



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Lukas Juočas**

**VIENTISO RYŠKUMO VAIZDO ALGORITMO SUKŪRIMAS IR**  
**TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. Vidas Raudonis

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS  
AUTOMATIKOS KATEDRA**

**VIENTISO RYŠKUMO VAIZDO ALGORITMO SUKŪRIMAS IR  
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Valdymo technologijos (kodas 621H66001)**

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Vidas Raudonis  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Virginijus Baranauskas  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Lukas Juočas  
(data)

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

LUKAS JUOČAS

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „VIENTISO RYŠKUMO VAIZDO ALGORITMO KŪRIMAS IR  
TYRIMAS“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 . birželio 6 .  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano Luko Juočo baigiamasis projektas tema „Vientiso ryškumo vaizdo algoritmo sukūrimas ir tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Juočas Lukas. Vientiso ryškumo vaizdo algoritmo sukūrimas ir tyrimas. Valdymo sistemų magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vidas Raudonis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: Ryškus vaizdas, vaizdo fokusavimas, matematiniai metodai, nuotraukų sujungimas, Laplaso piramidė, ryškumo gylis.

Kaunas, 2017. 56 p.

## **SANTRAUKA**

Šiame baigiamajame magistro darbe, sukuriamas algoritmas nuotraukų sujungimui, norint praplėsti ryškumo zoną nuotraukoje. Iš 28 matematinių metodų atrinkti 8, parodę geriausią tikslumą vertinant informacijos kiekį nuotraukoje. Naudojant šiuos metodus nuotraukose buvo identifikuoti regionai, kuriuose yra daugiausia informacijos, šie regionai apjungti į vieną nuotrauką naudojant Laplaso piramides. Buvo įvertinta gautų nuotraukų kokybė ir nustatytas tinkamiausias matematinis metodas identifikuojant nuotraukos regionų kokybę.



Juočas, Lukas. Research and Development of Algorithm of Solid Image Resolution : Control systems master's thesis in Control Technologies / supervisor assoc. prof. Vidas Raudonis. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: depth of field, focal plane, stacking, Laplace pyramid, merging, mathematical method.

Kaunas, 2017. 56 p.

## **SUMMARY**

In this final master work was developed algorithm for focal plane stacking, to increase depth of field in photo. From 28 mathematical methods was chosen 8, which showed best performance in information detection in photos. These methods was used to detect focal plane in photos. For focal plane stacking was used Laplace pyramid. Was measured quality of results, using mathematical methods. Was set the most appropriate method for detecting focal plane.

## Turinys

Įvadas .....	11
1. Ryškaus vaizdo paieškos metodų apžvalga.....	12
1.1. Aktyvūs ryškaus vaizdo paieškos metodai .....	12
1.2. Pasyvūs ryškaus vaizdo paieškos metodai .....	12
2. Metodologija .....	15
2.1. Matematiniai detalaus vaizdo indentifikavimo metodai.....	15
2.2. Nuotraukų sujungimo algoritmai.....	20
2.2.1. Laplaso piramidžių transformacijos principai.....	21
2.2.2. Gauso piramidžių sudarymas .....	21
2.2.3. Laplaso piramidžių sudarymas.....	21
2.2.4. Nuotraukos rekonstrukcija iš Laplaso piramidės .....	22
2.2.5. Laplaso piramidžių sujungimas .....	23
3. Tyrimas ir algoritmo sukūrimas .....	24
3.1. Matematinį metodų taikymas identifikuojant nuotraukos kokybę .....	24
3.1.1. Bandymų imties sudarymas .....	24
3.1.2. Skaičiavimo algoritmai .....	25
3.1.3. Rezultatai.....	27
3.2. Vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimas .....	32
3.2.1. Vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimas, perkeliant detalų regioną į kuriama nuotrauką.....	32
3.2.2. Vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimas naudojant Laplaso piramides.....	34
3.2.3. Rezultatai.....	35
3.3. Vientiso ryškumo nuotraukų kokybės vertinimas .....	40
Išvados ir rezultatai .....	42
Literatūros sąrašas .....	43
Priedai .....	45
Nuotraukų rinkiniai .....	45
Indeksų žemėlapiai.....	51



## Lentelių sąrašas

Lentelė 3.1 Pseudokodas skirtas nuotraukų rinkinių įvertinimui matematiniais detalaus vaizdo identifikavimo metodais.....	26
Lentelė 3.2 Pseudokodas skirtas filmuotos medžiagos įvertinimui matematiniais detalaus vaizdo identifikavimo metodais.....	26
Lentelė 3.3 Pseudo kodas skirtas filmuotos medžiagos rezultatų įvertinimui .....	26
Lentelė 3.4 Matematinų metodų įvertinimai, teisingai nustatant detaliausią vaizdą. Lentelėje suvesti įvertinimai už teisingai nustatytą ryškų vaizdą. Kiekvienas metodas įvertintas procentais, koku tikslumu jis jį nustato ir kiek laiko tam užtruko. ....	31
Lentelė 3.5 Pseudo kodas vientiso ryškumo nuotraukai, perkeliant detaliausius regionus, sukurti .....	33
Lentelė 3.6 Pseudo kodas vientiso ryškumo nuotraukai, naudojant Laplaso piramides, sukurti.	35
Lentelė 3.7 lentelė. Pateikti rezultatai, analizuojant matematinis metodus naudotus kuriant vientiso ryškumo nuotraukas.....	40

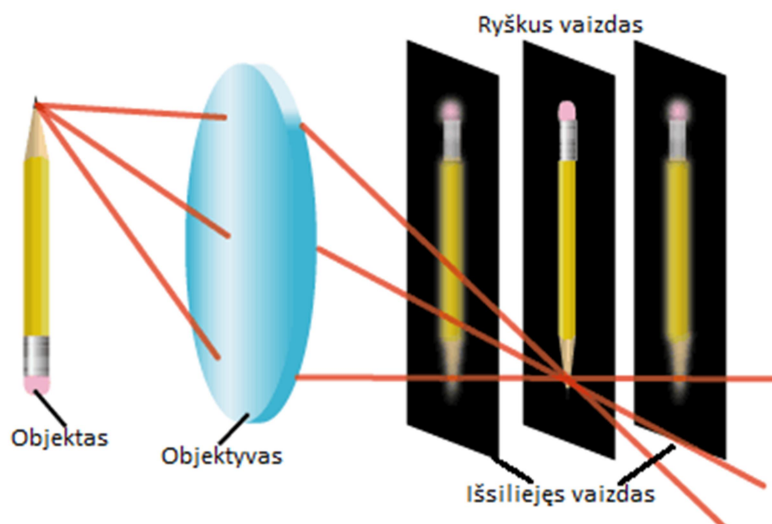
## Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Vaizdo fokusavimas [1].....	11
1.1 pav. Fazinis fokusavimas.(1) vaizdas sufokusuojamas prieš jutiklį, (2) sufokusuojamas teisingai, (3) sufokusuojamas už jutiklio, (4) sufokusuojamas toli už jutiklio. [3].....	13
2.1 pav. Laplaso piramidės sudarymas. ....	22
2.2 pav. Laplaso piramidės rekonstrukcijos schema.....	23
2.3 pav. Piramidžių sujungimas, vertinant regionus. Lyginami A ir B regionai, regiono turinčio didesnę informacijos kiekį centrinis pikselis priskiriamas generuojamai piramidei. ....	23
3.1 pav. 13-os nuotraukų 11-tas rinkinys .....	24
3.2 pav. Vid-4 filmuotos medžiagos iškarpos.....	25
3.3 pav. Nuotraukų rinkinio 1 fokuso įvertinimo reikšmės analizuojant energijos gradiento metodu. Normalizuota metodo reikšmė - m.....	28
3.4 pav. Ketvirtos filmuotos medžiagos fokuso įvertinimo reikšmės analizuojant nespaltoto vaizdo normalizuota variacija. Normalizuota metodo reikšmė - m. ....	29
3.5 pav. Ketvirtą filmuotą medžiagą analizuojant nespaltoto vaizdo normalizuota variacija, buvo atrinkti šie sufokusuoti kadrai: A-35 kadras, B-34 kadras(sulietas), C-35kadras(su triukšmu) .....	29
3.6 pav. Metodų greitaveika. Metodai: 1.ACMO, 2.BREN, 3.CONT, 4.CURV, 5.DCTE, 6.DCTR, 7.GDER, 8.GLVA, 9.GLLV, 10.GLVN, 11.GRAE, 12.GRAT, 13.GRAS, 14.HELM, 15.HISE, 16.HISR, 17.LAPE, 18.LAPM, 19.LAPV, 20.LAPD, 21.SFIL, 22.SFRQ, 23.TENG, 24.TENV, 25.VOLA, 26.....	30
3.7pav. 4-tas nuotraukų rinkinys.....	32
3.8 pav. Vientiso ryškumo nuotrauka, perkeliama detalų regioną į kurią nuotrauką. ....	34
3.9 pav. Indeksų žemėlapis sugeneruotas iš 4 nuotraukų rinkinio. Sugeneruoti naudojant šiuos matematinius metodus:1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.....	36
3.10 pav. Sugeneruota vientiso ryškumo nuotrauka, remiantis TENG matematiniu metodu.....	36
3.11 pav. 1 nuotraukų rinkinys.....	37
3.12 pav. Indeksų žemėlapis sugeneruotas iš 1 nuotraukų rinkinio. Sugeneruoti naudojant šiuos matematinius metodus:1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.....	37
3.13 Sugeneruota vientiso ryškumo nuotrauka, remiantis SFIL matematiniu metodu.....	38
3.14 pav. 7 nuotraukų rinkinys.....	38

3.15 pav. Indeksų žemėlapis sugeneruotas iš 7 nuotraukų rinkinio. Sugeneruoti naudojant šiuos matematinis metodus:1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.....	39
3.16 pav. Sugeneruota vientiso ryškumo nuotrauka, remiantis CURV matematiniu metodu. ...	39
3.17 pav. Pateikti rezultatai, analizuojant matematinis metodus naudotus kuriant vientiso ryškumo nuotraukas 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.....	40
3.18 pav. Metodų greitaveika. 1-BREN (7,5 min), 2-CURV (101 min), 3-GDER (72 min), 4-GLLV (60 min), 5-SFIL(79 min), 6-TENG (63 min), 7-TENV (52 min), 8-VOLA (12 min)....	41

## Įvadas

Šiais laikais naudojamas platus spektras vaizdą įrašančių jutiklių, kurie naudojami įvairiose srityse, tokiose kaip: karyba, medicina, pramonė. Jų pagrindinė paskirtis palengvinti esamas užduotis, didinti paslaugų ar gaminių kokybę, našumą, sumažinti klaidų tikimybę. Galimos priežastys, kodėl gaminyje ar paslaugos gali būti nekokybiškos, tai darbuotojo nuovargis, išsiblaškymas, maža kvalifikacija. Siekiant užtikrinti kokybę, darbo vietose, reikalaujančiose didelio dėmesingumo, galimas sprendimas: naudoti vaizdų atpažinimo sistemas. Nes skirtingai nei žmogaus, šių sistemų naudingumas bėgant laikui išlieka pastovus ir jos gali apdoroti didesnę informacijos kiekį. Bet norint, kad jos veiktų korektiškai reikia užtikrinti kokybišką, tinkamai apšviestą ir detalų vaizdą. Jeigu kamera fiksuoja konvejeriu važiuojančius gaminius, užtikrinti detalų vaizdą nesudėtinga, užtenka sistemos diegimo metu tinkamai sufokusuoti objektyvą, nes aplinkos parametrai nesikeičia, atstumas iki gaminių išlieka pastovus. Bet sistemoje naudojant objektyvus skirtus mikroskopijai, ryškumo zonos gali nepakakti aprėpti visą stebimą objektą, dėl šių objektyvų optinės sandaros ryškumo zona, priklausomai nuo didinimo, gali svyruoti nuo milimetro iki kelių mikronų. Todėl norint praplėsti ryškumo zoną, reikia nuotraukų, kuriose ryški būtų vis kita dominančio objekto vieta. Jas tarpusavyje apjungus gaunamas ištisinės ryškumo zonos kadras. Vaizdą fiksuojant kamera, ryškus vaizdas gaunamas, kai jis objektyvu sufokusuojamas ant vaizdą įrašančio jutiklio (žr. 1 pav).



1 pav. Vaizdo fokusavimas [1].

Sufokusavus vaizdą prieš jutiklį ar už jutiklio, jis gaunamas neryškus, išsiliejęs. Todėl yra naudojami skirtingi metodai, kurie identifikuoja ar vaizdas tinkamai sufokusuotas.

## 1. Ryškaus vaizdo paieškos metodų apžvalga

Ryškaus vaizdo paieškos metodai yra išskiriami į dvi grupes: aktyvius ir pasyvius metodus.

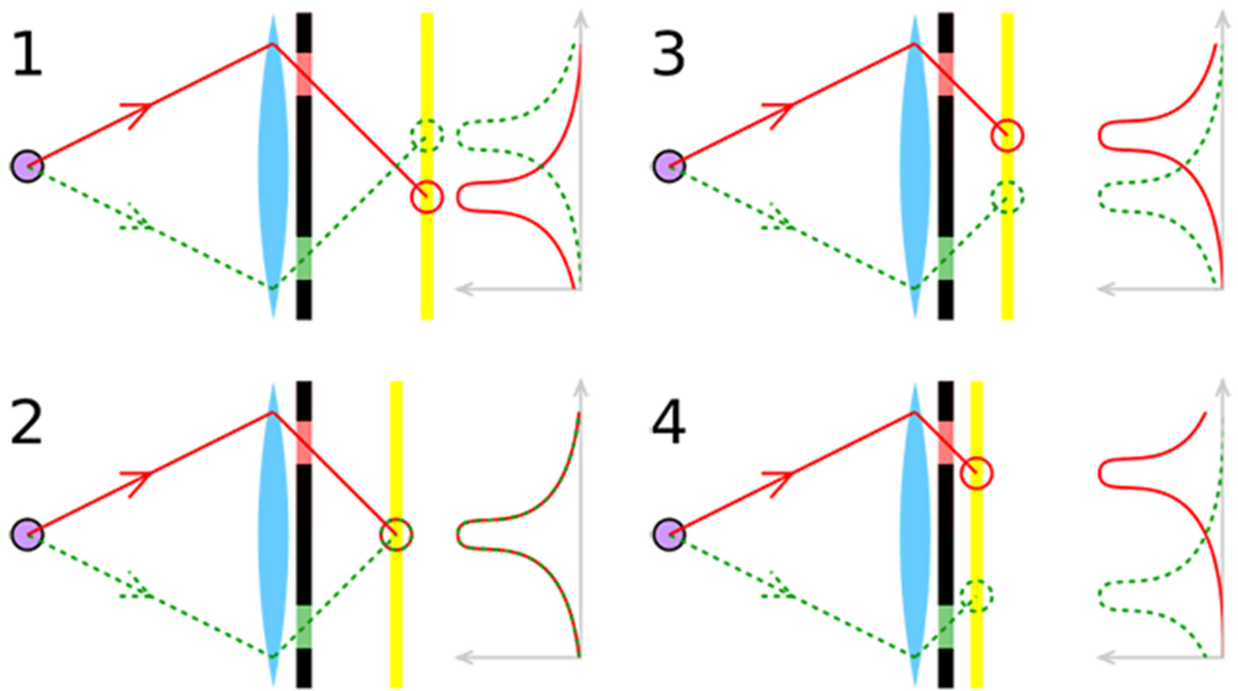
### 1.1. Aktyvūs ryškaus vaizdo paieškos metodai

Aktyvus fokusavimas, tai kai matuojamas atstumas nuo kameros iki fiksuojamo objekto ir pagal atstumą sufokusuojamas vaizdas. Atstumo matavimui naudojamas ultragarso arba infraraudonosios šviesos signalas, kuris išsiunčiamas fiksuojamo objekto link ir skaičiuojama per kiek laiko jis sugrįš atsispindėjęs nuo objekto. Pagal sugaištą laiką apskaičiuojamas atstumas. Šiomis dienomis tai retai sutinkama technologija, dažniau naudojamas pasyvus fokusavimas [2].

### 1.2. Pasyvūs ryškaus vaizdo paieškos metodai

Pasyvus fokusavimas, kai gaunamą vaizdą analizuojame ir pagal tai nustatome jo kokybę. Vaizdo kokybės analizavimui naudojamas pagrindinis kameros jutiklis, kuriuo įrašomą vaizdą analizuojame matematiniais metodais ir pagal tai nustatome kurioje vietoje yra sufokusuotas vaizdas. Arba naudojami papildomi jutikliai faziniam fokusavimui. Iš pagrindinio šviesos srauto į kameros jutiklį atskiriama dalis šviesos ir nukreipiama į fazinio fokusavimo jutiklių porą. Šie jutikliai – nedidelės šviesai jautrios vienmatės matricos. Prieš jutiklį nedideliu atstumu įrengtas mikrolēšis, kuris fokusuojamą vaizdą ant jutiklio praleidžia tik viename taške. Jutiklių poroje šviesa praleidžiama priešingose lęšio pusėse. Kaip matome 1.1 pav. lygindami jutiklių poros sufokusuoto vaizdo vietą galime nustatyti ne tik sufokusavimo faktą, bet ir kokia kryptimi einant galima pasiekti fokusą [3]. Bet jų pagalba vaizdas gali būti fokusuojamas tik į tas vietas, kuriose yra išdėstyti šie jutikliai.





1.1 pav. Fazinis fokusavimas.(1) vaizdas sufokusuojamas prieš jutiklį, (2) sufokusuojamas teisingai, (3) sufokusuojamas už jutiklio, (4) sufokusuojamas toli už jutiklio. [3].

Kuriant algoritmą šios ryškaus vaizdo detektavimo technologijos yra netinkamos:

- aktyvios fokusavimo technologijos, nes smarkiai priklauso nuo supančios aplinkos, gali būti problematiška sufokusuoti vaizdą į nedidelį objektą, neišsaugoma informacija apie ryškius regionus nuotraukoje.
- pasyvaus fokusavimo su faziniais jutikliais, skaidoma šviesa sumažins jos srautą į pagrindinį jutiklį, dėl ko reikės naudoti didesnę stiprinimą fiksuojant vaizdą, bus gaunami triukšmai. Sudėtinga konstrukcija. Neišsaugoma informacija apie ryškius regionus nuotraukoje.

Todėl turėtų būti naudojami matematiniai metodai nustatyti ryškiam vaizdui.

Yi Yao darbe „Evaluation of Sharpness Measures and Search Algorithms for the Auto-Focusing of High Magnification Images“ pateikiamas matematinų ryškaus vaizdo indentifikavimo metodų bandymas, kuris buvo atliktas šiais didelio artinimo įrenginiais: 3x didinanti kamera Canon A80, Celeston teleskopu su didinančiu nuo 50 iki 1800 kartų. Bandymai buvo atliekami esant skirtingiems didinimams. Ir jų metu nustatyta, kad gradientiniai detalaus vaizdo paieškos metodai veikia geriausiai, o jiems artimi koreliaciniai metodai.[24]

Hashim Mir darbe „An extensive empirical evaluation of focus measures for digital photography“ pateikiamas matematinų ryškaus vaizdo indentifikavimo metodų bandymas, kuris buvo

atliekamas naudojant skaitmeninį fotoaparatą. Bandytų metu buvo išanalizuota 4303 nuotraukų, ir nustatyta, kad skaitmeninėje fotografijoje geriausi detalų vaizdą identifikuojantys metodai yra: Bernnerio ir kvadratinio gradiento. [25].

Stefan Duthaler ir Bradley J. Nelson darbe „Autofocusing Algorithm Selection in Computer Microscopy” pateikiamas matematinių fokuso indentifikavimo metodų bandymas, kuris buvo atliekamas naudojant didelio didinimo mikroskopą nuo 100 iki 400 kartų. Bandyto metu buvo išbandyti 18 matematinių metodų, naudojant 36 nuotraukas, nustatyta, kad geriausiai veikia dispersijos, normalizuotos dispersijos ir standartinio nuokrypio metodai [6].

A. Santos ir C.O. Solórzano darbe “Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis” pateikiamas matematinių detalaus vaizdo indentifikavimo metodų bandymas, kuris buvo atliekamas naudojant mikroskopą. Bandytų metu buvo naudojamos 9 nuotraukos su nedideliu informacijos kiekiu jose. Esant nedideliame informacijos kiekiui nuotraukoje Tenengrad’o metodo tikslumas krenta. Bet tokiomis sąlygomis tiksliai veikia statistiniai metodai: autokoreliacija, normalizuota dispersija, standartinio nuokrypio koreliacija [4].

## 2. Metodologija

### 2.1. Matematiniai detalaus vaizdo indentifikavimo metodai

**Absoliutus centrinis momentas (ACMO)**, dar vadinamas pilko lygio amplitude, skaičiuojamas [11]:

$$S = \frac{1}{MN} \sum_M \sum_N |I(x, y) - \bar{I}| \quad (2.1)$$

Kur  $\bar{I}$ , vidutinė pilko pikselio vertė.

**Brenner gradientas (BREN)**: šiuo metodu skaičiuojama skirtumo kvadrato suma, tarp pikselio ir šalia esančių pikselių per atstumą 2 [4].

$$F = \sum_M \sum_N |g(i, j + 2) - g(i, j)|^2 \quad (2.2)$$

Kur  $(g(i, j + 1) - g(i, j))^2 \geq v$

**Vaizdo kontrasto metodas (CONT)** [18]:

$$C(x, y) = \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} |I(x, y) - I(i, j)| \quad (2.3)$$

Kur  $C(x, y)$  yra nuotraukos kontrastas pikselyje  $I(x, y)$ .

**Vaizdo kreivumo metodas (CURV)**. Kuo vaizdas yra detalesnis, tuo yra didesnė jo nespaltoto vaizdo dispersija. Ir jeigu mes nespaltoto vaizdo reikšmes traktuosime kaip trijų dimensijų paviršių  $(x, y, g(x, y))$ , vaizdo kreivumas detaliame vaizde tikėtina, kad bus didesnis, negu išplaukusiam vaizde. Pirmas žingsnis yra aproksimuoti paviršių  $f(x, y) = p_0x + p_1y + p_2x^2 + p_3$ . Koeficientai  $P = (p_0, p_1, p_2, p_3)$  yra randami naudojant kvadratinę aproksimaciją (2.5) su  $g_0$  ir  $g_1$ .

$$g_0 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} g_2 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$P = \left( \frac{g_0 * I}{6}, \frac{g_0^t * I}{6}, \frac{3g_2 * I}{10}, \frac{g_2^t * I}{5}, \frac{g_2 * I}{5}, \frac{3g_2^t * I}{10}, \right)^t \quad (2.5)$$

Sekantis žingsnis, sujungti šiuos koeficientus norit gauti lygtį vaizdo detalumo skaičiavimui.

$$FM_c(x, y) = |p_0| + |p_1| + |p_2| + |p_3| \quad (2.6)$$

**Diskretinės kosinusų transformacijos energijos metodas (DCTE).** AC komponentių suma lygi nuotraukos intensyvumo dispersijai, todėl Shen ir Chen [19] pasiūlė naudoti DC/AC komponentių santyki identifikuoti detalų vaizdą nuotraukoje.  $F_{u,v}$  – diskretinės kosinusų transformacijos nuotraukos sub-regionas  $M \times N$  (dažniausiai  $M = N = 8$ ). Visos nuotraukos detalumui įvertinti naudojame:

$$\varphi_s = \frac{\sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v)^2}{F_{0,0}^2} \quad (2.7)$$

**Redukuotos diskretinės kosinusų transformacijos energijos (DCTR) metodas.** Naudojami  $8 \times 8$  dydžio sub-regionai nustatyti nuotraukos detalumui. Kaip Sang-Yong Lee [20] rekomenduoja sumažinti metodo jautrumą triukšmams ir padidinti greitaveiką, skirtingai nei DCTE metode, naudoti tik AC koeficientus, ir iš jų vietoj 63 tik 5. Nuotraukos detalumo skaičiavimas:

$$\varphi = \frac{F_{0,1}^2 + F_{1,0}^2 + F_{2,0}^2 + F_{1,1}^2 + F_{0,2}^2}{F_{0,0}^2} \quad (2.8)$$

**Gauso išvestinė (GDER).** Pagal Fourier optiką, detalaus vaizdo įvertį geriausia skaičiuoti remiantis energijos kiekiu tiesiškai filtruotame paveikslėlyje. Galime teigti, kad optimalus įvertis – gradiento filtro išėjimas. Mastelio erdvės (Scale-space) teorija sufleruoja naudoti pirmos eilės Gauso išvestinę, skaičiuoti detalumo įverčiui. Kur  $\sigma$  nulemia Gauso filtro intensyvumą. Gaunama išraiška [12]:

$$F(\sigma) = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} [f(x,y) * G_x(x,y,\sigma)]^2 + [f(x,y) * G_y(x,y,\sigma)]^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} f_x^2 + f_y^2 \quad (2.9)$$

Kur  $f(x,y)$  nespalvoto vaizdo pikselio vertė.  $G_x(x,y,\sigma)$ ,  $G_y(x,y,\sigma)$  pirmos eilės Gauso išvestinės kryptimis  $x$  ir  $y$  intensyvumu  $\sigma$ .

**Nespalvoto vaizdo variacija (GLVA).** Skaičiuojama sumuojant pikselio intensyvumo ir vidutinės pikselių intensyvumų reikšmės skirtumą keliant kvadratu [10].

$$F = \frac{1}{MN} \sum_M \sum_N (i(x,y) - \mu)^2 \quad (2.10)$$

**Nespalvoto vaizdo lokali variacija (GLLV).** Skaičiuojama sumuojant pikselio intensyvumo ir vidutinės pikselių intensyvumų reikšmės skirtumą keliant kvadratu. Apibrėžtoje nuotraukos dalyje, kur  $(m,n)$  centro koordinatės, o  $w_x \times w_y$  analizuojamo lango dydis [13].

$$F(m, n) = \frac{1}{w_x w_y} \sum_i^{w_x} \sum_j^{w_y} (i(m + i, n + j) - \mu)^2 \quad (2.11)$$

**Nespalvoto vaizdo normalizuota variacija (GLVN).** normalizuojant variacijos metodu gautą rezultatą su vidutine pikselio intensyvumo reikšme, ir tokiu būdu yra kompensuojami pasikeitimai vidutinėje pikselio intensyvumo reikšmėje keičiantis skirtingiems vaizdams[10].

$$F = \frac{1}{MN\mu} \sum_M \sum_N (i(x, y) - \mu)^2 \quad (2.12)$$

**Energijos gradientas (GRAE)** [14]:

$$M = \sum_x \sum_y (g_x^2 + g_y^2)^2 \quad (2.13)$$

kur  $g_x(x, y) = g_i(x + 1, y) - g_i(x, y)$  ir  $g_y(x, y) = g_i(x, y + 1) - g_i(x, y)$

**Slenkstinis gradientas (GRAT).** Sumuojamos absoliutinės pirmos išvestinės reikšmės, kurios yra didesnės už slenkstinę vertę  $\theta$  [4].

$$F = \sum_{Height} \sum_{Width} |i(x + 1, y) - i(x, y)| \quad (2.14)$$

Kur  $|i(x + 1, y) - i(x, y)| \geq \theta$ , ir  $i(x, y)$  yra pilkos spalvos pikselio  $(x, y)$  intensyvumas

**Kvadratinis gradientas (GRAS).** šiuo algoritmu sumuojamas skirtumo kvadratas, kad būtų pastebimas didesnis gradiento poveikis [4].

$$F = \sum_{Height} \sum_{Width} (i(x + 1, y) - i(x, y))^2 \quad (2.15)$$

$$Kur (i(x+1,y)-i(x,y))^2 \geq \vartheta.$$

**Helmi'io vidutinės reikšmės detalaus vaizdo įvertinimo metodas (HELM).** Jeigu vaizdas darosi detalesnis didėja ir jo nespalvoto vaizdo pikselio dispersija. Greta esančių pilko vaizdo regionų vidurkių santykį gauname [15]:

$$FM'(x, y) = \begin{cases} \frac{\mu(U(x,y))}{g(x,y)} & \mu(U(x, y)) > g(x, y) \\ \frac{g(x,y)}{\mu(U(x,y))} & else \end{cases} \quad (2.16)$$

Detalumo įvertinimas gaunamas sumuojant šiuos santykius lokaliame nuotraukos regione:

$$FM(x_0, y_0) = \sum_{p(x,y) \in U(x_0, y_0)} FM'(x, y) \quad (2.17)$$

**Histogramos entropija (HISE)** . Daroma prielaida, kad sufokusuotas vaizdas turi daugiau informacijos negu nesufokusuotas [17].

$$F = -\sum_i p_i \times \log_2(p_i) \quad (2.18)$$

Kur  $p_i = \frac{h(i)}{H*W}$ , pikselio intensyvumo i tikimybė.

**Histogramos diapazono algoritmas (HISR)**, šiuo algoritmu suskaičiuojamas skirtumas tarp didžiausio ir mažiausio intensyvumo pikselių[4].

$$F = \max_i(h(i) > 0) - \min_i(h(i) > 0)$$

**Laplaso energijos (LAPE)**[14]:

$$M = \sum_x \sum_y (g_{xx} + g_{yy})^2 \quad (2.19)$$

Kur  $g_{xx} + g_{yy} = -g_i(x-1, y-1) - 4g_i(x-1, y) - g_i(x-1, y+1) - 3g_i(x, y-1) + 20g_i(x, y) - 4g_i(x, y+1) - g_i(x+1, y-1) - 4g_i(x+1, y) - g_i(x+1, y+1)$

**Modifikuoto Laplaso suma (LAPM)**. Susumuoja absoliutines reikšmes konvuliuojant turimą vaizdą su Laplaso operatoriumi [8].

$$F = \sum_{Height} \sum_{Width} |L_x(x, y)| + |L_y(x, y)| \quad (2.20)$$

**Laplaso variacija (LAPV)**. Skaičiuojama laplaso variacija[13]:

$$F(I) = \sum_m^M \sum_n^N [L(m, n) - \bar{L}]^2 \quad (2.21)$$

Absoliutinės reikšmės vidurkis skaičiuojamas pagal:

$$\bar{L} = \frac{1}{MN} \sum_m^M \sum_n^N |L(m, n)| \quad (2.22)$$

**Diagonalinis laplasas (LAPD)**. Nuo modifikuoto laplaso sumos, tuo, kad papildomai yra įvertinami diagonaliniai kaimynai, padauginti iš  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ , kompensuoti didesniam atstumui nuo centrinio taško [16].

$$F(x, y) = \sum_{(\varepsilon, \mu) \in U(x, y)} |I(\varepsilon + s, \mu) + I(\varepsilon - s, \mu) - 2I(\varepsilon, \mu)| + |I(\varepsilon, \mu + s) + I(\varepsilon, \mu - s) - 2I(\varepsilon, \mu)| + \frac{1}{\sqrt{2}} |I(\varepsilon + s, \mu + s) + I(\varepsilon - s, \mu - s) - 2I(\varepsilon, \mu)| + \frac{1}{\sqrt{2}} |I(\varepsilon - s, \mu + s) + I(\varepsilon + s, \mu - s) - 2I(\varepsilon, \mu)| \quad (2.23)$$

**Metodas grįstas valdomu filtru (SFIL).** Detalumo įvertinimas gaunamas sumuojant nuotraukos apdorotos filtru reikšmes [18]:

$$\varphi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in (x,y)} I_f(i,j) \quad (2.24)$$

$I_f(i,j)$  yra apibrėžiama kaip:

$$I_f(i,j) = \max \{ R_{(i,j)}^{\theta_1}, R_{(i,j)}^{\theta_2}, \dots, R_{(i,j)}^{\theta_N} \} \quad (2.25)$$

Kur  $R_{(i,j)}^{\theta_n}$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$  rezultatas apdorojus nuotrauką filtru  $n$ . Filtras apibrėžiamas kaip:

$$R^{\theta_n} = \cos(\theta_n)(I * \Gamma_x) + \sin(\theta_n)(I * \Gamma_y) \quad (2.26)$$

Čia  $\Gamma_x$  ir  $\Gamma_y$  Gauso išvestinės.

**Erdvinio dažnio metodas (SFRQ).** Kur  $I_x$  ir  $I_y$  pirmos eilės išvestinės X ir Y kryptimis:

$$\varphi_{x,y} = \sqrt{\sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} I_x(i,j)^2 + \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} I_y(i,j)^2} \quad (2.27)$$

**Tenengrad (TENG):** šis algoritmas atlieka konvoliuciją turimam vaizdai su Sobel'io operatoriais ir susumuoja kvadratinės gradiento vektoriaus komponentes [7].

$$F = \sum_{Height} \sum_{Width} (G_x(i,j)^2) + (G_y(i,j)^2) \quad (2.28)$$

Kur  $G_x(i,j)^2$  ir  $G_y(i,j)^2$  yra gaunami vaizdai, po konvoliucijos su Sobel'io operatoriumi.

**Tenengrad'o variacija (TENV).** Vaizdo detalumui nustatyti naudojama nuotraukos gradiento variacija[20].

$$\varphi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (G(i,j) - \bar{G})^2 \quad (2.29)$$

**Vollat'o koreliacija (VOLA)[4]:**

$$F = \sum_{Heigh} \sum_{Widat} i(x,y) * i(x+1,y) - \sum_{Heigh} \sum_{Width} i(x,y) * i(x+2,y) \quad (2.30)$$

**Bangelių (wavelet) sumos metodas (WAVS).** Bangelių metodu grįsti detalumo identifikavimo metodai naudoja diskretinės bangelių transformacijos koeficientų statistines savybes. Nuotrauka yra analizuojama keturiose dažnių juostose LL, HL, LH, HH. Algoritmas sumuoja absoliutines reikšmes šiuose dažnių regionuose HL, LH ir HH [5].

$$\varphi = \sum_{(i,j) \in \Omega_D} |W_{LH1}(i,j)| + |W_{HL}(i,j)| + |W_{HH}(i,j)| \quad (2.31)$$

**Bangelių (wavelet) variacijos metodas (WAVV).** Šis metodas sumuoja variaciją HL, LH, HH regionuose. Vidutinė reikšmė  $\mu$  kiekviename regione yra apskaičiuojama iš absoliutinių reikšmių.

$$\varphi = \sum_{(i,j) \in \Omega_D} (W_{LH1}(i,j) - \mu_{LH1})^2 + (W_{HL1}(i,j) - \mu_{HL1})^2 + (W_{HH1}(i,j) - \mu_{LL1})^2 \quad (2.32)$$

**Bangelių (wavelet) santykio metodas (WAVR).** Naudojamas santykis tarp aukšto dažnio koeficiento  $M_H$  ir žemo dažnio koeficiento  $M_L$  [20].

$$\varphi = \frac{M_H^2}{M_L^2} \quad (2.33)$$

$M_H$  ir  $M_L$  apibūdinti žemiau:

$$M_H^2 = \sum_k (i,j) \sum_{\epsilon \in \Omega_D} W_{LHk}(i,j)^2 + W_{HLk}(i,j)^2 + W_{HHk}(i,j)^2 \quad (2.34)$$

$$M_L^2 = \sum_k (i,j) \sum_{\epsilon \in \Omega_D} W_{LLk}(i,j)^2 \quad (2.35)$$

## 2.2. Nuotraukų sujungimo algoritmai

Nuotraukų ryškių zonų sujungimas, tokia technikai, kai yra sujungiamos to paties objekto nuotraukos, kurios skiriasi ryškumo gyliu, skirtingoje nuotraukoje ryški vis kita objekto detalė. Tokių metodų esmė sukurti nuotrauką, kurioje būtų ištisinė ryškumo zona ir visas stebimas objektas būtų detalus. Šiuo metu populiariausi metodai nuotraukų ryškių zonų sujungimui: Laplaso piramidžių sujungimo, gradiento piramidžių sujungimo, diskretiniai bangelių (wavelet) sujungimo metodai. Pagrindinė šių daugiamačių transformacijų idėja, išskaidyti analizuojamus vaizdus į multi-dimensines piramides, jas analizuojant matematiniais metodais sugeneruoti vieną piramidę, iš kurios atkuriamas ištiso ryškumo vaizdas taikant atvirkštines daugiamačių transformacijas. Šiame darbe buvo pasirinkta Laplaso piramidžių transformacija, nes remiantis diskretiniais bangelių metodais, negaunama informacija apie kontūrų kokybę ir vaizdo detalumą, o naudojant Laplaso piramides gaunama globali ir lokali informacija, pilkos spalvos intensyvumas [22]. Nuotraukų sujungimas naudojant Laplaso piramides susideda iš trijų žingsnių:

- Sukuriamos Laplaso piramidės visoms objekto nuotraukoms.
- Sukurtos piramidės analizuojamos matematiniais metodais, identifikavę detalius regionus, juos sulipdome į vieną piramidę.
- Atkuriamas ištiso ryškumo nuotrauką, iš gautos piramidės.



### 2.2.1. Laplaso piramidžių transformacijos principai

Šio metodo principas išskaidyti originalų vaizdą į skirtingos rezoliucijos vaizdus, atliekant tokius pačius matematinius veiksmus. Laplaso piramidės yra gaunamos iš Gauso piramidžių, kurios yra gaunamos, filtruojant vaizdą žemo dažnio filtru ir mažinant jų rezoliuciją. Taigi Laplaso piramidžių gavimas yra išskaidytas į du žingsnius: iš pradžių vaizdas skaidomas į Gauso piramides, vėliau iš Gauso piramidžių generuojamos Laplaso piramidės.

### 2.2.2. Gauso piramidžių sudarymas

Gauso piramidės nulinis lygmuo  $G_0$  yra lygus analizuojamai nuotraukai.  $G_0$  - piramidės pagrindas.  $l$ -tasis lygmuo, kuris žymimas  $G_l$  yra gaunamas atliekant šiuos žingsnius: Iš pradžių atliekame konvoliuciją tarp  $l-1$ -tojo lygio vaizdo  $G_{l-1}$  ir matricos  $\omega(m, n)$ , kuri pasižymi žemo dažnio charakteristikomis. Tada konvoliucijos rezultatą naudojame sukuriant sekantį mažesnės rezoliucijos piramidės lygmenį, kuris gali būti išreikštas:

$$G_l(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_{l-1}(2i + m, 2j + n) \quad (2.36)$$

$$1 \leq l \leq N, 0 \leq i \leq R_b, 0 \leq j \leq C_j \quad (2.37)$$

Kur  $N$  maksimalus piramidės lygių skaičius,  $C_l$  ir  $R_b$  atitinkamai išreiškia eilučių ir stulpelių skaičių  $l$ -tajame piramidės lygmenyje.  $\omega(m, n)$  svorio funkcija:

$$\omega = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

Kai Gauso piramidė yra sudaryta iš sluoksnių  $G_0, G_1, \dots, G_N$ , kur  $G_0$  yra piramidės pagrindas, o  $G_N$ , piramidės viršūnė, tada piramidės iš viso turi  $N + 1$  sluoksnį [22].

### 2.2.3. Laplaso piramidžių sudarymas

Norint sumažinti vienodos informacijos kiekį Gauso piramidėse, reikia surasti skirtumus tarp dviejų gretimų lygių ir prafiltruoti juostiniu filtru, taip gaunama Laplaso piramidė. Tegul  $G_l^*$  bus gaunamas padidinus  $G_l$ , taip, kad  $G_l^*$  būtų tokio pat dydžio kaip ir  $G_{l-1}$ .

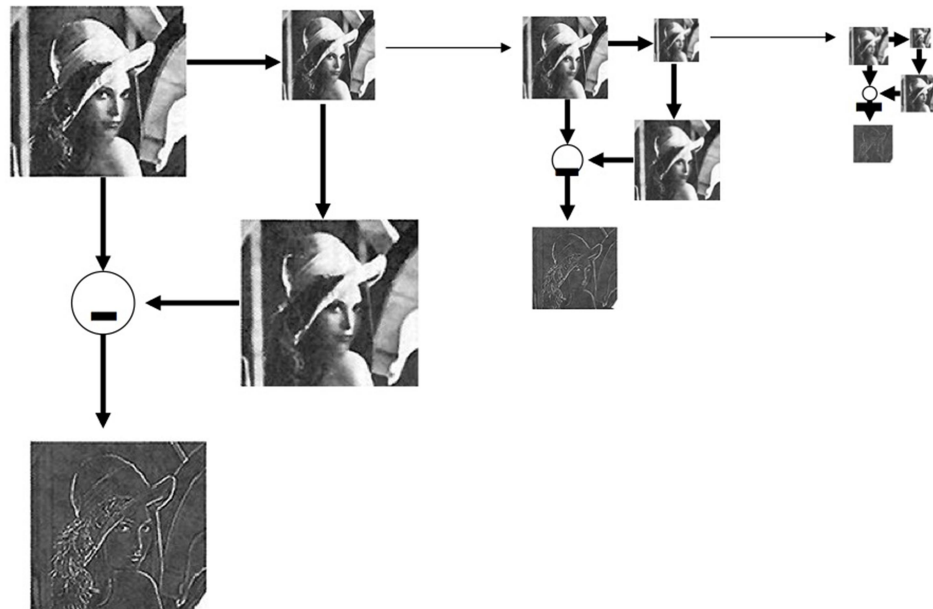
$$G_l^* = \text{Expand}(G_l) \quad (2.39)$$

$$G_l^*(i, j) = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_l\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) \quad (2.40)$$

$$1 \leq l \leq N, 0 \leq i \leq R_b, 0 \leq j \leq C_j \quad (2.41)$$

$$\begin{cases} LP_l = G_l - G_{l+1}^*, & 0 \leq l < N \\ LP_N = G_N, & l = N \end{cases} \quad (2.42)$$

Kur  $N$  sluoksnių skaičius Laplaso piramidėje,  $LP_l$   $l$ -tasis sluoksnis iš Laplaso piramidės. Dabar galime gauti Laplaso piramidę kurią sudaro  $LP_0, LP_1, \dots, LP_N$  sluoksniai, Laplaso piramidės sudarymas grafiškai pavaizduotas 2.1 pav [22].



2.1 pav. Laplaso piramidės sudarymas.

#### 2.2.4. Nuotraukos rekonstrukcija iš Laplaso piramidės

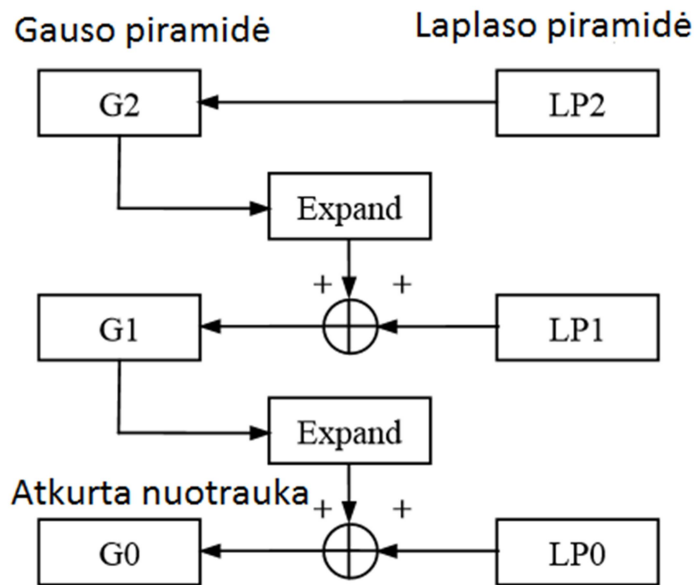
Svarbi Laplaso piramidžių savybė yra tokia, kad naudojant piramidės sudarymo žingsnius atvirkštine seka yra pilnai atkuriamas pirminė nuotrauka.

$$\begin{cases} G_N = LP_N, & l = N \\ G_l = LP_l + G_{l+1}^*, & 0 \leq l < N \end{cases} \quad (2.43)$$

Taigi pirminės nuotraukos atkūrimas naudojant laplaso piramides gali būti išreikštas taip:

$$G_0 = L_0 + \text{Expand} \left( LP_1 + \text{Expand} \left( LP_2 + \dots + \text{Expand} \left( LP_N \right) \right) \right) \quad (2.44)$$

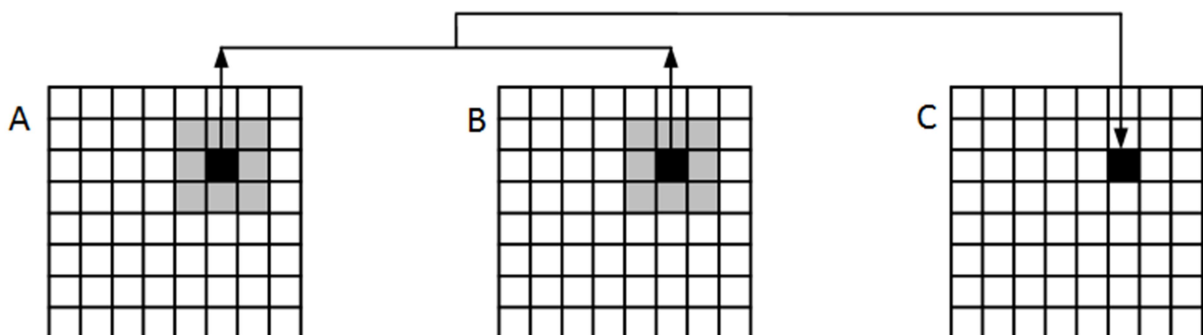
Trijų lygių Laplaso piramidės atkūrimo schema pateikta 2.2pav.



2.2 pav. Laplaso piramidės rekonstrukcijos schema

### 2.2.5. Laplaso piramidžių sujungimas

Laplaso piramidės kiekviename lygyje saugoma informacija apie nuotraukos kontūrus ir detalias vietas. Todėl sujungiant kelias piramides į vieną, galima praplėsti piramidėje saugomą informaciją. Labai svarbu, pagal kokius kriterijus ir kokių būdu bus atliktas piramidžių sujungimas, nes nuo to tiesiogiai priklauso koks bus gautas rezultatas atkūrus piramidę. Yra du sujungimo metodai: vertinant atskirus pikselius arba vertinant regionus (2.3 pav.). Vertinant individualius pikselius, atliekama mažiau skaičiavimų, greitaveika didesnė, bet metodo tikslumas yra prastesnis, nes nevertinamas ryšys su greta esančiais pikseliais. Todėl mes naudosime metodą, kai yra vertinamas regionas.



2.3 pav. Piramidžių sujungimas, vertinant regionus. Lyginami A ir B regionai, regiono turinčio didesnę informacijos kiekį centrinis pikselis priskiriamas generuojamai piramidei.

$$LP_N^F(m, n) = \begin{cases} LP_N^A & M^A(m, n) \geq M^B(m, n) \\ LP_N^B & M^B(m, n) > M^A(m, n) \end{cases} \quad (2.45)$$

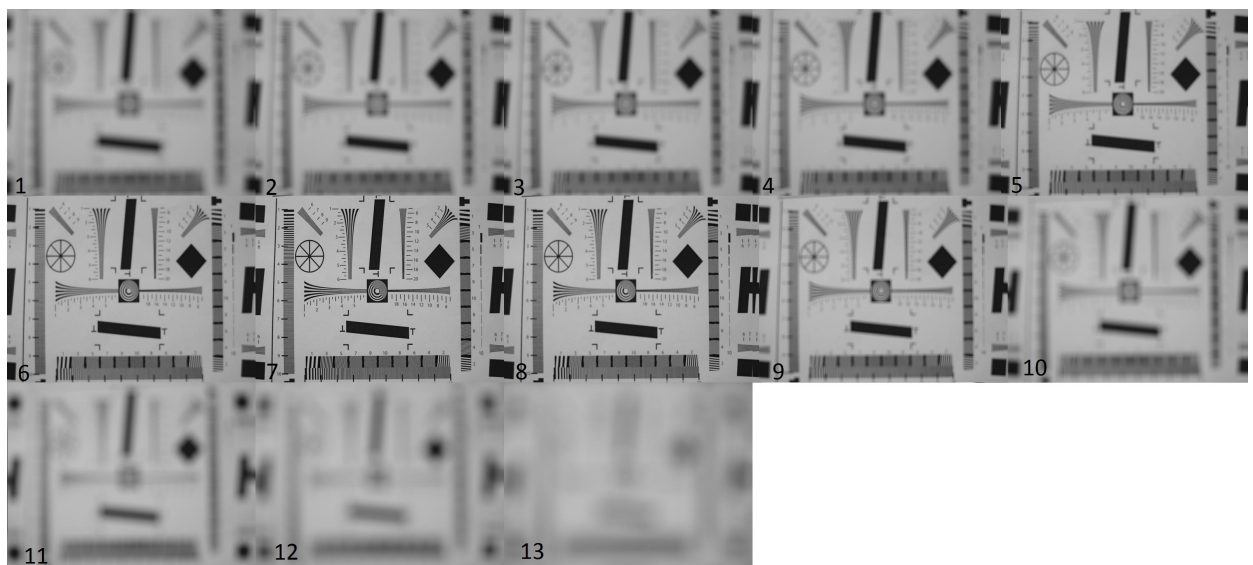
Kur  $N$  generuojamas piramidės sluoksnis,  $m$  ir  $n$  analizuojamo regiono centrinis taškas.  $LP_N^A$  ir  $LP_N^B$  piramidžių sluoksniai iš kurių generuojamas sluoksnis  $LP_N^F$ .  $M^A$  ir  $M^B$  regiono įvertis, gaunamas naudojant matematinius metodus. Remiantis (2.45) išraiška, sugeneruojama nauja piramidė[22].

### 3. Tyrimas ir algoritmo sukūrimas

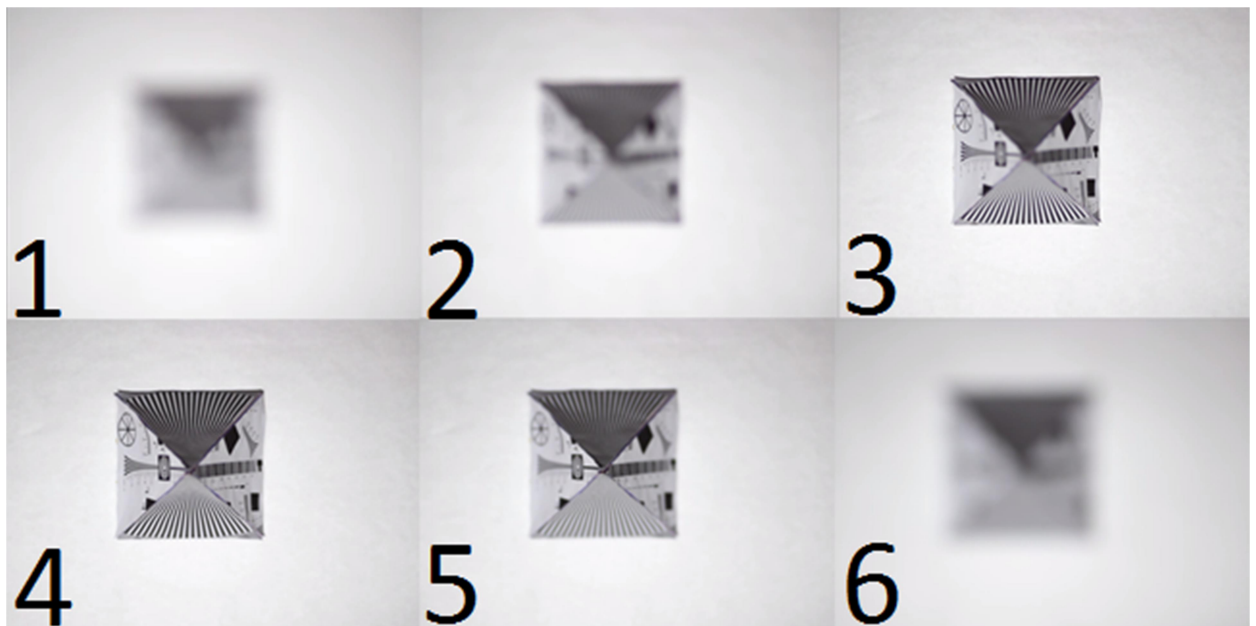
#### 3.1. Matematinų metodų taikymas identifikuojant nuotraukos kokybę

##### 3.1.1. Bandymų imties sudarymas

Bandymų imčiai sudaryti buvo naudojamas fotoaparatas Canon 600d ir skaitmeninis mikroskopas didinantis nuo 50 iki 500 kartų. Su fotoaparatu buvo nufotografuoti 5 nuotraukų rinkiniai po 13 nuotraukų (1;2;3;10;11 nuotraukų rinkiniai). Fotografuojama buvo su pilnai atvira diafragma, siekiant užtikrinti kuo siauresnę ryškumo zoną, imituojuojant nuotraukas darytas su mikroskopu. Fokusuojant nuo minimalaus atstumo iki begalybės padaroma 13 nuotraukų, o 7-oje nuotraukoje fotografuojamas objektas pilnai sufokusuotas. 3.1 pav. pavaizduota E nuotraukų rinkinys, kiti nuotraukų rinkiniai prieduose. 3.2 pav. identišku metodu filmuotos medžiagos iškarpos V4. Kitos vaizdo įrašų iškarpos prieduose, filmuota skaitmeniniu mikroskopu.



3.1 pav. 13-os nuotraukų 11-tas rinkinys



3.2 pav. Vid-4 filmuotos medžiagos iškarpos.

### 3.1.2. Skaičiavimo algoritmai

Literatūros apžvalgoje aprašytiems fokuso įvertinimo metodams išbandyti buvo panaudota Matlab bendruomenės sukurta biblioteka *fmeasure.m*[23]. Kiekvienas nuotraukų rinkinys ar vaizdo medžiaga buvo įvertinama su 28 metodais, pakartotinai po tris kartus, kai: pirmą kartą a) kadrui nieko nedaroma; b) kadras suliejamas; c) kadrui pridedama triukšmo. Lygiagrečiai buvo skaičiuojamas laikas, kiek kiekvienas metodas užtrunka laiko suskaičiuoti parametą. Skaičiavimo algoritmo pabaigoje duomenys buvo atvaizduojami grafiškai, ir išsaugomi į duomenų masyvą, kad pakartotinai nereikėtų analizuoti vaizdinės medžiagos, norint su gautais rezultatais atlikti papildomus skaičiavimus. Apačioje pateikti trys pseudo kodai, pirmasis 3.1 lentelėje nuotraukų rinkinių įvertinimui, antrasis 3.2 lentelėje ir trečiasis 3.3 lentelėje filmuotos medžiagos įvertinimui.

Lentelė 3.1 Pseudokodas skirtas nuotraukų rinkinių įvertinimui matematiniais detalaus vaizdo identifikavimo metodais.

```

1. Aprašomi kintamieji
2. for j= 1: DiffImage
3.     for i = 1:NoOfSamples
4.         Sukuriamas kadro pavadinimas pagal i ir j indeksus
5.         Nuskaitomas kadras.
6.         a) kadrai nieko nedaroma
7.         b) kadras suliejamas
8.         c) į kadrą pridedama triukšmo
9.     parfor z= 1: NoOfMethods
10.        Nustatomas metodo skaičiavimo pradžios momentas
11.        Suskaičiuojamas kadro fokuso indeksas remiantis metodu(z)
12.        Nustatomas metodo skaičiavimo pabaigos momentas
13.        Suskaičiuojamas metodo skaičiavimo laikas.
14.        Duomenys išsaugomi masyvuose.
15. Nomralizuojami gauti duomenys
16. for j= 1: DiffImage
17.     for i= 1: NoOfMethods
18.         Atspausdinamas grafikas metodui i, kuriame pavaizduotos šio metodo
           reikšmės paveikslėlių rinkiniui j.
19.         Išsaugomas grafikas.

```

Lentelė 3.2 Pseudokodas skirtas filmuotos medžiagos įvertinimui matematiniais detalaus vaizdo identifikavimo metodais.

```

1. v = VideoReader ('D:/Master/V10.MP4');
2. while kol yra kadrų kintamajame v
3.     Nuskaitomas kadras
4.     Kadras konvertuojamas į nespaltotą
5.     a) kadrai nieko nedaroma
6.     b) kadras suliejamas
7.     c) į kadrą pridedama triukšmo
8.     parfor z= 1: NoOfMethods
9.        Nustatomas metodo skaičiavimo pradžios momentas
10.        Suskaičiuojamas kadro fokuso indeksas remiantis metodu(z)
11.        Nustatomas metodo skaičiavimo pabaigos momentas
12.        Suskaičiuojamas metodo skaičiavimo laikas.
13.        Duomenys išsaugomi masyvuose.
14.     Nomralizuojami gauti duomenys
15. for i= 1: NoOfMethods
16.     Atspausdinamas grafikas metodui i, kuriame pavaizduotos šio metodo
           reikšmės paveikslėlių rinkiniui j.
17.     Išsaugomas grafikas.

```

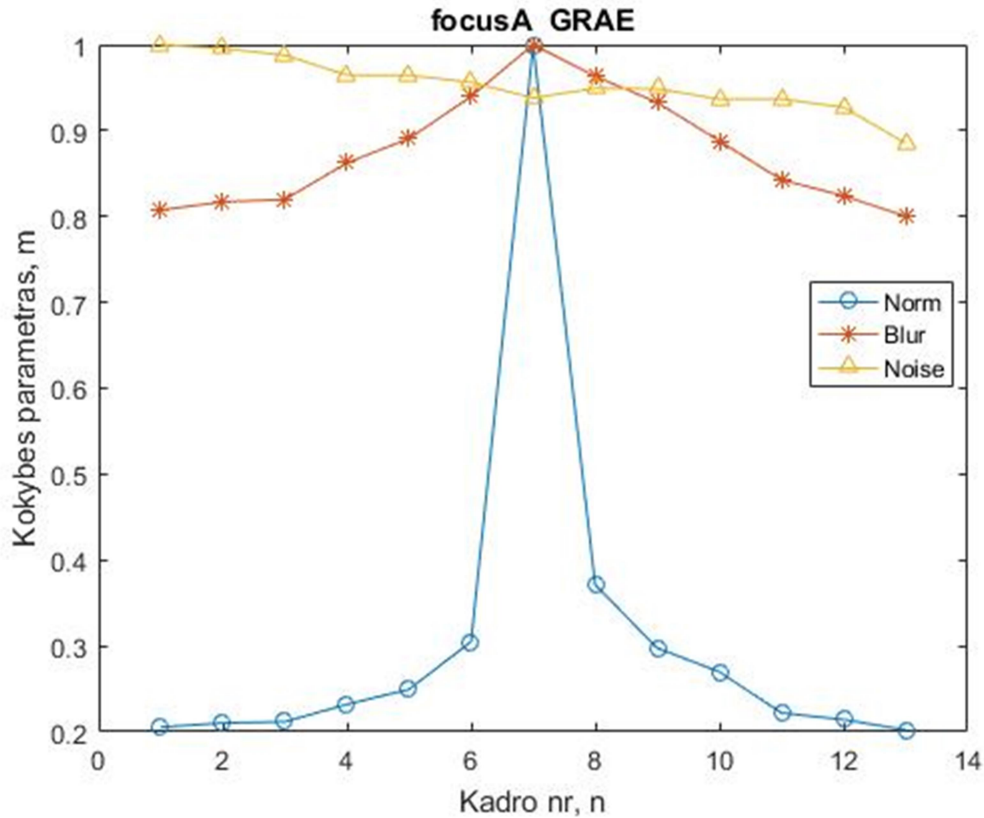
Lentelė 3.3 Pseudo kodas skirtas filmuotos medžiagos rezultatų įvertinimui

1.  $v = \text{VideoReader}('D:/Master/V10.MP4');$
2. *Įkeliami duomenys*
3. *Aprašomi kintamieji*
4. *Surandamos didžiausios parametrų vertės, kadru be pakeitimų*
5. *Surandamos didžiausios parametrų vertės, sulietam kadru*
6. *Surandamos didžiausios parametrų vertės, kadru su triukšmu*
7. *Surandamas kadras, jo numeris, pasižymėjęs didžiausia parametrų verte, kadru be pakeitimų*
8. *Surandamas kadras, jo numeris, pasižymėjęs didžiausia parametrų verte, sulietam kadru*
9. *Surandamas kadras, jo numeris, pasižymėjęs didžiausia parametrų verte, kadru su triukšmu*
10. *for i= 1: NoOfMethods*
11. *Atspausdinamas grafikas metodui i, kuriame pavaizduotos šio metodo reikšmės filmuotai medžiagai. Grafikas sudarytas iš trijų kreivių: kadrams be pakeitimo, sulietiems kadrams, kadrams su triukšmu.*
12. *Į legendą įterpiamas kadro numeris, kuriame metodas pasiekė globalų maksimumą.*
13. *Atvaizduojami skirtingai apdorotos vaizdo medžiagos kadrai, kuriuose metodas pasiekė globalų maksimumą.*

### 3.1.3. Rezultatai

Kadangi kiekvienas nuotraukų rinkinys ar filmuota medžiaga buvo analizuojama visai 28 metodais tai algoritmas sugeneravo 252 grafikus. Kiekviename grafike pateiktos trys kreivės, kurios atspinti kaip analizuojamas metodas reaguoja į švarų kadra, sulietą kadra ir kadra su triukšmu. Metodo veikimo korektiškumas buvo tikrinamas rankiniu būdu, peržiūrint kiekvieną grafiką, ir pildant lentelę 3.4. Kadangi nuotraukų rinkiniai buvo sudaryti taip, kad kadras su sufokusuotu vaizdu būtų 7 kadras iš 13 kadru, tai ties 7 kadru visos kreivės turėtų turėti globalų maksimumą. Jeigu ties šiuo kadru buvo globalus maksimumas, lentelėje metodo ir nuotraukų rinkinio sankirtoje buvo žymimas 1 ties kiekvienu nuotraukos apdoravimo būdu, jeigu globalaus maksimumo ties 7 kadru nebuvo, žymim 0. 3.3 pav. Pateiktas grafikas, kai 1 nuotraukų rinkinys analizuojamas energijos gradiento metodu. Iš kreivių matome, kad šiuo metodu buvo aptikas

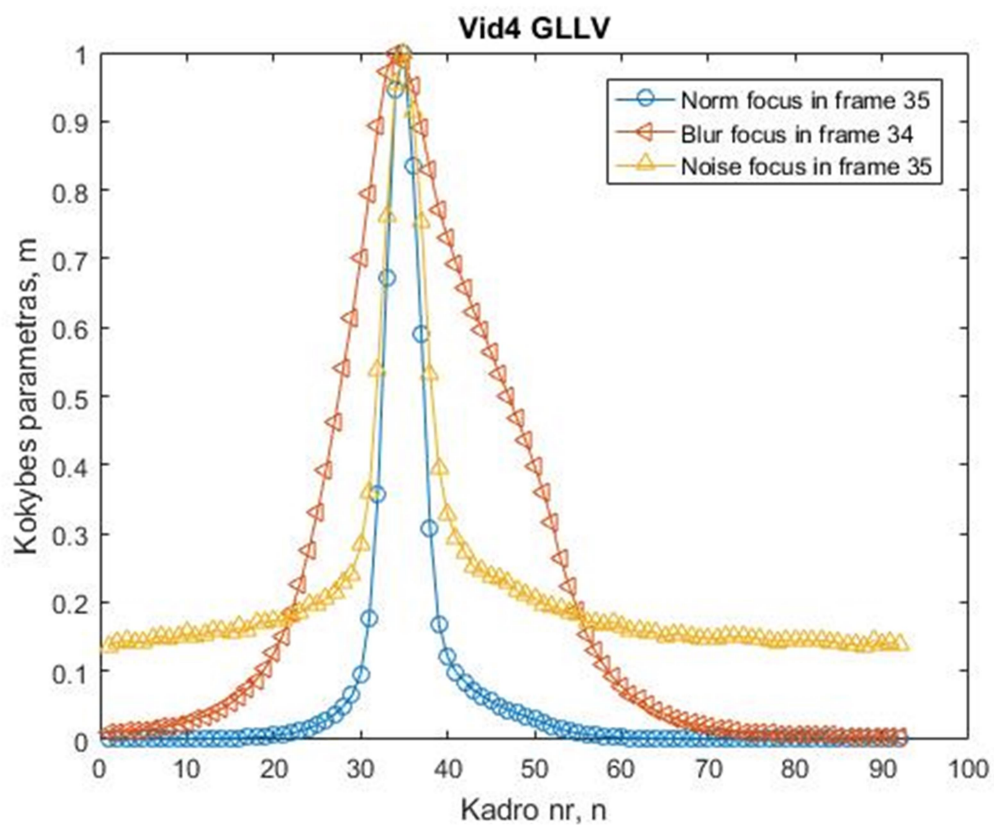
fokusas, kai kadras nebuvo papildomai apdorotas ir, kai kadras buvo sulietas.



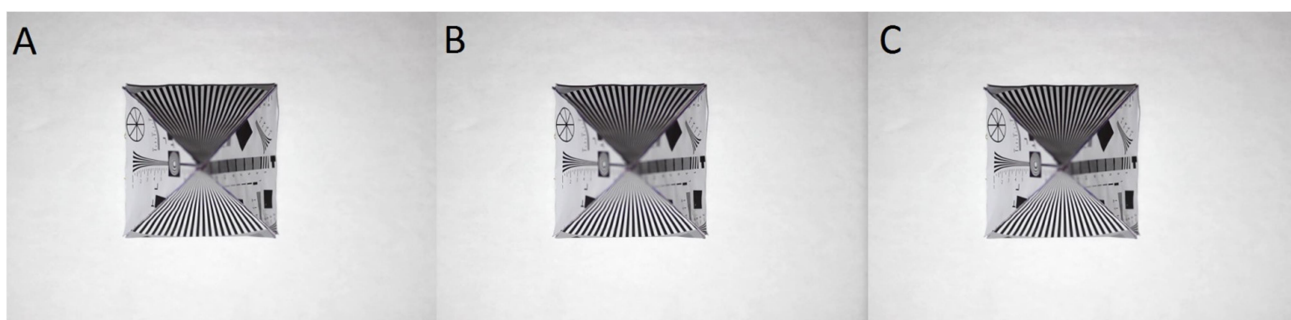
3.3 pav. Nuotraukų rinkinio 1 fokuso įvertinimo reikšmės analizuojant energijos gradiento metodu. Normalizuota metodo reikšmė - m.

Filmuotos medžiagos rezultatų įvertinimui buvo naudotas jau minėtas algoritmas. Kuris suranda metodo globalaus maksimumo reikšmę ir pagal šią reikšmę kadra, kuriame globalus maksimumas buvo pasiektas. Šie duomenis pateikti 3.4 pav, naudojant nespaltoto vaizdo normalizuotos variacijos metodą. Pagal surastus kadro indeksus, yra atvaizduojami konkretūs kadrai (3.5 pav.) ir rankiniu būdu įvertinamas fokuso lygis, jeigu vaizdas ryškus ir neišsiliejęs, duomenų lentelėje rašome 1, jeigu susiliejęs 0.

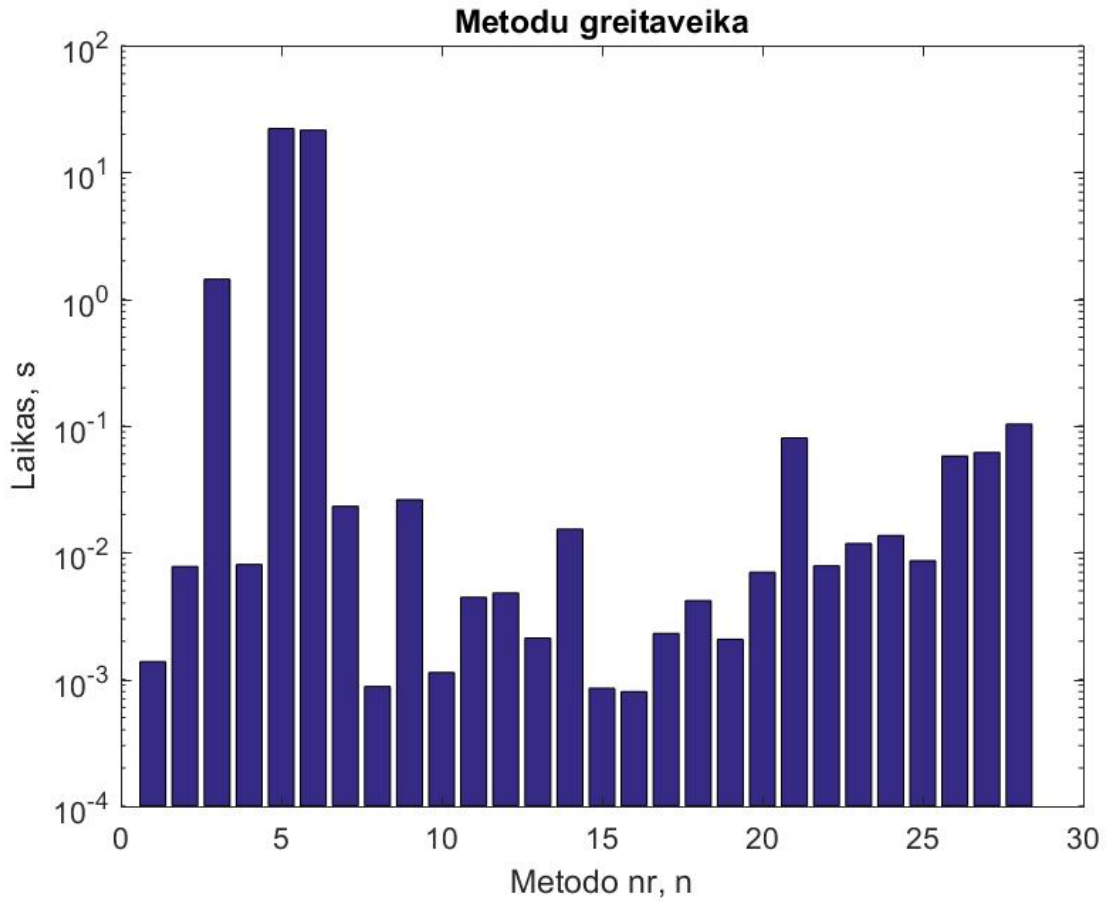




3.4 pav. Ketvirtos filmuotos medžiagos fokuso įvertinimo reikšmės analizuojant nespalvoto vaizdo normalizuota variacija. Normalizuota metodo reikšmė - m.



3.5 pav. Ketvirtą filmuotą medžiagą analizuojant nespalvoto vaizdo normalizuota variacija, buvo atrinkti šie sufokusuoti kadrai: A-35 kadras, B-34 kadras(sulietas), C-35kadras(su triukšmu)



3.6 pav. Metodu greitimeika. Metodai: 1.ACMO, 2.BREN, 3.CONT, 4.CURV, 5.DCTE, 6.DCTR, 7.GDER, 8.GLVA, 9.GLLV, 10.GLVN, 11.GRAE, 12.GRAT, 13.GRAS, 14.HELM, 15.HISE, 16.HISR, 17.LAPE, 18.LAPM, 19.LAPV, 20.LAPD, 21.SFIL, 22.SFRQ, 23.TENG, 24.TENV, 25.VOLA, 26.

Skaičiuojant nuotraukų detalumo indeksą, buvo matuojamas laikas, kiek kiekvienas metodas užtruks suskaičiuoti indeksą. Kiekvienam metodui buvo suskaičiuota vidutinė trukmė, ji pavaizduota 3.6 pav.

Lentelė 3.4 Matematinų metodų įvertinimai, teisingai nustatant detaliausią vaizdą. Lentelėje suvesti įvertinimai už teisingai nustatytą ryškų vaizdą. Kiekvienas metodas įvertintas procentais, kokių tikslumu jis jį nustato ir kiek laiko tam užtruko.

Metodas	Rezultatai																								Vidutinis laikas, s	Tikslumas, %			
	Foto A			Foto B			Foto C			Foto D			Foto E			Vid 1			Vid 2			Vid 3					Vid 4		
	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas	Norm	Blur	Notas			Norm	Blur	Notas
ACMO	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	77.78%
BREN	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.007	70.37%	
CONT	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1.316	82.98%
CURV	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.009	70.37%	
DCTE	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	21.171	77.78%	
DCTR	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20.645	74.07%	
GDER	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.025	85.19%	
GLVA	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0.001	59.28%	
GLLV	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0.028	85.19%	
GLVN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.001	51.95%	
GRAE	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.005	55.56%
GRAT	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0.005	49.15%	
GRAS	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.002	55.56%
HELM	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.017	82.98%	
HISE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0.001	22.22%
HISR	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.001	59.28%
LAPE	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0.002	59.28%
LAPM	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.004	51.95%
LAPV	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.002	51.95%
LAPD	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.007	55.56%
SFIL	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.082	77.78%	
SFRQ	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.009	59.28%
TENG	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.012	81.48%	
TENV	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.014	81.48%	
VOLA	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.009	77.78%	
WAVS	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.059	55.56%
WAVV	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0.084	55.56%	
WAVR	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.104	59.28%	

Geriausius rezultatus pademonstravo:

1. GDER(Gauso išvestinė ) tikslumas – 85.19%; laikas – 0.025s;
2. GLLV(nespalvoto vaizdo lokali variacija) tikslumas – 85.19%; laikas – 0.028s;
3. TENG(Tenegrad'o metodas) tikslumas – 81.48%; laikas – 0.012s;
4. TENV (Tenegrad'o variacija ) tikslumas– 81.48%; laikas – 0.014s;
5. VOLA (Vollat'o korekcija ) tikslumas – 77.78%; laikas – 0.009s;
6. SFIL (Metodas grįstas valdomu filtru) tikslumas – 77.78%; laikas – 0.082s;
7. DCTE (Diskretinė cosinus transformacijos energijos metodas) tikslumas – 77.78%; laikas – 21.171s;
8. DCTR (Diskretinė cosinus transformacijos energijos santykio metodas) tikslumas – 74.07%; laikas – 20.645s;
9. BREN (Brenner'io fokuso metodas) tikslumas – 70.37%; laikas – 0.007s;
10. CURV (vaizdo kreivumo metodas) tikslumas – 70.37%; laikas – 0.008s;

- Buvo išbandyta 28 skirtingi nuotraukų detalumo identifikavimo metodai, naudojant nuotraukų rinkinius ir filmuotą medžiagą.
- Išanalizavome surinktą informaciją. Nustatėme 10 metodų, kurie geriausiai atliko užduotį, tiksliausiai identifikavo sufokusuotą vaizdą. bet du iš jų (DCTE ir DCTR) yra netinkami tolimesniam darbui, dėl per didelių laiko sąnaudų.

### 3.2. Vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimas

Norint sukurti vientiso ryškumo nuotrauką iš kelių ar keliolikos nuotraukų (3.7 pav.), reikia jose identifikuoti detaliausius regionus, kurie būtų sulipdomi į rezultatų nuotrauką. Praeitame skyriuje išbandėme matematinis metodus visos nuotraukos kokybei rasti, bandymų keliu atsirinkome iš 28 metodų 8. Juos taikysime atskirų nuotraukos regionų kokybei nustatyti ir atsižvelgiant į šiuos parametrus bus sugeneruojama vientiso ryškumo nuotrauka.



3.7pav. 4-tas nuotraukų rinkinys.

#### 3.2.1. Vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimas, perkeliant detalų regioną į kurią nuotrauką.

Paprasčiausias metodas sukurti vientisą ryškią nuotrauką, būtų suskirstyti nuotrauką į nustatyto dydžio regionus. Analizuoti tą patį regioną visose nuotraukose, iš kurių generuojama ryški nuotrauka, nustačius nuotrauką, kurioje šis regionas detaliausias, jį priskirti vientiso ryškumo

nuotraukai. Pereinama prie kito regiono, atliekame tuos pačius veiksmus, kol visi nuotraukos regionai bus išanalizuoti. Tai realizuojantis pseudo kodas pateiktas žemiau:

Lentelė 3.5 Pseudo kodas vientiso ryškumo nuotraukai, perkeliant detaliausius regionus, sukurti

```
1. Aprašomi kintamieji
2. for z= 1 : Metodų skaičius
3.   for i = 1 : Nuotraukų skaičius rinkinyje
4.     Sukuriamas nuotraukos pavadinimas pagal i indeksą
5.     Nuskaitoma nuotrauka
6.     Nustatomas nuotraukos dydis
7.     for j=1:regiono Dydis : Nuotraukos plotis
8.       for k=1:regiono Dydis : Nuotraukos aukštis
9.         Suskaičiuojamas nuotraukos detalumo indeksas regione remiantis
           metodu(z)
10.        Patikriname ar gautas indeksas yra didžiausias iš visų analizuojamų
           nuotraukų šiame regione, jei taip, visas regionas priskiriamas generuojamai
           nuotraukai.
11. Išsaugoma sugeneruota nuotrauka, metodu z
12. for a=1: Metodų skaičius
13. Atvaizduojami gauti rezultatai skirtingais metodais
```

Tokiu būdu sugeneruota nuotrauka pateikta 3.8 pav. Į kurią įsižiūrėję, pastebime, kad akivaizdžiai matosi analizavimo regionai, nuotrauka fragmentuota, tarp gretimų regionų kontrastingi perėjimai, nesuderintas gretimų regionų šviesumas. Šie rezultatai parodo, kad keičiantis fokusavimo atstumui į objektą, keičiasi šviesumas atskirose nuotraukos dalyse, objekto dydis. Todėl reikalingas toks ryškių zonų sujungimo metodas, kuris gebėtų kompensuoti šias vaizdo transformacijas, vykstančias dėl objektyvo optinės sandaros.



3.8 pav. Vientiso ryškumo nuotrauka, perkeliant detalų regioną į kuriamą nuotrauką.

### 3.2.2. Vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimas naudojant Laplaso piramides.

Naudojant Laplaso piramides turėtų pavykti išvengti 3.2.1 skyriuje, aptartas problemas, nes nuotraukos atkūrimo iš piramidės metu, yra sudedami piramidės sluoksniai tarpusavyje, kas leidžia suvienodinti gretimus regionus. Nuotraukų sujungimą realizuojantis pseudo kodas pateiktas žemiau:

Lentelė 3.6 Pseudo kodas vientiso ryškumo nuotraukai, naudojant Laplaso piramides, sukurti

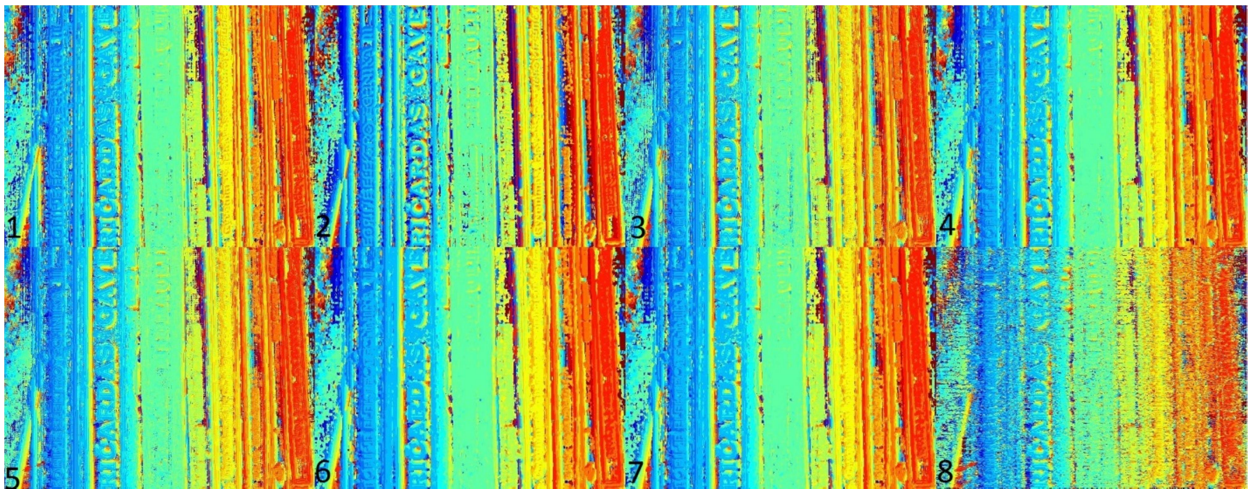
```
1. Aprašomi kintamieji
2. for i = 1:NoOfSamples
3.     Sukuriamas nuotraukos pavadinimas pagal i indeksą
4.     Nuskaitoma nuotrauka.
5.     Nuskaitytai nuotraukai sukuriama Laplaso piramidė
6. end for
7. for k =: Metody skaičius
8.     Pradedamas skaičiuoti laikas.
9.     for j =Piramides lygiai:-1:1
10.        for i = 1: Nuotraukų skaičius rinkinyje
11.            for row = 1: NoOfRows
12.                for col = 1: NoOfColumns
13.                    skaičiuojamas detalumo parametras kiekvienam piramidės pikseliui su jį
                    supančiu 3x3 regionu.
14.                    if šio regiono vertė didenė nei prieš tai analizuotos piramidės, tada:
15.                        Generuojamai piramidei priskiriamas šio regiono centrinio taško reikšmė,
16.                        Generuojamame indeksų žemėlapyje pažymimas šis taškas indeksu
                        reiškiančiu nuotraukos numerį, iš kurios buvo paimta ši reikšmė.
17.                    Baigiamas skaičiuoti laikas.
18.        for i = 1:(NoOfMethods)
19.            rekonstruojamos nuotraukos iš sudarytų piramidžių
20.            išsaugomos nuotraukos
21.            išsaugomi indeksų žemėlapiai
```

### 3.2.3. Rezultatai

Šiuo metodu išanalizuoti 9 nuotraukų rinkiniai, iš kurių po 3 yra užfiksuoti vienodomis aplinkos sąlygomis. Generuojant vientiso ryškumo nuotraukas buvo naudojami 8 metodai, todėl buvo gauta 72 nuotraukos. Toliau apžvelgsime gautus rezultatus, sujungiant nuotraukų rinkinius užfiksuotus skirtingomis sąlygomis, kiti rezultatai pateikti prieduose.

3.9 pav. pavaizduota 4-tas nuotraukų rinkinio (3.7. pav) indeksų žemėlapiai analizuotais metodais. Indeksų žemėlapyje skirtinga spalva reprezentuoja skirtingą nuotraukos indeksą iš kurios šis regionas buvo paimtas kuriant vientiso ryškumo vaizdą. Kadangi nuotraukų rinkinys buvo suformuotas fotografuojant tolygiai keičiant fokusavimo atstumą, tai matosi indeksų žemėlapyje, nes nuo kairio krašto į dešinę spalva kinta tolygiai. Bet visgi yra keli regionai nuotraukoje (chaotiškas spalvų išsidėstymas), kur nebuvo pakankamai charakteringų taškų, kad matematiniai metodai vieningai išskirtų detaliosią kadra. Rekonstravus piramidę sugeneruotą naudojant TENG metodą, gauname rezultatą, kuris pateiktas 3.10 pav.





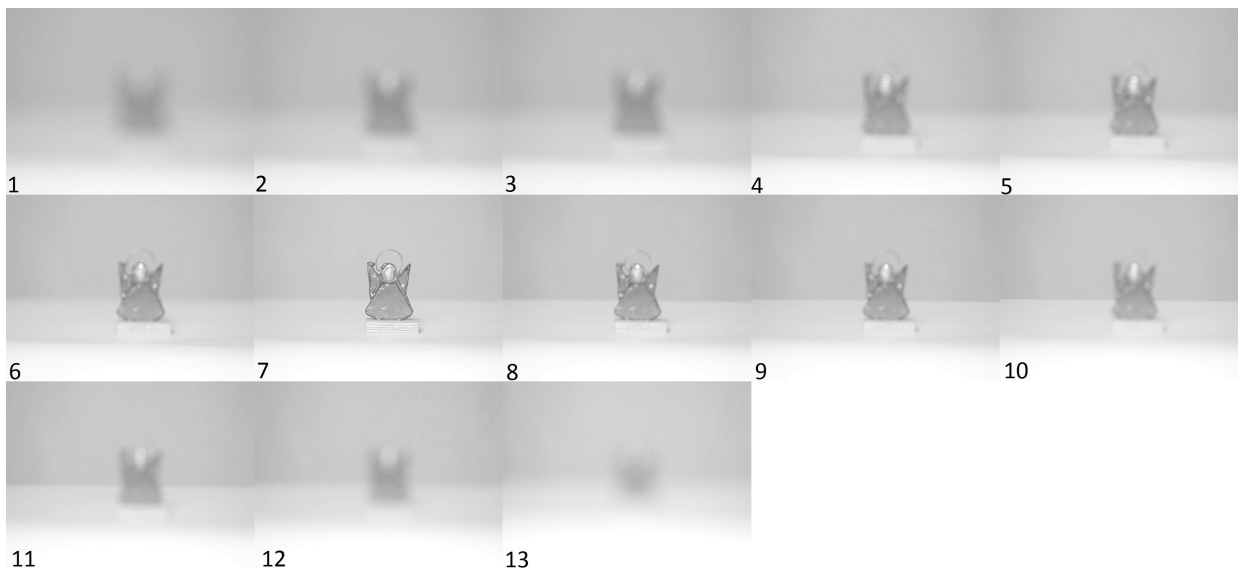
3.9 pav. Indeksų žemėlapis sugeneruotas iš 4 nuotraukų rinkinio. Sugeneruoti naudojant šiuos matematinius metodus: 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.



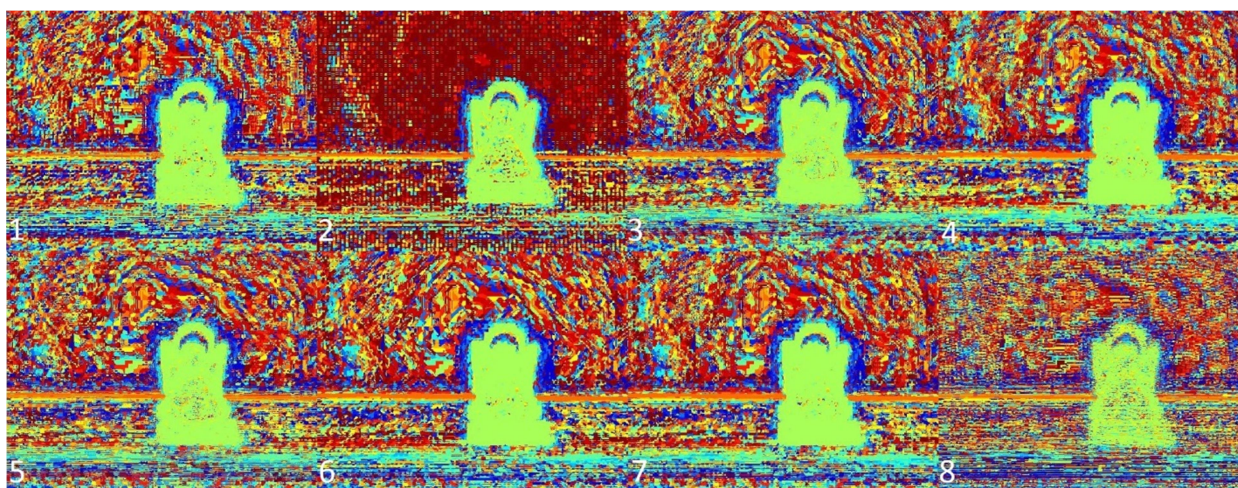
3.10 pav. Sugeneruota vientiso ryškumo nuotrauka, remiantis TENG matematiniu metodu.

1 nuotraukų rinkinys 3.11 pav. buvo užfiksuotas taip, kad pagrindinis objektas būtų supamas necharakteringos aplinkos. Ir tai puikiai matosi, 3.12 pav. ryškiau pastebimos stalo, ant kurio padėtas objektas, priekinė ir galinė briaunos. O supantis necharakteringas fonas išmargintas chaotiškų spalvų, tai rodo, kad matematiniai metodai esant nedideliame informacijos kiekiui yra neveiksni.





3.11 pav. 1 nuotraukų rinkinys.

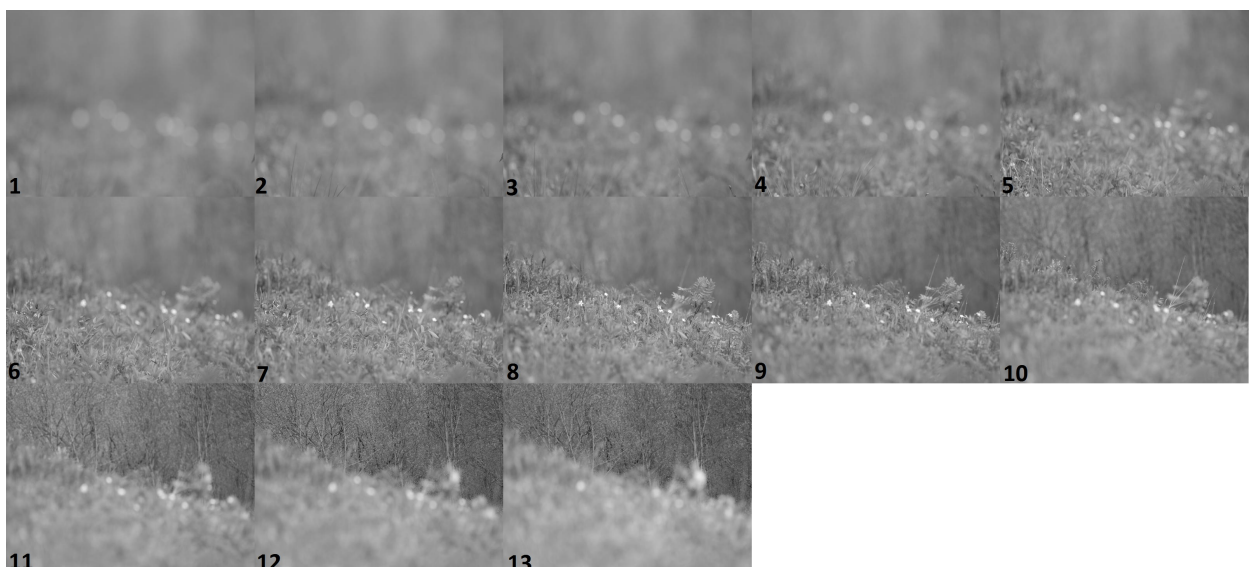


3.12 pav. Indeksų žemėlapis sugeneruotas iš 1 nuotraukų rinkinio. Sugeneruoti naudojant šiuos matematinius metodus: 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.

Bet galutinis rezultatas vertinant vizualiai yra geras. Nuotrauka atkurta kokybiškai, ji pavaizduota 3.13pav.

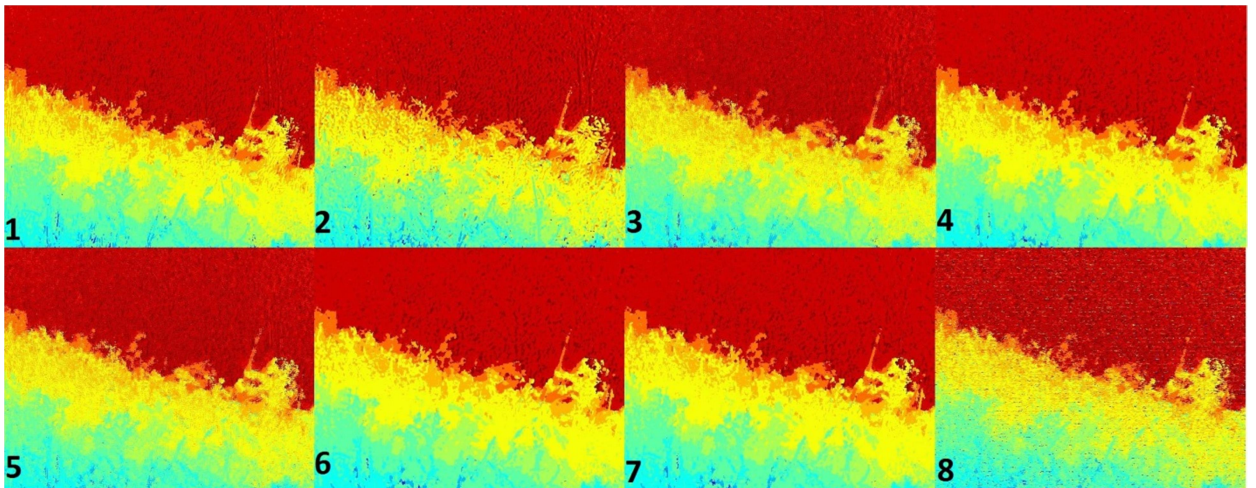
3.13 Sugeneruota vientiso ryškumo nuotrauka, remiantis SFIL matematiniu metodu.

7-ajame nuotraukų rinkinyje yra fotografuot gamta (3.14 pav), kurioje yra daug smulkių detalių. Tai labai gerai matosi indeksų žemėlapyje 3.15 pav. Daug charakteringų detalių, todėl matematiniais metodams ryškios detalės yra lengviau atpažįstamos.



3.14 pav. 7 nuotraukų rinkinys.





3.15 pav. Indeksų žemėlapis sugeneruotas iš 7 nuotraukų rinkinio. Sugeneruoti naudojant šiuos matematinius metodus: 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.

Bet atkūrus vientiso ryškumo nuotrauką iš piramidės, matome, kad nuotraukos kokybė nėra labai gera, smulkios detalės yra išsiliejusios 3.16 pav.



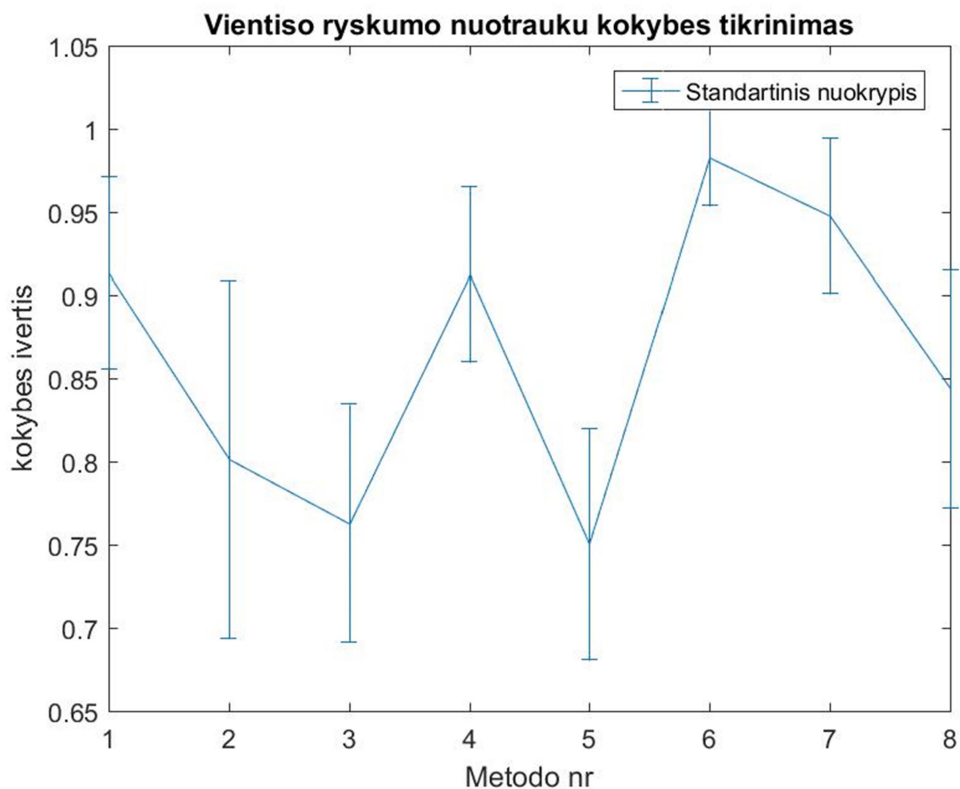
3.16 pav. Sugeneruota vientiso ryškumo nuotrauka, remiantis CURV matematiniu metodu.

### 3.3. Vientiso ryškumo nuotraukų kokybės vertinimas

Naudojant Laplaso piramides buvo sugeneruota iš 9 nuotraukų rinkinių, po 8 variantus nuotraukų naudojant skirtingus matematinius metodus. Šiais pačiais metodais įvertinta ir nuotraukų kokybė. Gauti rezultatai buvo normalizuoti ir nustatytos bendros tendencijos, būdingos visiems metodams, kuriais buvo įvertinama kokybė. Duomenys pateikti 3.17 pav. ir 3.2 lentelėje.

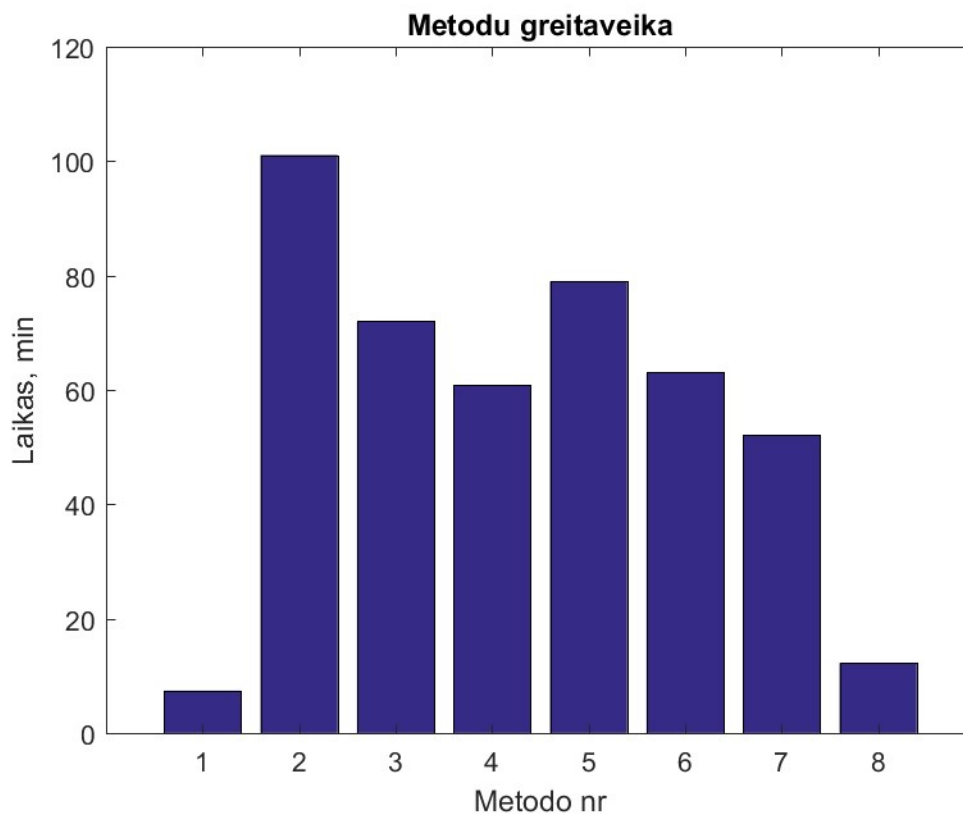
Lentelė 3.7 lentelė. Pateikti rezultatai, analizuojant matematinius metodus naudotus kuriant vientiso ryškumo nuotraukas.

Matematiniai metodai naudoti Laplaso piramidei sudaryti:								
	BREN	CURV	GDER	GLLV	SFIL	TENG	TENV	VOLA
Vidurkis	0.913	0.801	0.762	0.912	0.75	0.982	0.947	0.843
Standartinė nuokrypa	$\Delta$ 0.0579	$\Delta$ 0.1075	$\Delta$ 0.0714	$\Delta$ 0.0528	$\Delta$ 0.0695	$\Delta$ 0.0287	$\Delta$ 0.0468	$\Delta$ 0.0719



3.17 pav. Pateikti rezultatai, analizuojant matematinius metodus naudotus kuriant vientiso ryškumo nuotraukas 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA.

Iš gautų duomenų matome, kad geriausią rezultatą parodė nuotraukos generuotos naudojant TENG metodą, jos pasižymi ne tik didžiausiu kokybės įvertinimu, bet ir mažiausiu standartiniu nuokrypiu nuo vidurkio. Bet atsižvelgus į metodų greitaveiką, pastebime, kad minėtas TENG metodas, nėra sparčiausias, jo šiuo metodu sugeneruoti Laplaso piramidę užtrunka 63 minutes. O sparčiausias metodas- BREN, kuriuo piramidės generavimas trunka 7,5 minutės.



3.18 pav. Metodų greitaveika. 1-BREN (7,5 min), 2-CURV (101 min), 3-GDER (72 min), 4-GLLV (60 min), 5-SFIL(79 min), 6-TENG (63 min), 7-TENV (52 min), 8-VOLA (12 min).

## Išvados ir rezultatai

1. Atlikus literatūros apžvalgą nuspręsta nuotraukų detalumą vertinti matematiniais metodais.
2. Išbandyti 28 skirtingi nuotraukų detalumo identifikavimo metodai, naudojant nuotraukų rinkinius ir filmuotą medžiagą.
3. Išanalizavus surinktą informaciją. Nustatyta 10 metodų, kurie tiksliausiai identifikavo ryškų kadrą, nuotraukų rinkiniuose, kur ryškus kadras iš anksto žinomas. Bet du iš šių metodų (DCTE ir DCTR) yra netinkami tolimesniam darbui, dėl per didelių laiko sąnaudų.
4. Nuotraukų sujungimui pasirinktas Laplaso piramidžių metodas, kuris leidžia išvengti fragmentuoto vaizdo nuotraukoje, tolygiai sujungia gretimus regionus.
5. Naudojant Laplaso piramides ir atrinktus 8 matematinius metodus sukurtas algoritmas, kuris sujungia nuotraukų rinkinius į vientiso ryškumo nuotrauką
6. Atrinktais matematiniais metodais patikrinome sukurtas vientiso ryškumo nuotraukas, norint nustatyti, kuriuo matematiniu metodu remiantis, gaunama geriausia vaizdo kokybė. Visi metodai pademonstravo vienodą tendenciją, kad detalų vaizdo identifikuojant metodais TENG, TENV gaunamas rezultatas geriausias, bet šie metodai nepasižymi didele greitimeika, sukurti vientiso ryškumo nuotrauką trunka atitinkamai 63 ir 52 minutes. Greičiausiai veikiantis metodas BREN, jis užtruko 7,5 minutės, bet jo rezultatas vertinant kokybę yra tik 4 iš 8.
7. Norint padidinti vientiso ryškumo nuotraukų kokybę reikėtų filtruoti indeksų žemėlapi. Jame saugoma informacija iš kurios nuotraukų rinkinio nuotraukos, kuris regionas yra naudojamas vientiso ryškumo nuotraukos sukūrimui. Neteisingai identifikavus detalius regionus nuotrauka gaunasi nekokybiška, pasižyminti aukšto dažnio triukšmu. Todėl filtruojant indeksų žemėlapi žemo dažnio filtru galimai būtų padidinta vientiso ryškumo nuotraukos kokybė.

## Literatūros sąrašas

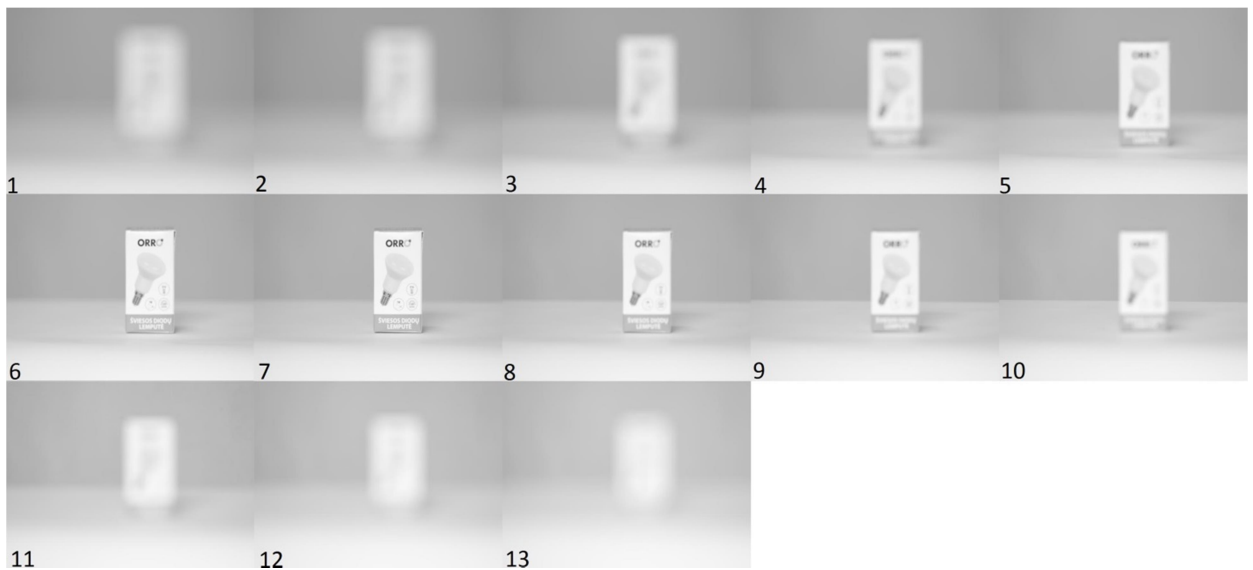
- [1] How cameras work, autofocus [žiūrėta 2016-06-15]. Prieiga internetu:  
<http://electronics.howstuffworks.com/camera1.htm>
- [2] How Focus Work [žiūrėta 2016-06-15]. Prieiga internetu:  
<http://www.bhphotovideo.com/explora/photography/tips-and-solutions/how-focus-works>
- [3] How phase detection autofocus work [žiūrėta 2016-06-15]. Prieiga internetu:  
<https://photographylife.com/how-phase-detection-autofocus-works>
- [4] A. Santos, C.O. Solórzano, J.J. Vaquero, J.M. Peña, N. Malpica, F. Pozo, “Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis,” *Journal of Microscopy*, Vol. 188, pp. 264-272, 1997.
- [5] Stefan Duthaler and Bradley J. Nelson „Autofocusing Algorithm Selection in Computer Microscopy” IEEE/RDJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005.
- [6] J.F. Brenner, B.S. Dew, J.B. Horton, J.B. King, P.W. Neirath, W.D. Sellers, “An automated microscope for cytologic research,” *J. Histochem. Cytochem*, Vol. 24, pp. 100-111, 1971.
- [7] T. Yeo, S.O. Jayasooriah, R. Sinniah, “Autofocusing for tissue microscopy,” *Image Vision Comput.*, Vol. 11, pp. 629-639, 1993.
- [8] S.K. Nayar, Y. Nakagawa, “Shape from focus,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 16, pp. 824-831, 1994.
- [9] F. Groen, I.T. Young, G. Ligthart, “A comparison of different focus functions for use in autofocus algorithms,” *Cytometry*, Vol. 12, pp. 81-91, 1985.
- [10] Nixon, M. and Aguado, A., [Feature Extraction & Image Processing, 2nd Edition], Academic Press(2008) p 159.
- [11] Mukul V. Shirvaikar ,-“ An Optimal Measure for Camera Focus and Exposure “ ,2004.
- [12] Jan-Mark Geusebroek, Frans Cornelissen, Arnold W.M. Smeulders, and Hugo Geerts ,- „Robust Autofocusing in Microscopy“ 2000.
- [13] J. L. Pech-Pacheco, G. Cristobal, J. Chamorro-Martinez & J. Fernandez-Valdivia,- “Diatom autofocusing in hrightfield microscopy: a comparative study“ 2000.

- [14] Murali Subbarao Tae Cho,-“ Focusing Techniques” 1992.
- [15] Franz Stephan Helml, Stefan Scherer: „Adaptive Shape from Focus with an Error Estimation in Light Microscopy“ 2001.
- [16] Andrea Thelen, Susanne Frey, Sven Hirsch, and Peter Hering: “ Improvements in Shape-From-Focus for Holographic Reconstructions With Regard to Focus Operators, Neighborhood-Size, and Height Value Interpolation“ 2009.
- [17] Eric Krotkov , Jean-Paul Martin: „Range from focus“ 1986.
- [18] Said Pertuz, Domenec Puig, Miguel Angel Garcia: „Analysis of focus measure operators in shape-from-focus“ Pattern Recognition 2012.
- [19] C.H. Shen, H.H. Chen, “Robust focus measure for low-contrast images”, Digest of Technical Papers of International Conference on Consumer Electronics, 2006 pp.69-70.
- [20] Sang-Yong Lee, Jae-Tack Yoo, Yogendera Kumar, and Soo-Won Kim: “Reduced Energy-Ratio Measure for Robust Autofocusing in Digital Camera”, IEEE Signal processing letters, VOL. 16, NO. 2, 2009
- [21] Automatic Focus-Stacking [žiūrēta 2017-05-22]  
<http://goodsit2.web.engr.illinois.edu/cs498dwh/final/>
- [22] Wencheng Wang, Faliang Chang. „A Multi-focus Image Fusion Method Based on Laplacian Pyramid“, JOURNAL OF COMPUTERS, VOL. 6, NO. 12, DECEMBER 2011
- [23] Focus measure [žiūrēta 2017-01-5] Prieiga internetu:  
<https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27314-focus-measure>
- [24] Yi Yao, Besma Abidi, Narjes Doggaz, and Mongi Abidi „Evaluation of Sharpness Measures and Search Algorithms for the Auto-Focusing of High Magnification Images“ 2006 [žiūrēta 2016-06-19]. Prieiga internetu:  
<http://imaging.utk.edu/publications/papers/2006/SPIE06-yy.pdf>
- [25] Hashim Mir, Peter Xu, and Peter van Beek „An extensive empirical evaluation of focus measures for digital photography“ 2014 [žiūrēta 2016-06-19]. Prieiga internetu:  
<https://cs.uwaterloo.ca/~vanbeek/Publications/spie2014.pdf>

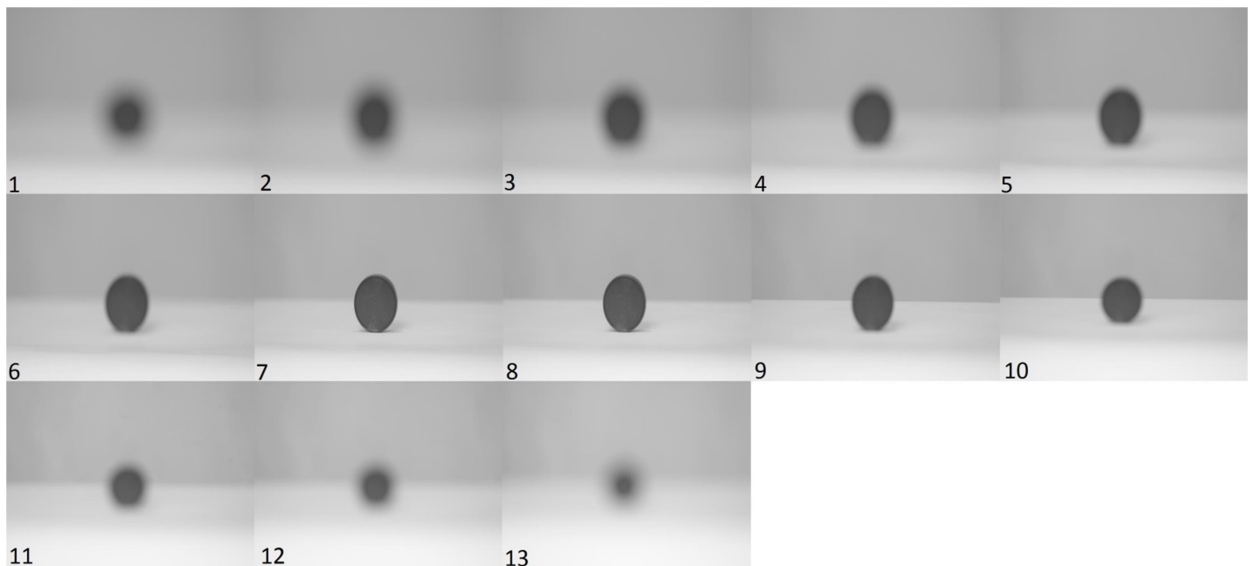


## Priedai

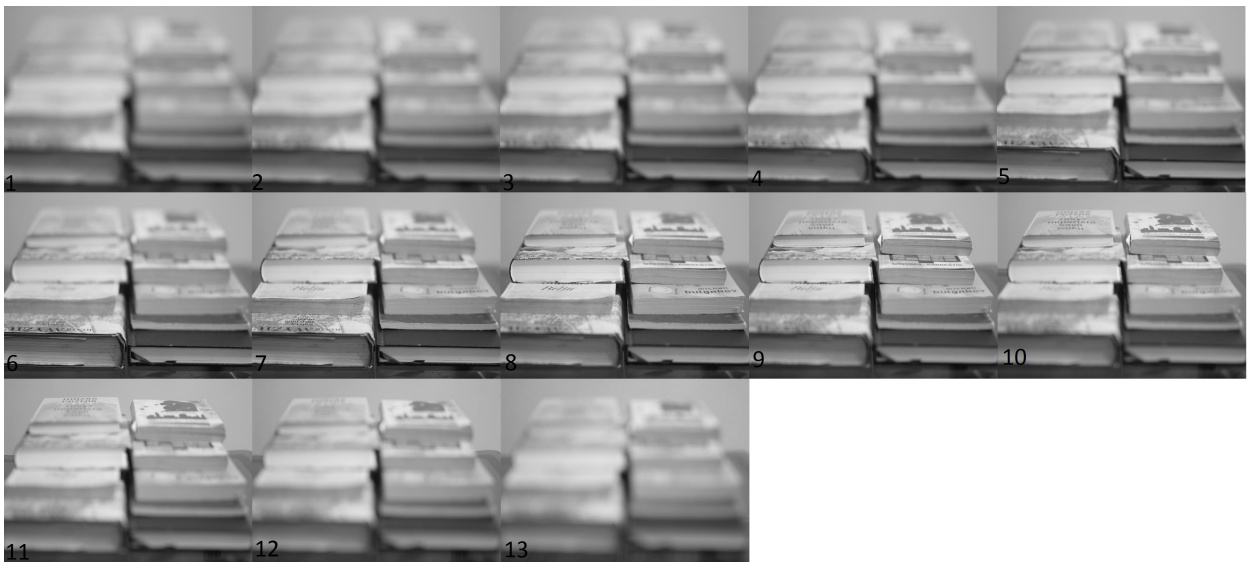
### Nuotraukų rinkiniai



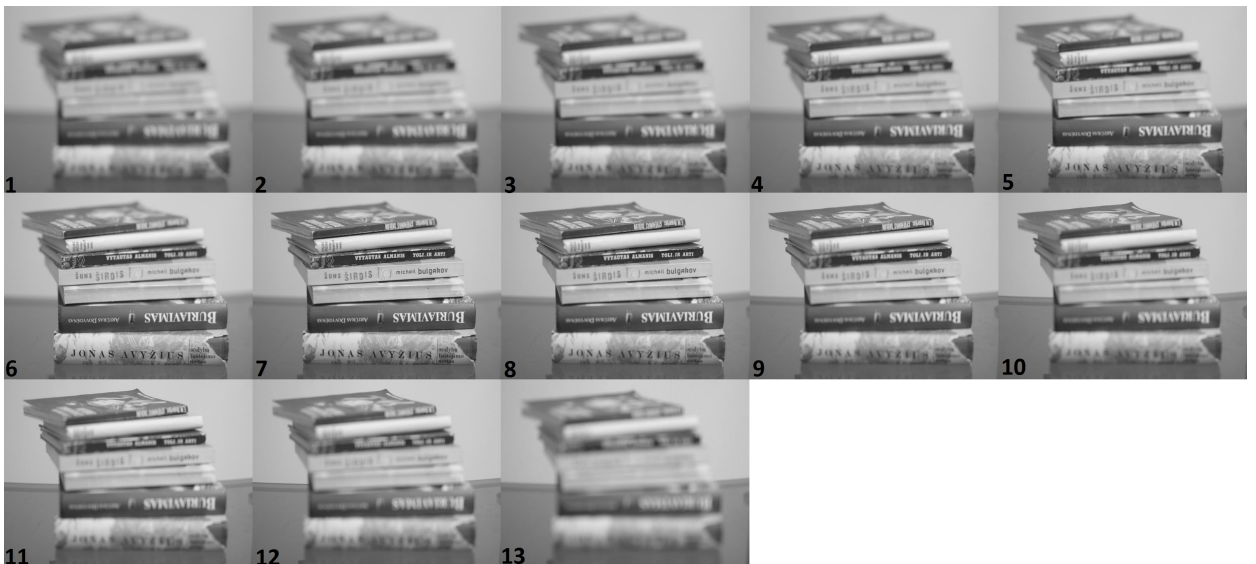
8.1.1 priedas. 2 nuotraukų rinkinys.



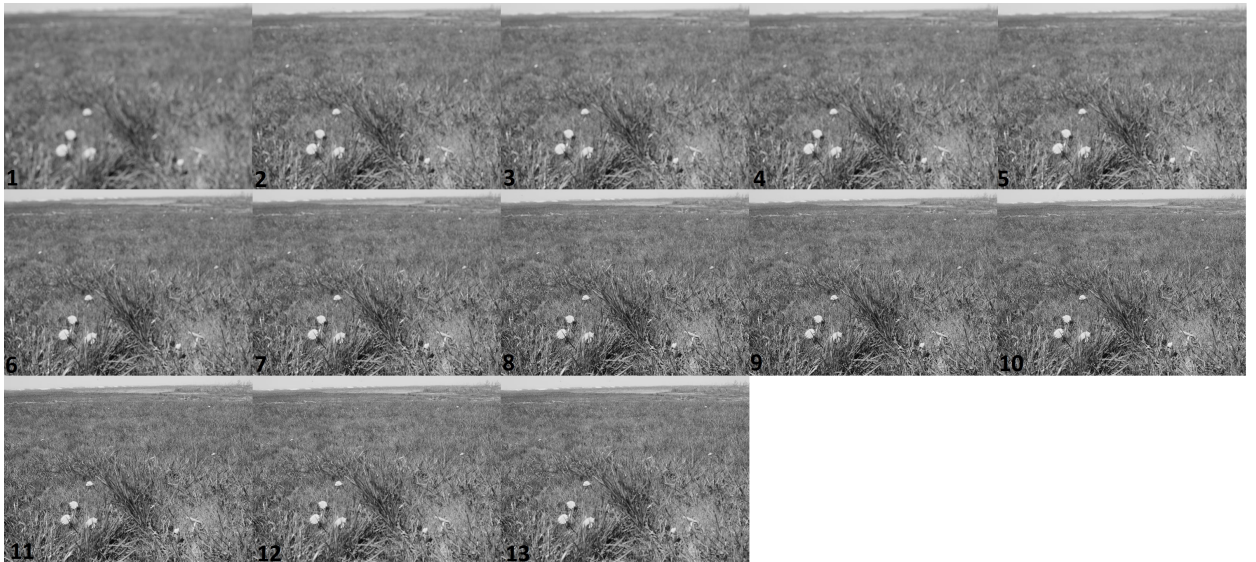
8.1.2 priedas. 3 nuotraukų rinkinys.



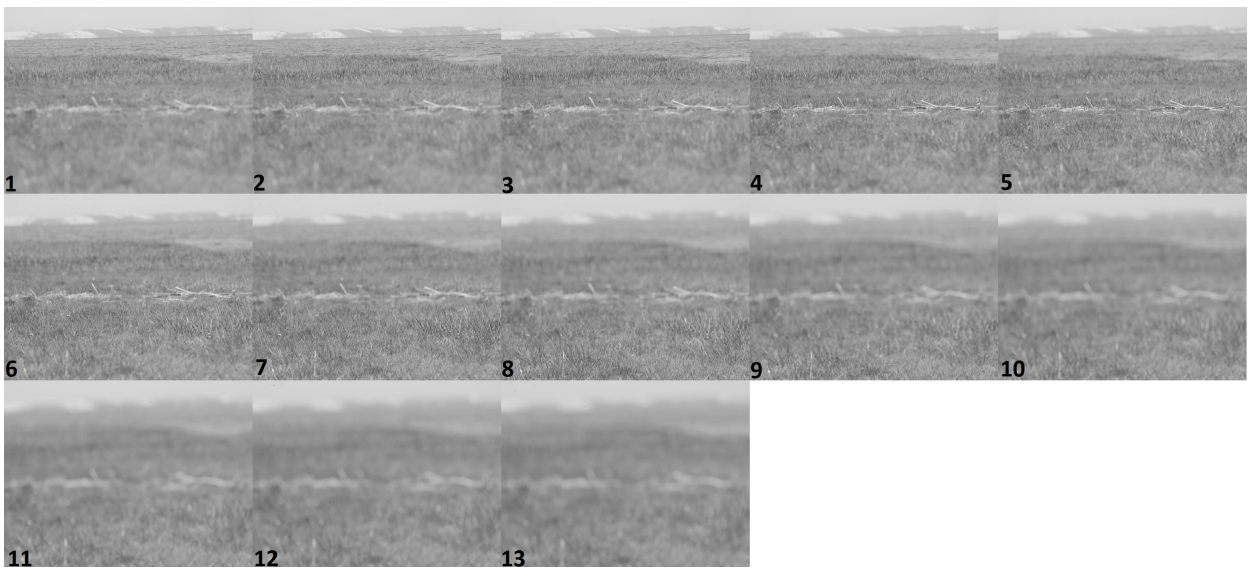
8.1.3 priedas. 5 nuotraukų rinkinys.



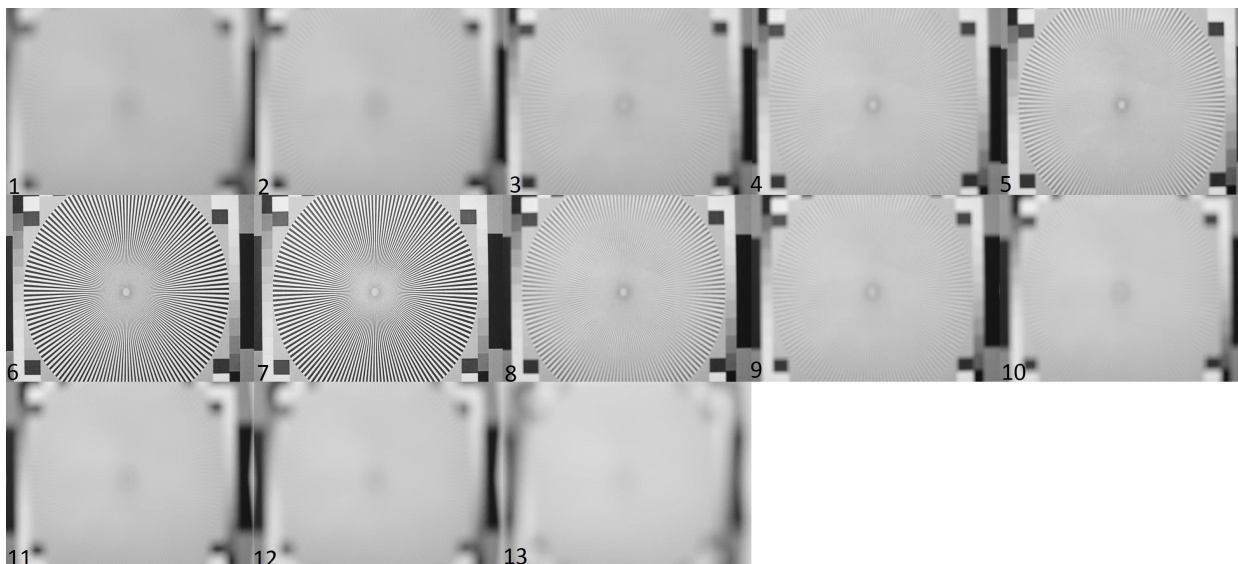
8.1.4 priedas. 6 nuotraukų rinkinys.



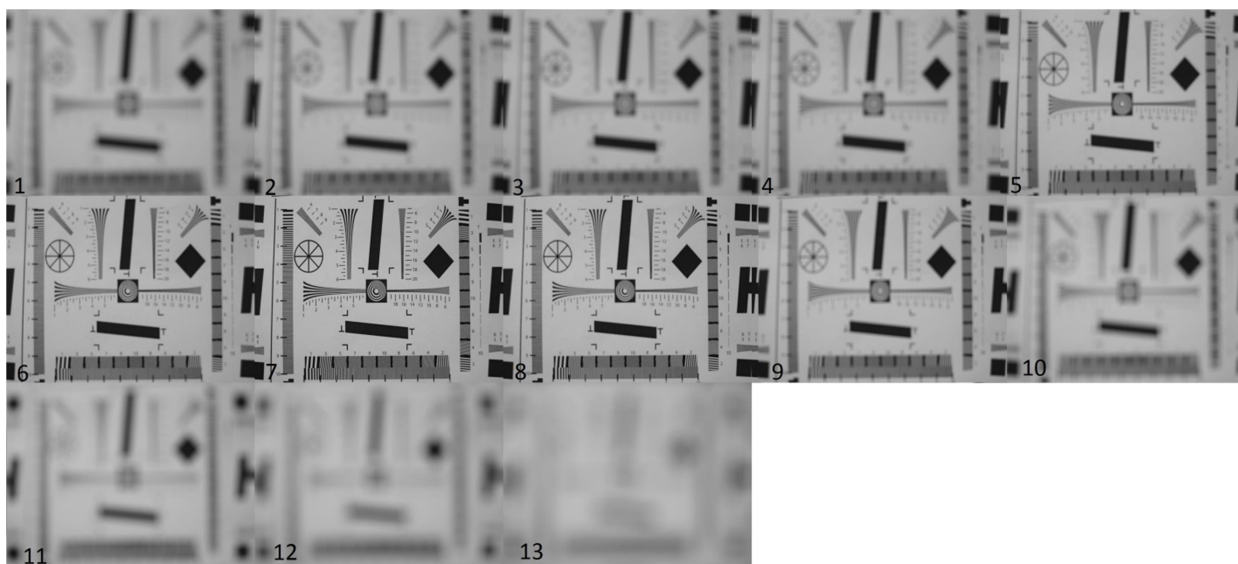
8.1.5 priedas. 8 nuotraukų rinkinys.



8.1.6 priedas. 9 nuotraukų rinkinys.

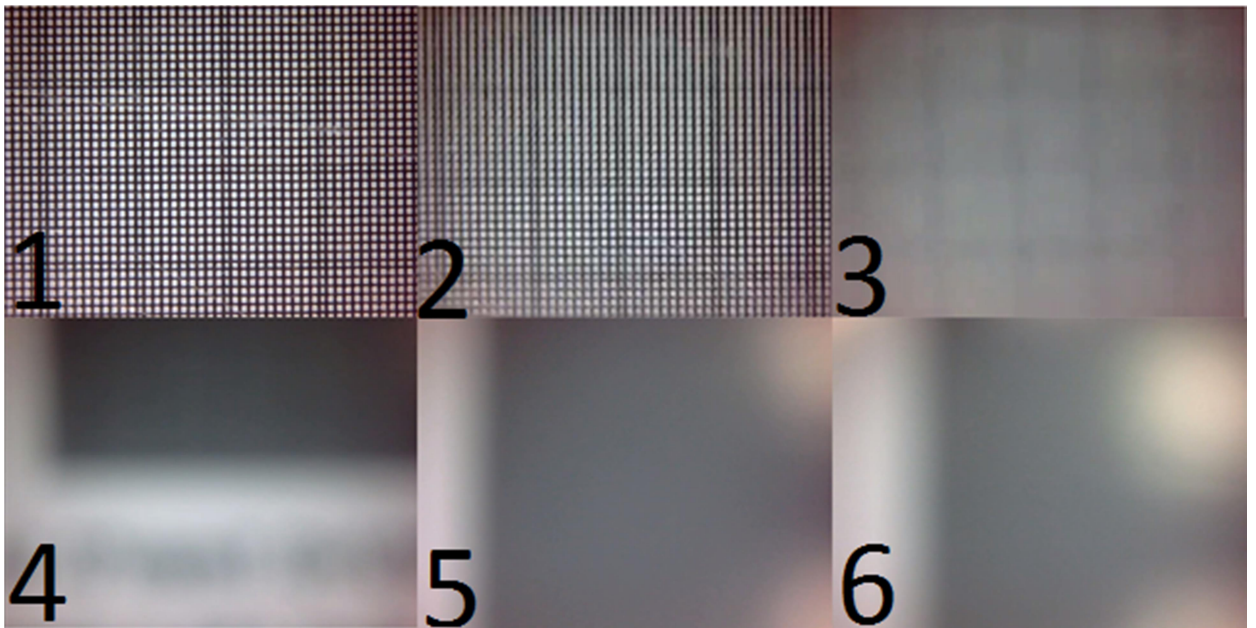


8.1.7 priedas. 10 nuotraukų rinkinys.

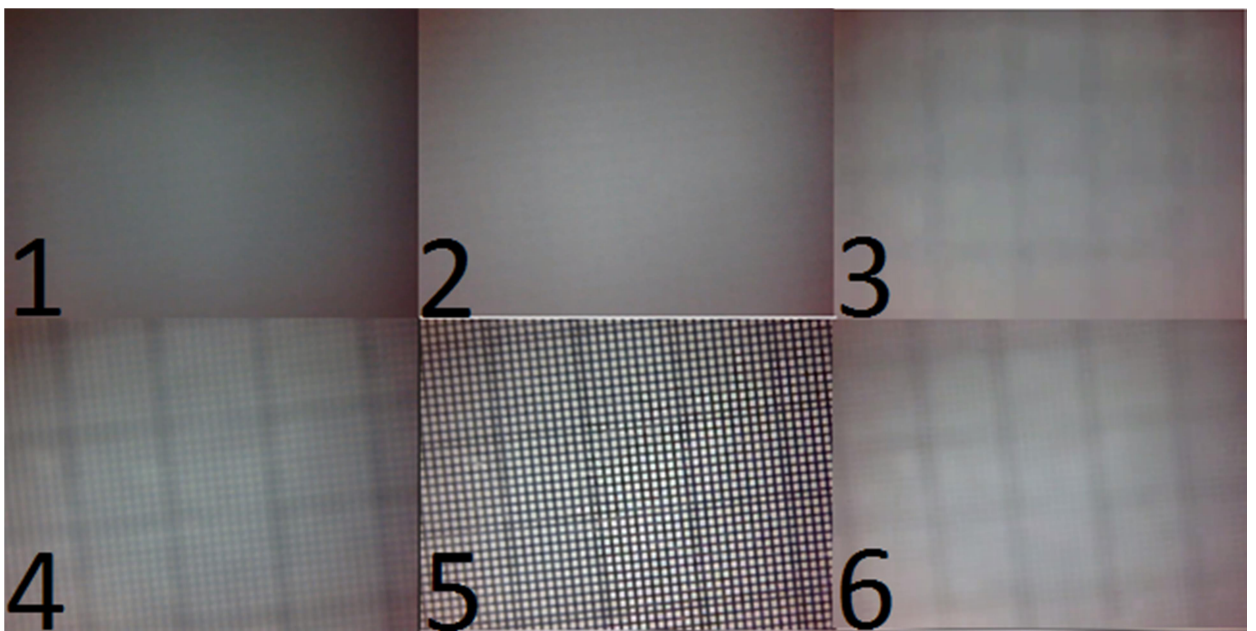


8.1.8 priedas. 11 nuotraukų rinkinys.

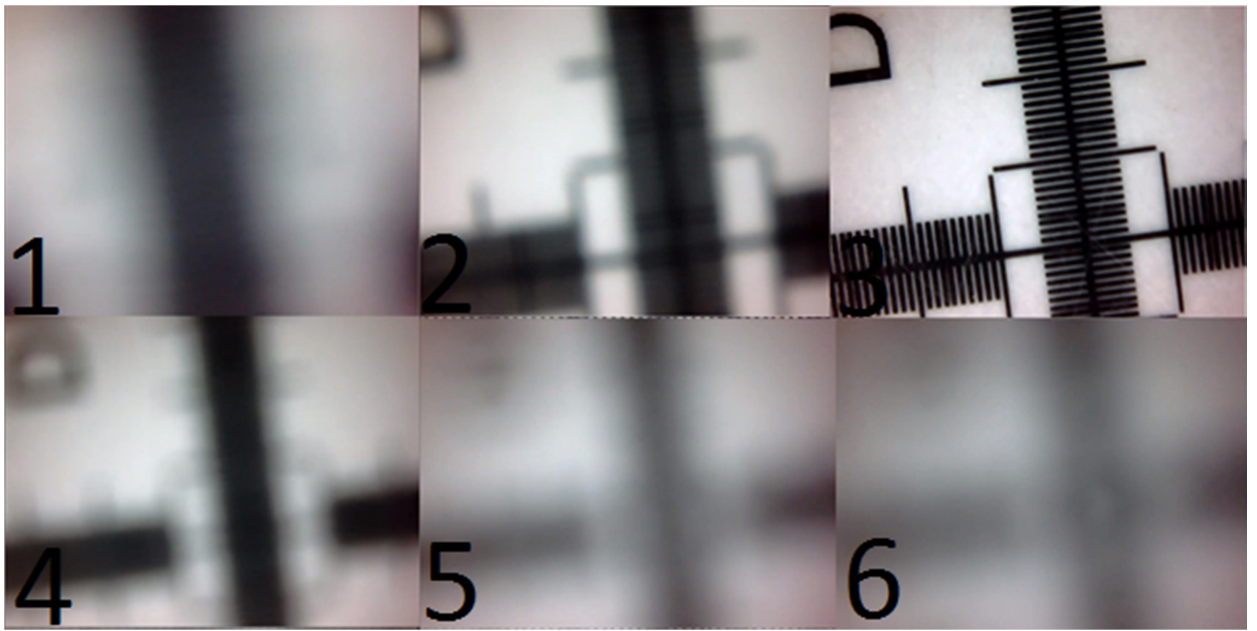




8.1.9 priedas. Vid-1 filmuotos medžiagos iškarpos.



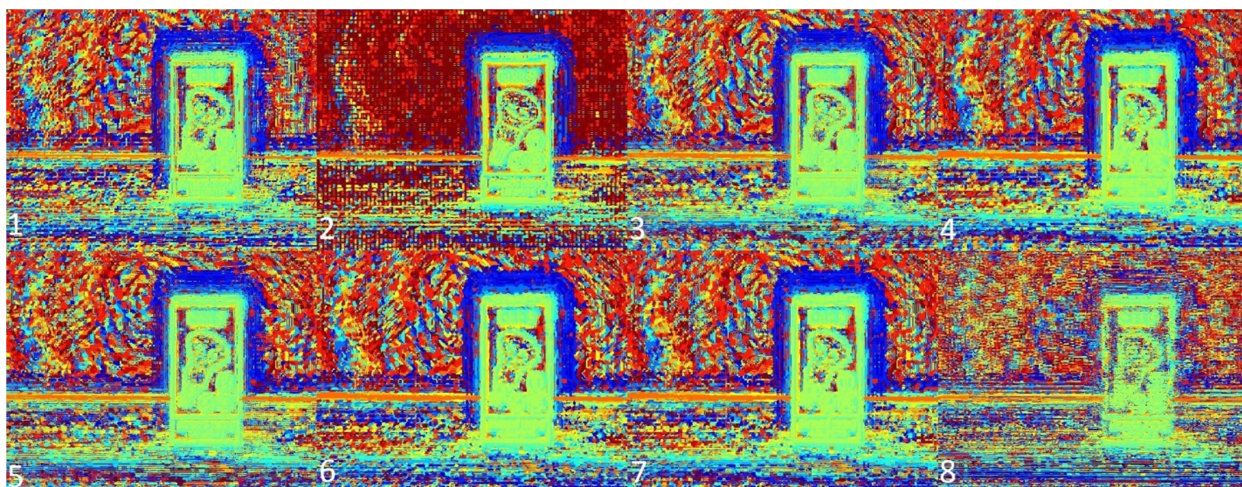
8.1.10 priedas. Vid-2 filmuotos medžiagos iškarpos.



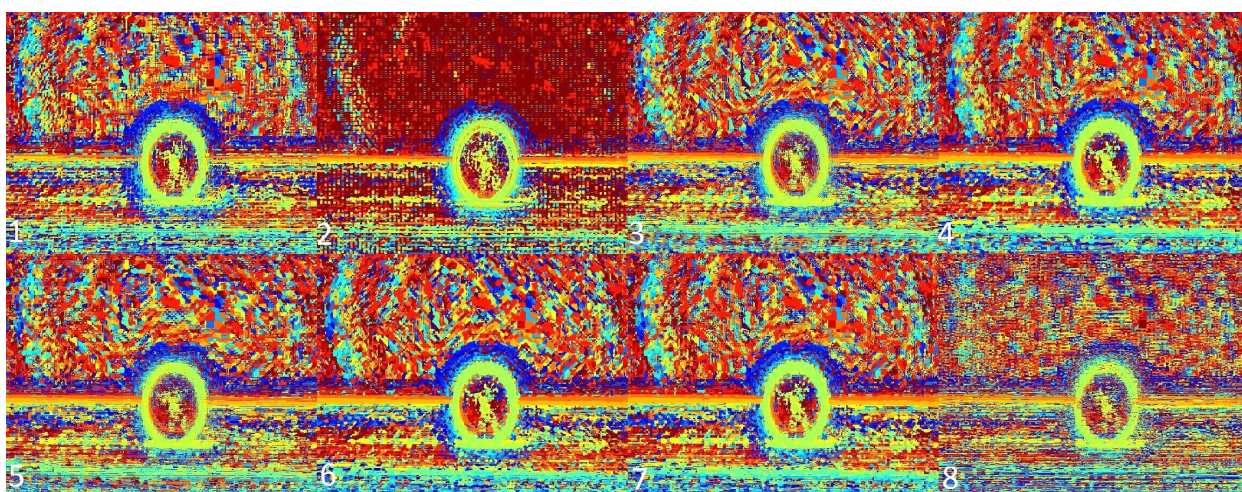
8.1.11 priedas. Vid-3 filmuotos medžiagos iškarpos.



## Indeksų žemėlapis

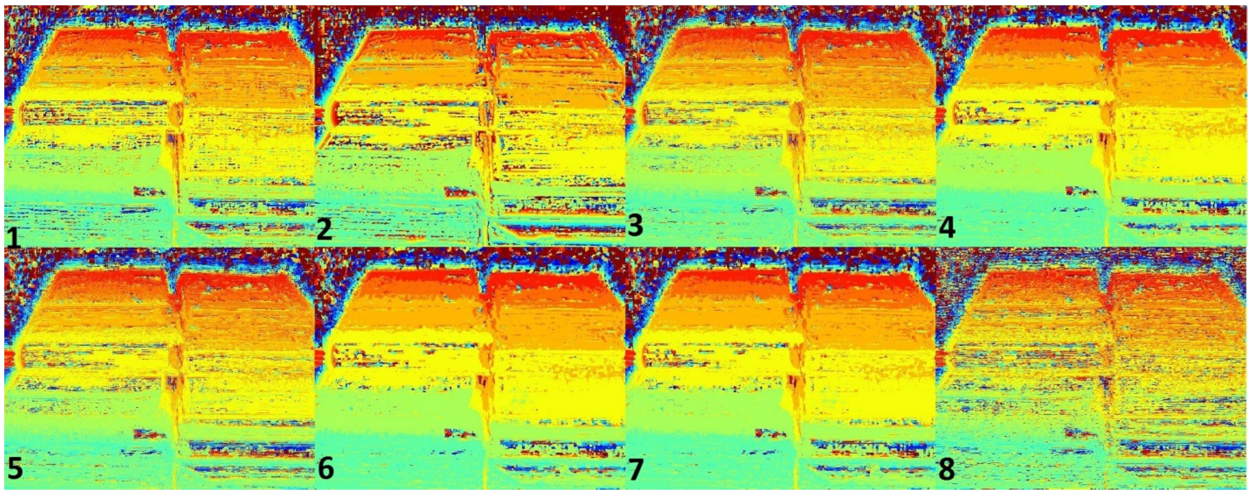


8.2.1 priedas. 2 nuotraukų rinkinio indeksų žemėlapis.

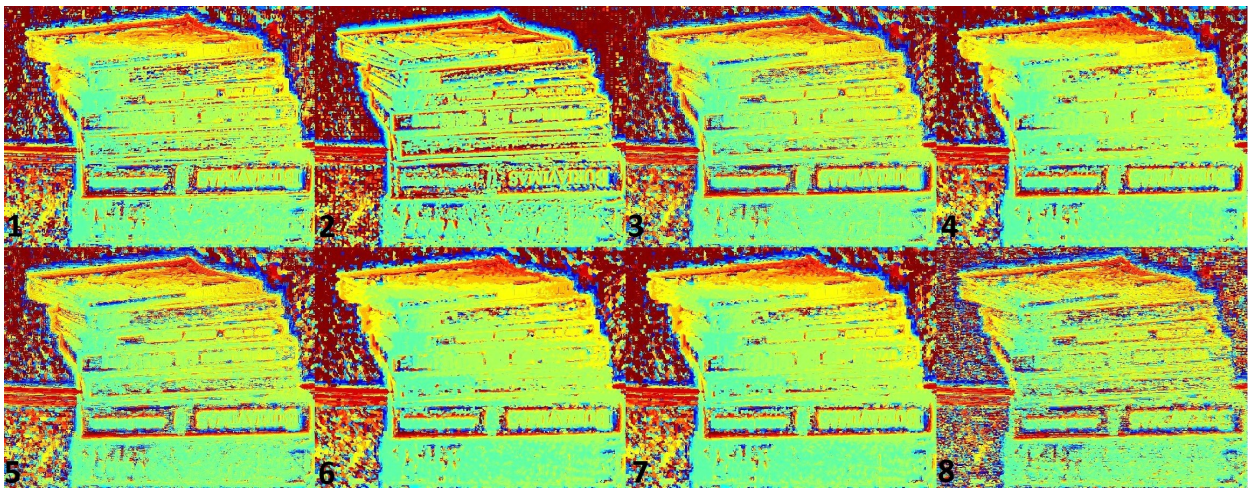


8.2.2 priedas. 3 nuotraukų rinkinio indeksų žemėlapis.

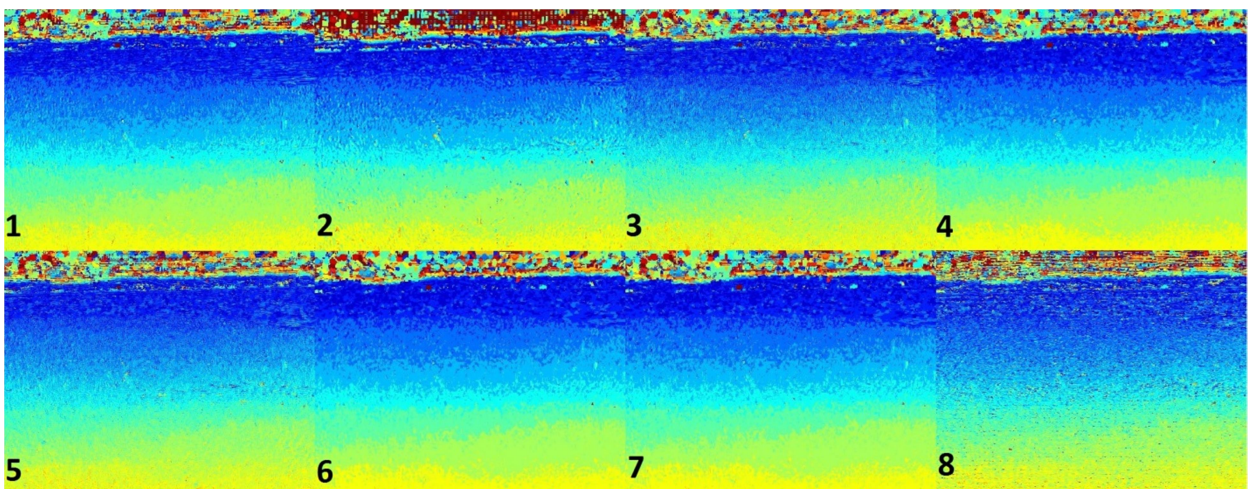




8.2.3 priedas. 5 nuotraukų rinkinio indeksų žemėlapis.

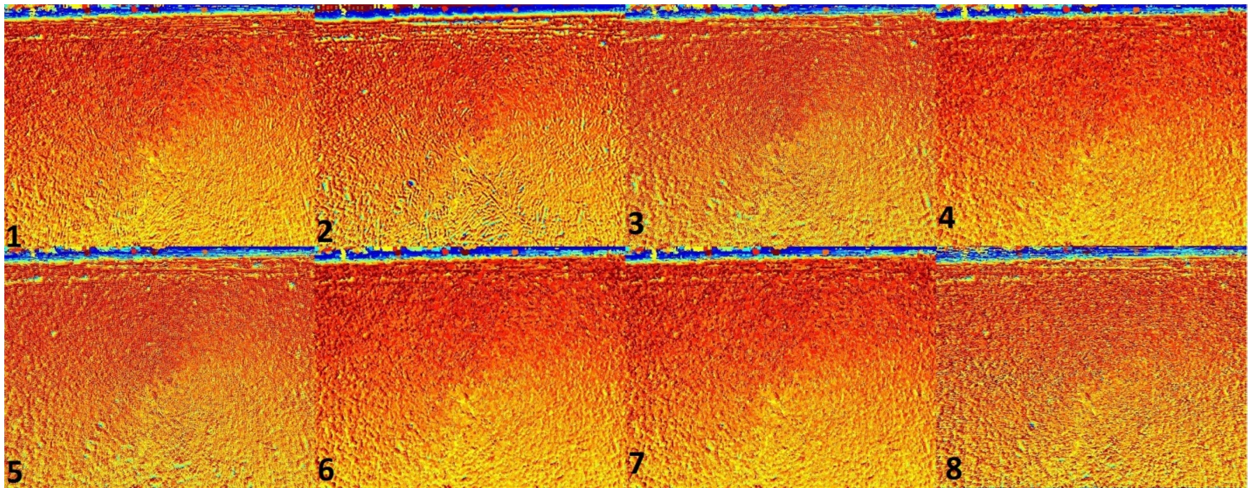


8.2.4 priedas. 6 nuotraukų rinkinio indeksų žemėlapis.



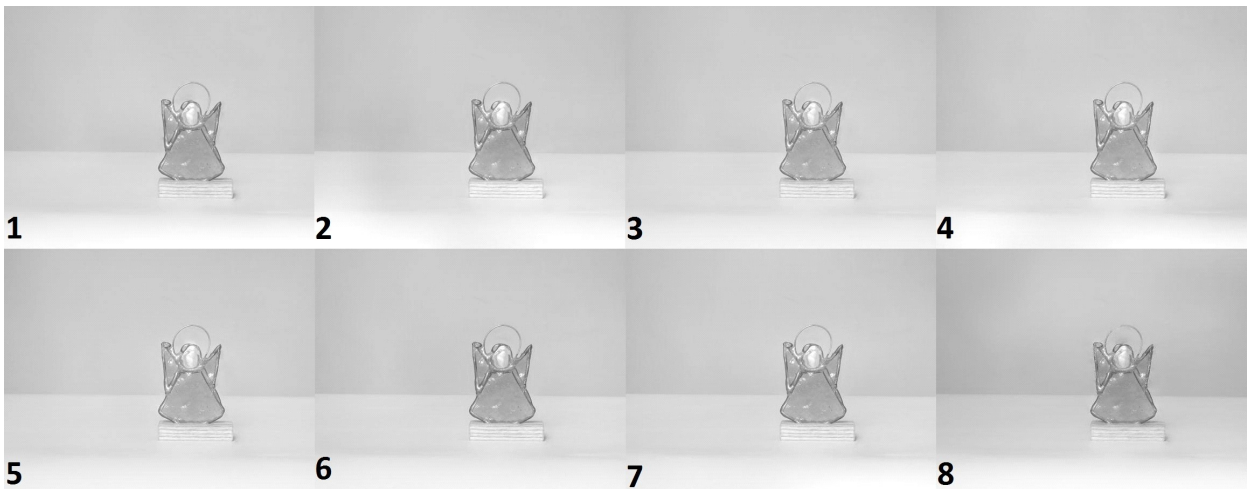
8.2.5 priedas. 8 nuotraukų rinkinio indeksų žemėlapis.





8.2.6 priedas. 9 nuotraukų rinkinio indeksų žemėlapis.

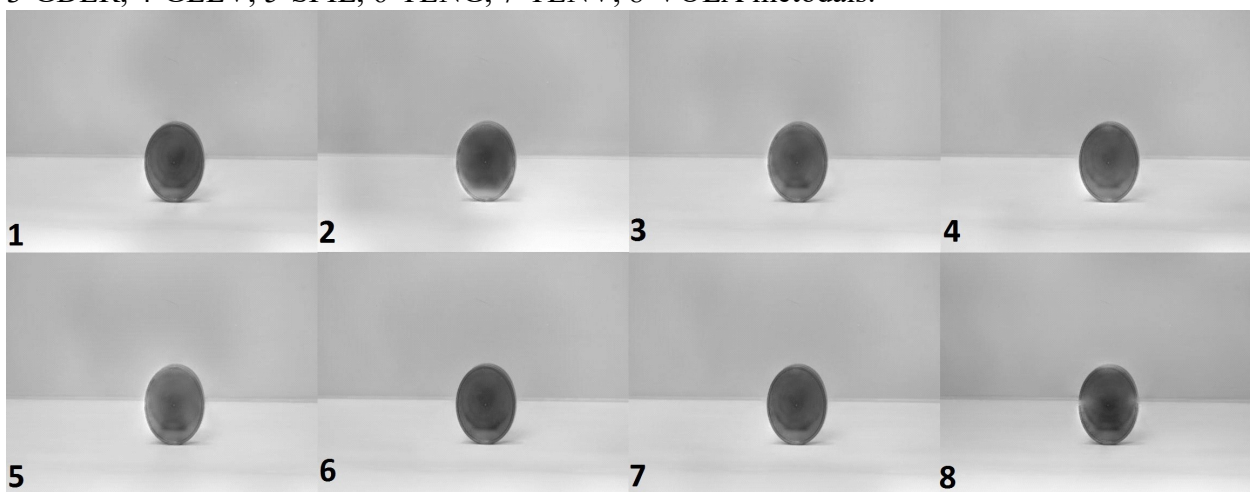
### Vientiso ryškumo nuotraukos



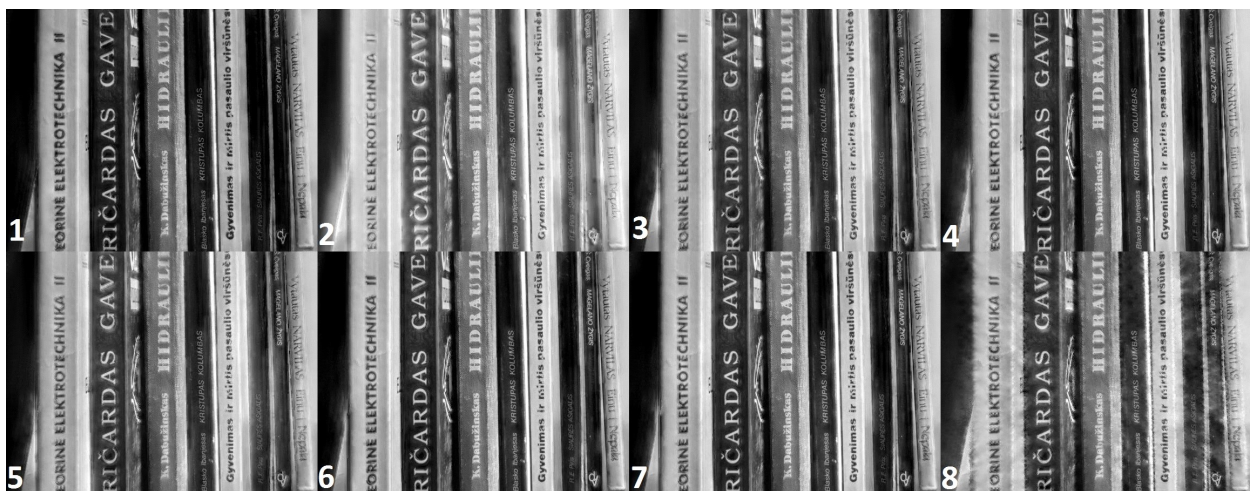
8.2.1 priedas. 1 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.



8.2.2 priedas. 2 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.



8.2.3 priedas. 3 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.

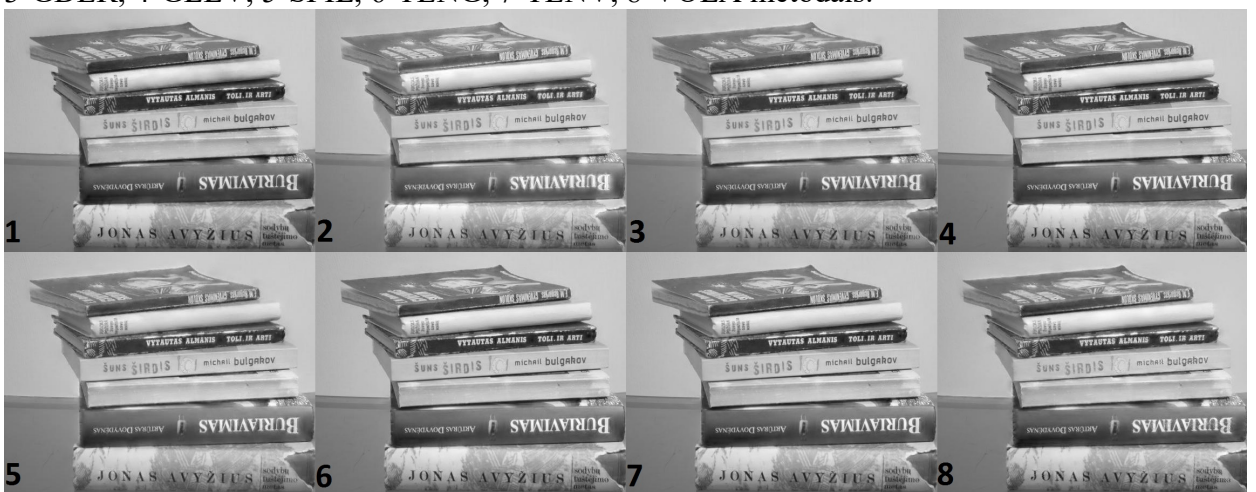


8.2.4 priedas. 4 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.

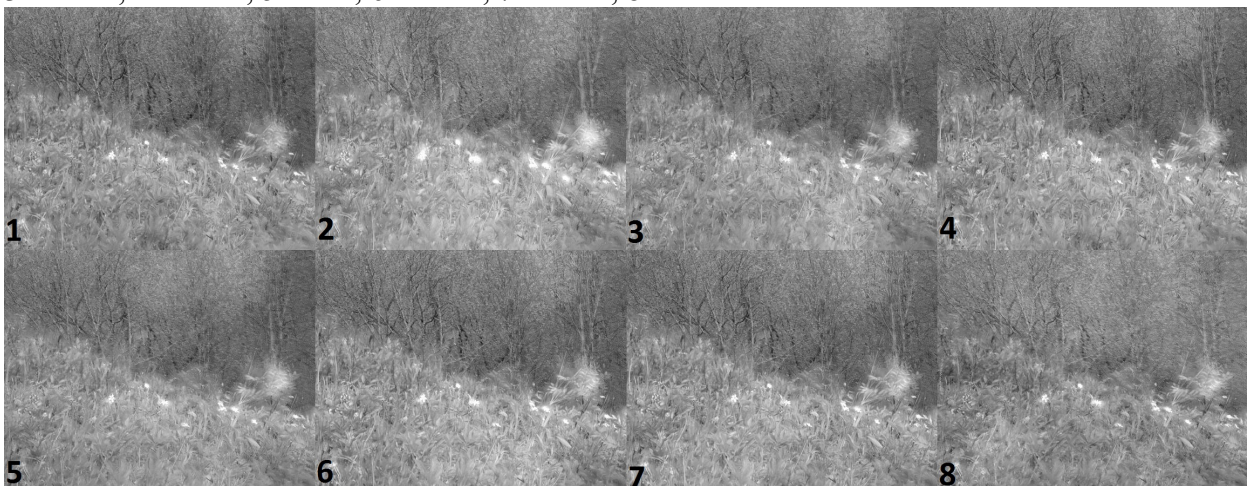




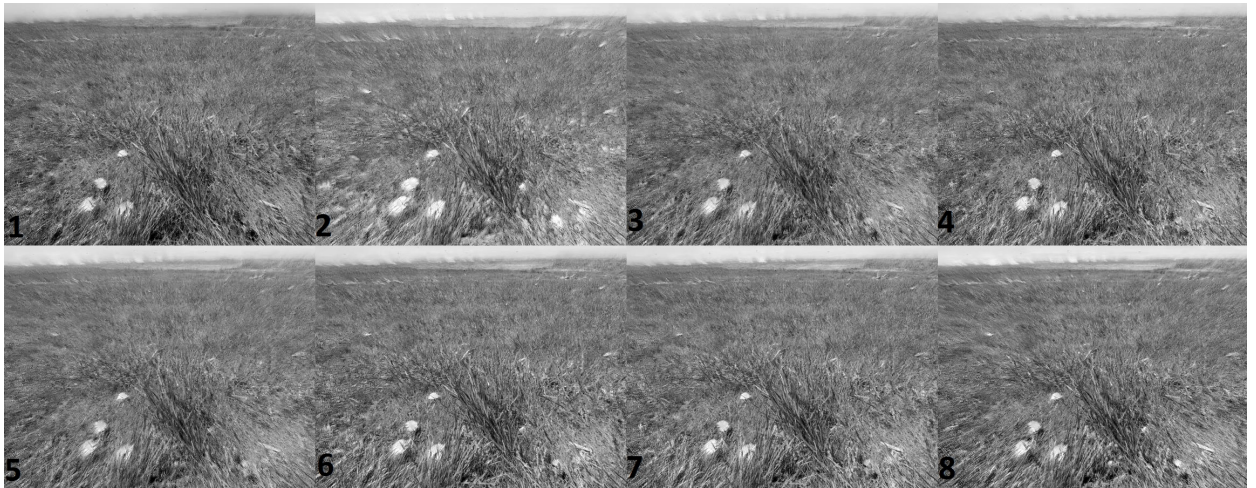
8.2.5 priedas. 5 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.



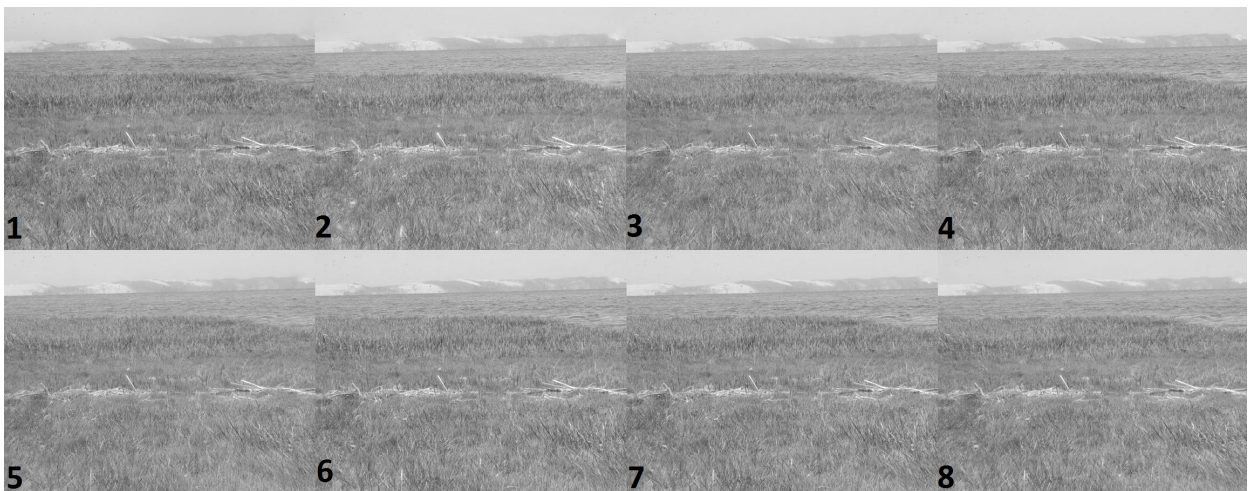
8.2.6 priedas. 6 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.



8.2.7 priedas. 7 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.



8.2.8 priedas. 8 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.



8.2.9 priedas. 9 nuotraukų rinkinio, vientiso ryškumo nuotraukos sudarytos 1-BREN, 2-CURV, 3-GDER, 4-GLLV, 5-SFIL, 6-TENG, 7-TENV, 8-VOLA metodais.