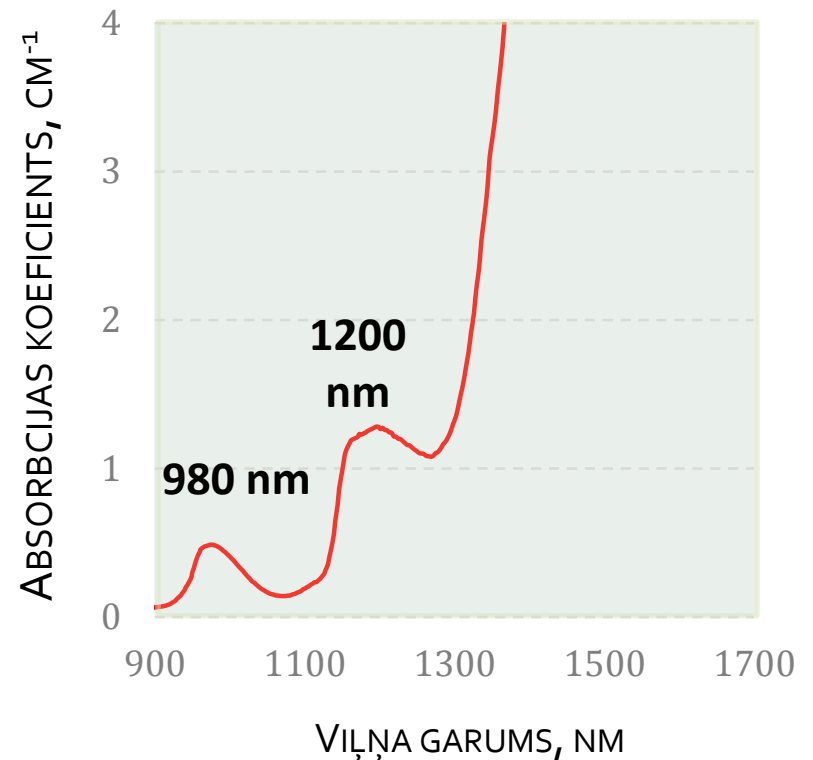
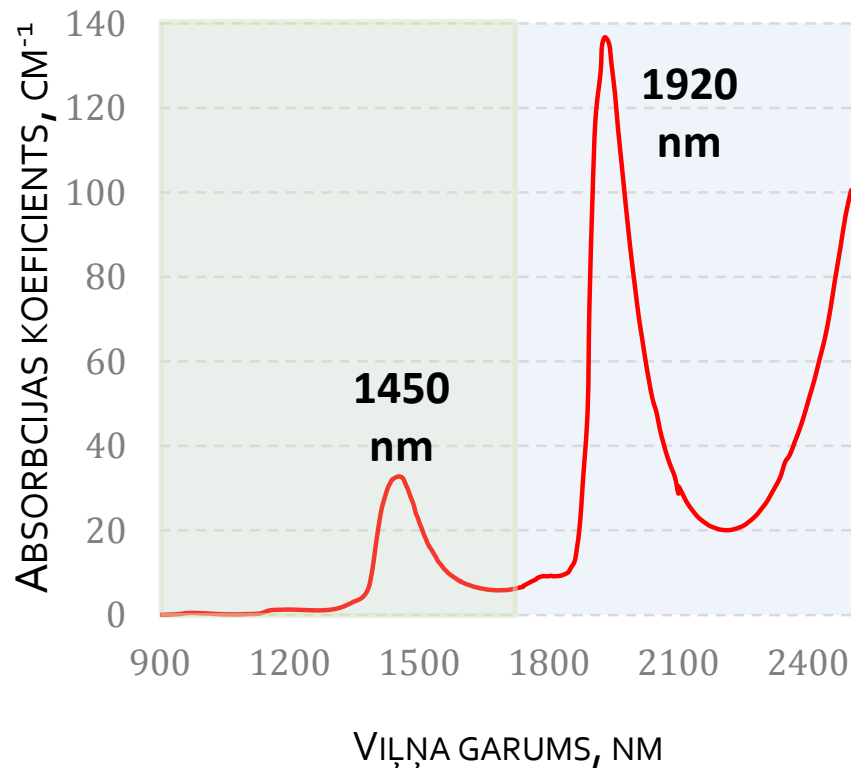
- Ādas mitruma noteikšana – šobrīd esošās metodes pārsvarā balstās uz pretestības/kapacitātes izmaiņām ādā mitruma ietekmē (tiek uzskatītas par neprecīzām);
- Optisko metožu potenciāls ādas mitruma novērtējumam; joprojām neeksistē vienotas skaidras metodoloģijas un izpratnes → **izpēte optisko metožu pielietojumiem tuvajā infrasarkanajā diapazonā**



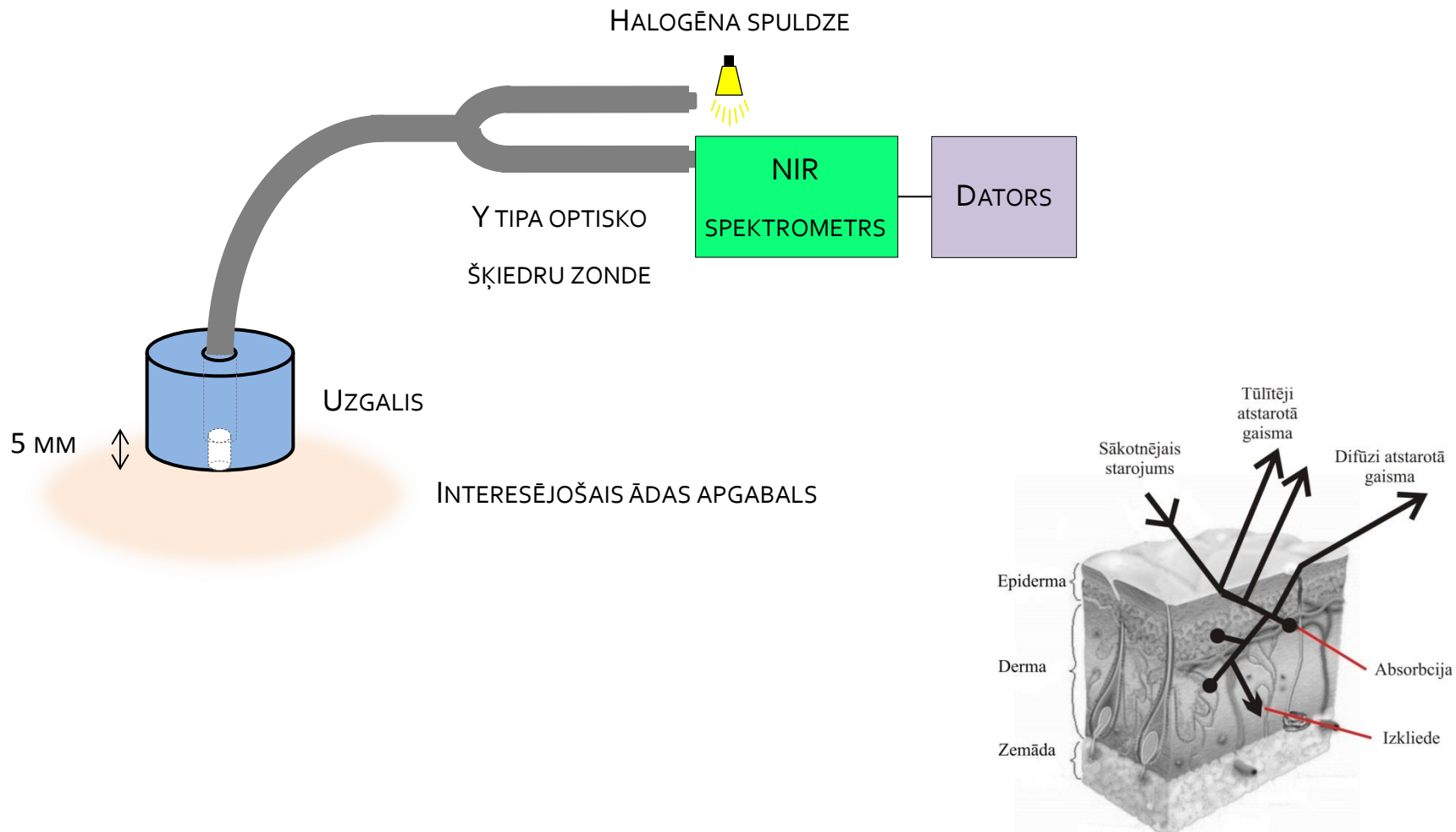
Attēli pie $\lambda = 1920 \text{ nm}$ pirms un pēc mitrinoša krēma uzklāšanas



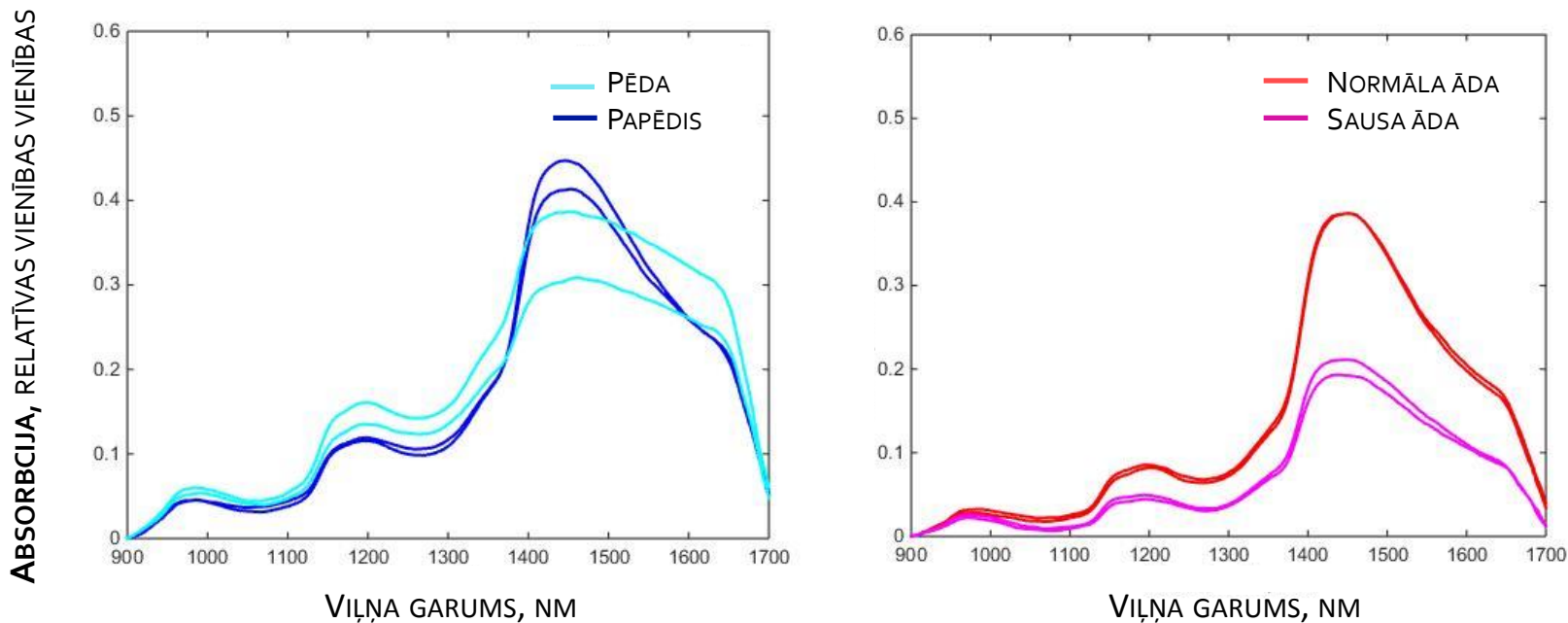
ŪDENS ABSORBCIJAS SPEKTRS



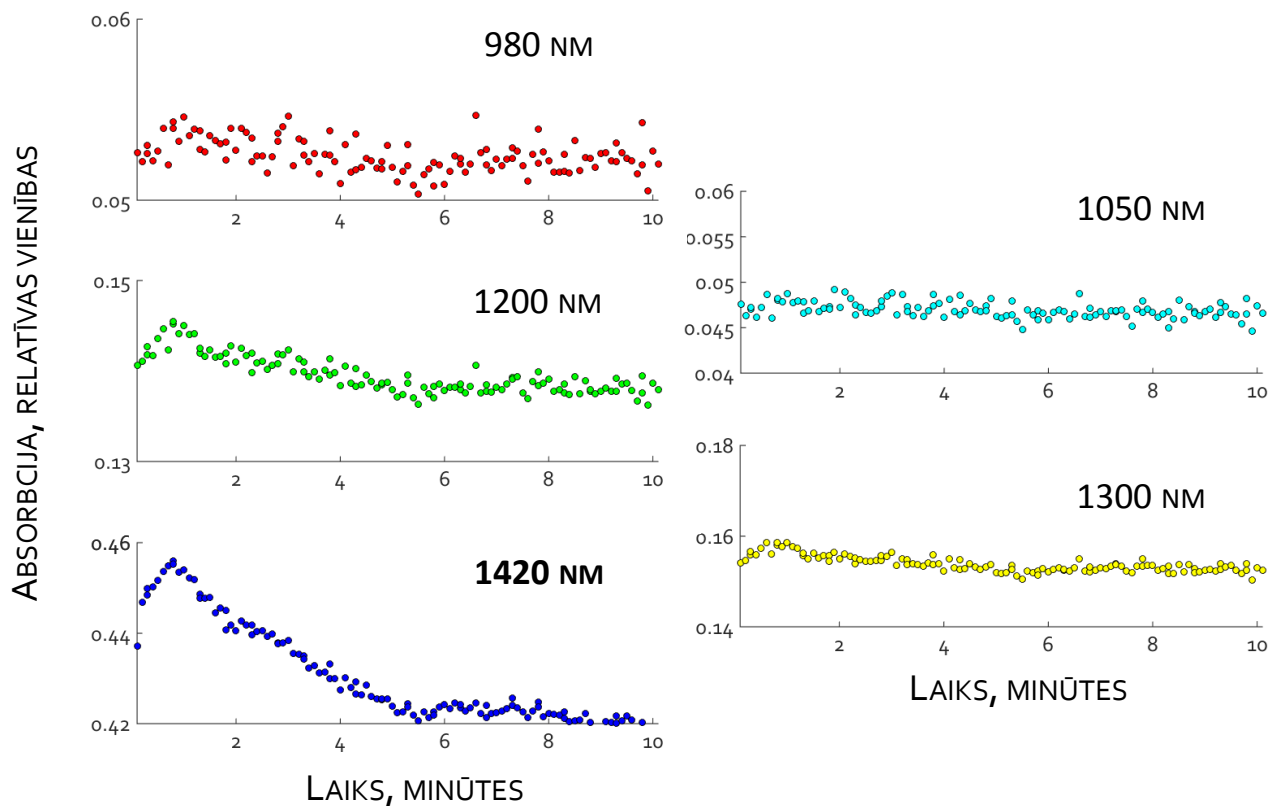
DIFŪZI ATSTAROTĀS GAISMAS SPEKTROSKOPIJA



ĀDAS ABSORBCIJAS SPEKTRU SALĪDZINĀJUMS

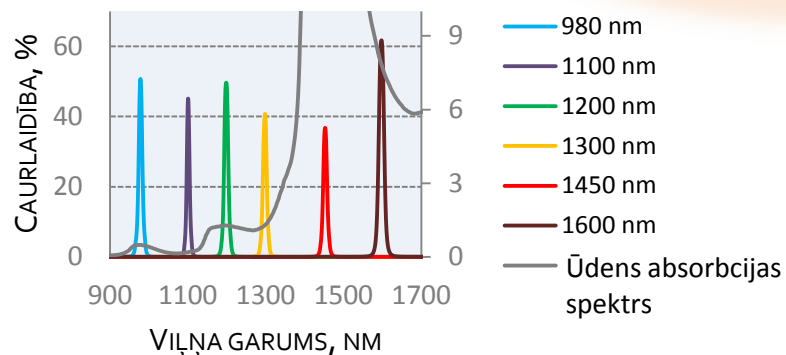
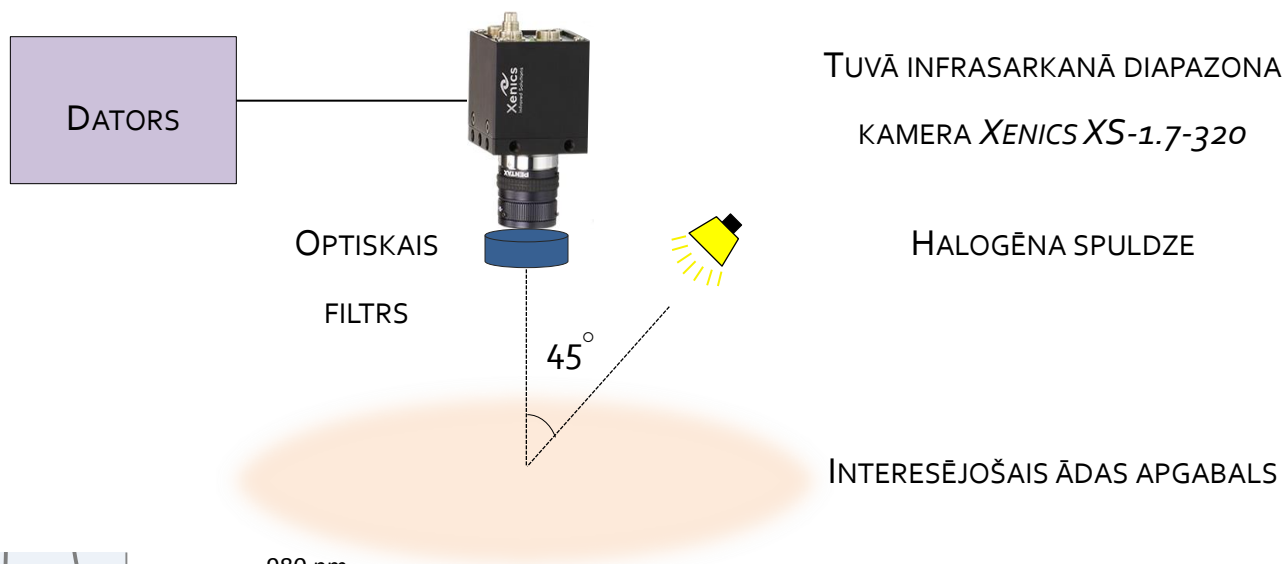


ABSORBCIJAS IZMAIŅAS LAIKĀ PĒC KRĒMA UZKLĀŠANAS



ATTĒLOŠANA

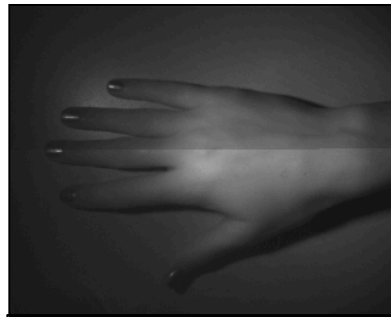
DIFŪZI ATSTAROTAJĀ GAISMĀ



DIFŪZI ATSTAROTĀS GAISMAS ATTĒLI, IZMANTOJOT DAŽĀDUS FILTRUS



980 nm



1100 nm



1200 nm



1300 nm

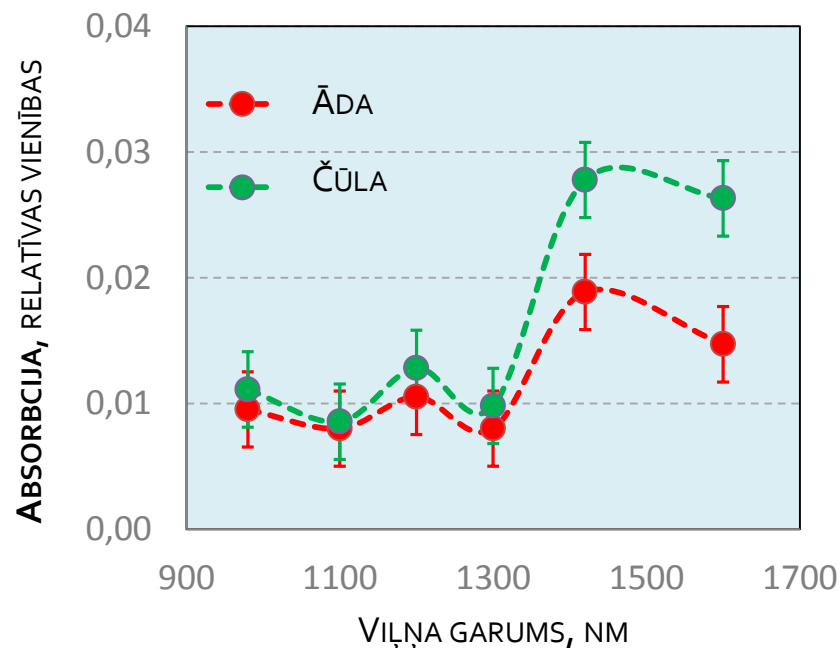
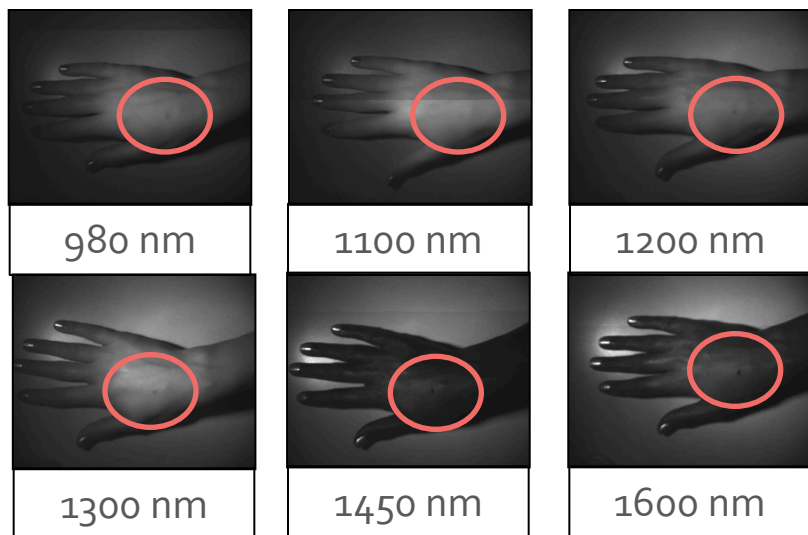


1450 nm



1600 nm

DIFŪZI ATSTAROTĀS GAISMAS ATTĒLI, IZMANTOJOT DAŽĀDUS FILTRUS



MONTOKARLO SIMULĀCIJAS

- $d_1 = 0,1mm; d_2 = 1,1mm;$
- $n_1 = 1,52 ; n_2 = 1,4;$
- $g_1 = 0,85 ; g_2 = 0,9;$
- $C_1 = 60\% ; C_2 = 65\%;$
- $k_1 = 0,16 ; k_2 = 0,04;$
- $p_1 = 0,1 ; p_2 = 0,08.$

$$d_1 = 0,1mm$$

$$d_2 = 1,1mm$$



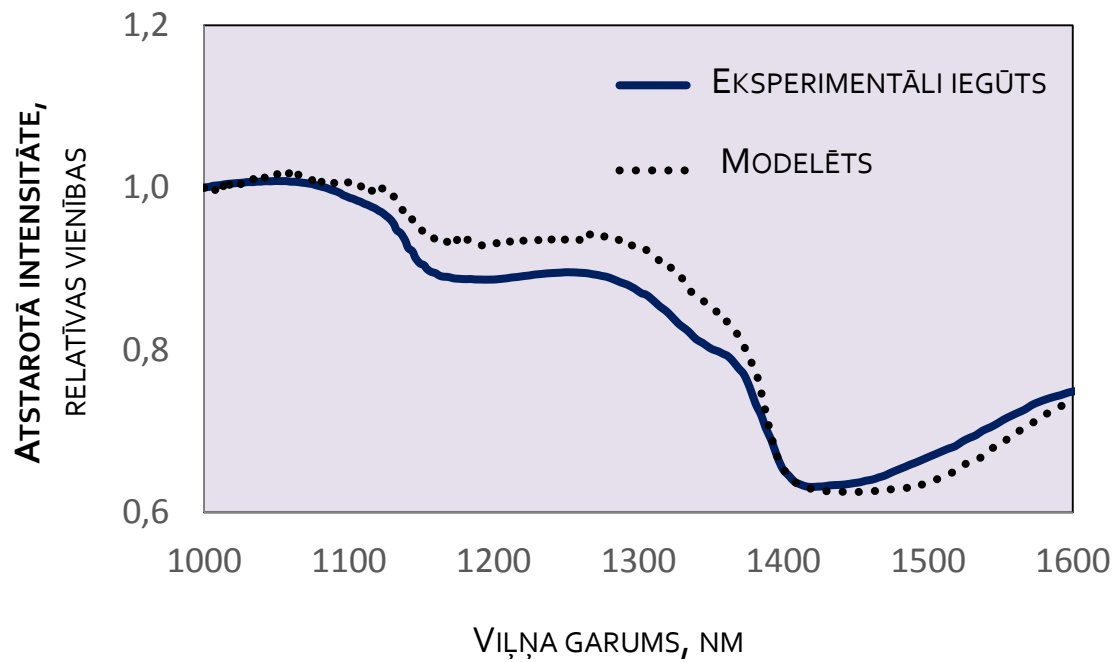
$$\mu_a(\lambda) = ((0.1 - 0.3 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda) + 0.125 \cdot \mu_a^0(\lambda))(1 - C_{H_2O}) + C_{H_2O} \cdot \mu_a^{H_2O}(\lambda)$$



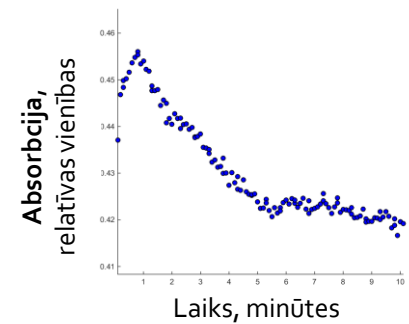
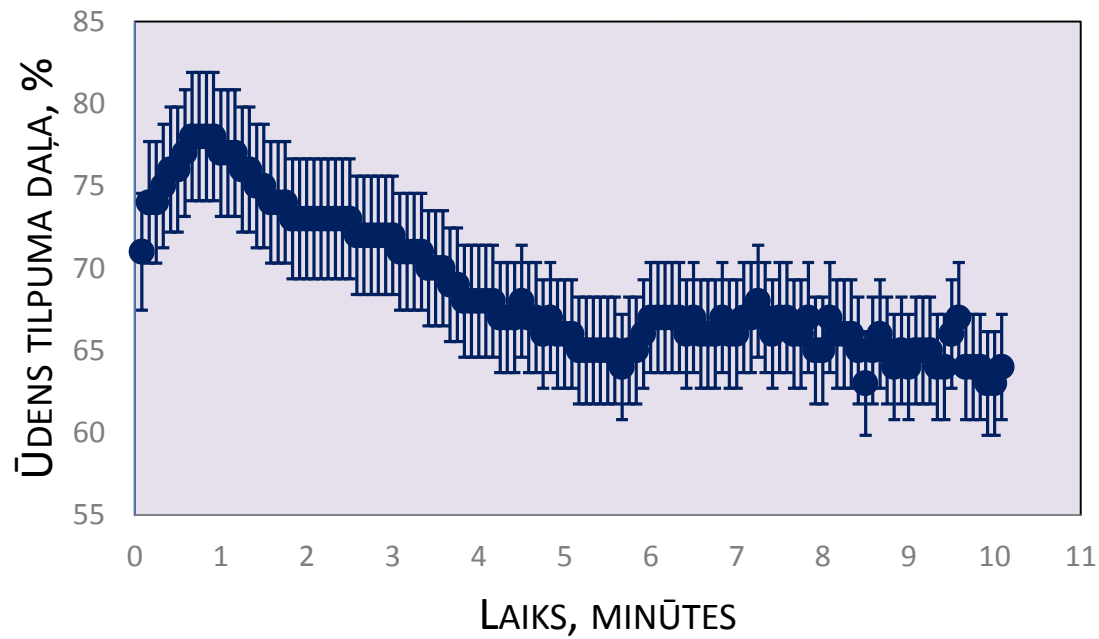
$$\mu_a^0(\lambda) = 7.84 \cdot 10^7 \cdot \lambda^{-3.255}$$

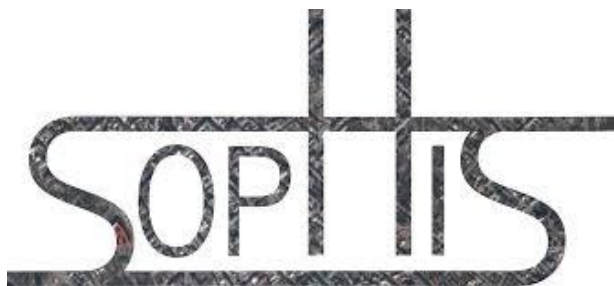
$$\mu_s(\lambda) = p + k \cdot 2 \cdot 10^{12} \cdot \lambda^{-4}$$

MONTESKARLO SIMULĀCIJAS



MONTESKARLO SIMULĀCIJAS





Izglītības un zinātnes
ministrija