

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Matematická estetika

Bc. Marie Nedvěďová

Diplomová práce

2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marie Nedvědová**  
Osobní číslo: **I15223**  
Studijní program: **N2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Matematická estetika**  
Zadávající katedra: **Katedra softwarových technologií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Matematická estetika využívá matematiku, geometrii, teorii komunikace, psychologii a počítačovou grafiku pro popis estetických jevů.

Cílem práce je vytvořit program, který umožní realizovat výpočet různých estetických charakteristik.

Zejména bude k měření estetična implementován Klingerův-Salingarosův přístup, Birkhoffova metodika, případně další metody.

Aplikace bude generovat modifikace obrazu Colors on a grid od Ellswortha Kellyho a provádět výpočet teploty  $T$  a měr  $L$ ,  $C$ . Prozkoumán bude také vliv počtu barev na tyto charakteristiky.

Současně bude vytvořena webová stránka pro výběrové šetření k získání poznatků o emocích, které obrazy u diváka vyvolávají.

Získaná data budou analyzována statistickými metodami, kdy bude zejména zkoumán vztah emocí a estetických veličin. Využity mohou být testy nezávislosti v kontingenčních tabulkách nebo logistická regrese.

Součástí závěrečné práce bude uživatelská příručka popisující aplikaci.


Rozsah grafických prací: 15  
Rozsah pracovní zprávy: 50-60 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:


- \*BIRKHOFF, G.D. Aesthetic Measure. Cambridge: Harvard University Press, 1933. xvi+226 s.
- \*BRUTER, Claude P. Mathematics and Art: Mathematical Visualization in Art and Education. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 274 s. ISBN 978-3642077821
- \*KLINGER, A. a N. A. SALINGAROS: A Pattern Measure. Environment and Planning B: Planning and Design. 2000, vol. 27, s. 537-547. Dostupný též z WWW: <<https://arxiv.org/html/1108.5508v1>>.
- \*NEŠETŘIL, J. Aesthetic for Computers or How to Measure a Harmony. In: M. EMMER (ed.). Visual Mind 2. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2003. s. 537-547.
- \*PICKOVER C. Computers, pattern, chaos, and Beauty. Graphics from an unseen world. New York: Dover Publications, 2001. 416 s. ISBN 978-0486417097

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Jaroslav Marek, Ph.D.**  
Katedra matematiky a fyziky

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2016**  
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2017**

  
Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
děkan

L.S.

  
prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.  
vedoucí katedry

**V Pardubicích dne 15. listopadu 2016**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 17. 5. 2017

Bc. Marie Nedvědová

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji rodině a přátelům za podporu při studiu. Děkuji svému vedoucímu práce panu Mgr. Jaroslavu Markovi Ph.D. za cenné rady a připomínky. Děkuji všem respondentům výběrového šetření za jejich čas a trpělivost při vyplňování dotazníku.

## **ANOTACE**

Matematická estetika zahrnuje mnoho metod pro měření estetična. Tato práce se podrobně věnuje Klinger–Salingarově hypotéze, která popisuje účinky obrazu na lidskou psychiku dvěma vysvětlujícími estetickými proměnnými „Life“ a „Complexity“. Je zde testována hypotéza, zda psychologický efekt vyvolaný obrazem může být vyjádřený pomocí estetických proměnných. Je navržena aplikace, která generuje obrazy a určuje jejich estetické charakteristiky „Life“ a „Complexity“. S využitím náhodného generování a evolučních algoritmů jsou generovány tisíce obrazů s cílem zjistit, jakých hodnot tyto charakteristiky nabývají. Proběhne výběrové šetření s cílem získat data pro statistickou analýzu Klinger–Salingarovy hypotézy. Je navržena webová stránka, na které probíhá sběr dat formou hodnocení vybraných obrazů. Pro zpracování dat jsou využity různé statistické metody.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

matematická estetika, estetické charakteristiky obrazu, Klingerova Salingarova hypotéza

## **TITLE**

Mathematical aesthetics

## **ANNOTATION**

Mathematical aesthetics includes many methods for aesthetics measuring. This work deals in detail with the Klinger–Salingaros hypothesis which describes effects of image to human psyche by two aesthetics variables „Life“ and „Complexity“. The hypothesis is tested whether the psychological effect induced by the image can be expressed by aesthetic variables. An application is created that generates images and determines their aesthetic characteristics „Life“ and „Complexity“. With the use of random generation and evolutionary algorithms, thousands of images are generated to determine what values these characteristics acquire. A survey will be conducted to obtain data for the statistical analysis of the Klinger–Salingaros hypothesis. A web site is designed for collecting data

by evaluating a group of selected images. Various statistical methods are used for data processing.

## **KEYWORDS**

mathematical aesthetics, aesthetic characteristics of image, Klinger Salinger hypothesis

# OBSAH

ÚVOD	14
<b>1 Klingerův–Salingarosův přístup</b>	<b>16</b>
1.1 Klingerova–Salingarossova hypotéza . . . . .	16
1.2 Ukázka výpočtu charakteristik . . . . .	18
<b>2 První výběrové šetření a vyhodnocení výsledků</b>	<b>25</b>
2.1 Údaje z prvního výběrového šetření . . . . .	25
2.2 Vliv počtu barev v obrazu na charakteristiky $L$ a $C$ . . . . .	25
2.3 Výsledky z prvního výběrového šetření . . . . .	27
<b>3 Druhé výběrové šetření</b>	<b>32</b>
3.1 Disputace o oboru hodnot charakteristik $L$ a $C$ . . . . .	32
3.1.1 Generování obrazů pomocí generátoru náhodných čísel . . . . .	32
3.1.2 Generování obrazů pomocí skládání vzorů . . . . .	34
3.1.3 Generování obrazů pomocí genetického algoritmu . . . . .	35
3.1.4 Cílené generování obrazů obsahujících velké množství symetrií . . . . .	37
3.2 Transformace proměnných $L$ a $C$ do polárních souřadnic . . . . .	39
3.3 Analýza psychologických efektů . . . . .	40
3.3.1 Testování hypotézy . . . . .	40
<b>4 Závěrečná analýza výsledků</b>	<b>45</b>
4.1 Testování Klinger–Salingarosovy hypotézy . . . . .	45
4.2 Výsledky analýzy v závislosti na pohlaví respondenta . . . . .	49
4.3 Výsledky analýzy v závislosti na nejvyšším dosaženém vzdělání respondenta . . . . .	50
4.4 Výsledky analýzy v závislosti na věku respondenta . . . . .	51
<b>5 Praktická část – software</b>	<b>53</b>
5.1 Program pro generování obrazů a výpočet jejich estetických charakteristik . . . . .	53
5.2 Webová stránka . . . . .	59
<b>6 ZÁVĚR</b>	<b>63</b>
Literatura	64
Příloha 1 – uživatelská příručka aplikace	65
Příloha 2 – testovací obrazy pro první výběrové šetření	74





## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
ANOVA	Analysis Of Variance
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Key
CSRF	Cross-site Request Forgery
CSS	Cascading Style Sheets
HSL	Hue, Saturation, Lightness
HSV	Hue, Saturation, Value
HTML	HyperText Markup Language
IP	Internet Protocol
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
PNG	Portable Network Graphics
RGB	Red, Green, Blue
SQL	Structured Query Language
UML	Unified Modeling Language
URL	Uniform Resource Locator

## SEZNAM ILUSTRACÍ

1	Kruhový diagram protikladných vlastností. . . . .	17
2	Obraz rozdělený na subbloky o straně $2 \times 2$ . . . . .	18
3	Obraz rozdělený na subbloky o straně $4 \times 4$ . . . . .	19
4	Symetrie $h_1-h_4$ . . . . .	21
5	Symetrie $h_5-h_6$ . . . . .	21
6	Symetrie $h_7-h_9$ . . . . .	22
7	Hodnoty charakteristik $L$ a $C$ pro obrazy s různým počtem barev. Příklady generovaných obrazů. . . . .	26
8	Poloha testovacích obrazů v rovině $LC$ . . . . .	28
9	Poloha testovacích obrazů v rovině $lc$ . . . . .	28
10	Zastoupení pozitivních a negativních emocí – $v_1, v_2; v_3, v_4$ . . . . .	31
11	Obrazy vytvořené pomocí generátoru náhodných čísel. . . . .	32
12	Graf charakteristik $L$ a $C$ pro 300 milionů náhodně generovaných obrazů. . . . .	33
13	Detail shody charakteristik $L$ a $C$ náhodně generovaných obrazů. . . . .	33
14	Graf hodnot $L$ a $C$ obrazů náhodně generovaných a obrazů vytvářených pomocí skládání. . . . .	34
15	Obrázky vytvořené pomocí skládání vzorů. . . . .	35
16	Obrázky vytvořené pomocí genetického algoritmu. . . . .	36
17	Graf hodnot $L$ a $C$ obrazů náhodně generovaných, obrazů vytvářených pomocí skládání a obrazů generovaných s využitím genetického algoritmu. . . . .	37
18	Obrázky vytvořené za účelem dosažení vysokých symetrií. . . . .	38
19	Graf hodnot $L$ a $C$ obrazů náhodně generovaných, obrazů vytvářených pomocí skládání, obrazů generovaných s využitím genetického algoritmu, obrazů vytvořených ručně a obrazů generovaných za účelem dosažení vysokých symetrií. . . . .	39
20	Hodnoty charakteristik $L$ a $C$ pro všechny získané obrazy. . . . .	40
21	Obraz od E. Kellyho a obraz od A. Nemours. . . . .	41
22	Webová stránka – příklady odpovědí. . . . .	42
23	Webová stránka – odpovědi respondentů stručně. . . . .	43
24	Webová stránka – odpovědi respondentů detailně. . . . .	43
25	Osmíny kruhu se sférami vlivů emocí. . . . .	45
26	Střední hodnoty emoce $v_1$ (uklidňující–zneklidňující) v jednotlivých osminách kruhu. . . . .	46
27	Střední hodnoty emoce $v_2$ (příjemný–nepříjemný) v jednotlivých osminách kruhu. . . . .	47

28	Střední hodnoty emoce $v_3$ (vzrušující–skličující) v jednotlivých osminách kruhu. . . . .	48
29	Střední hodnoty emoce $v_4$ (energizující–uspávající) v jednotlivých osminách kruhu. . . . .	49
30	Hlavní okno aplikace a okno editačního režimu. . . . .	53
31	UML diagram základních tříd grafického rozhraní. . . . .	54
32	Hlavní okno aplikace a okno s volbami pro generování obrazů a zobrazení grafu. . . . .	56
33	Graf hodnot charakteristik $L$ a $C$ u vygenerovaných obrazů a náhled jednoho z obrazů. . . . .	57
34	UML diagram tříd pro generování grafu. . . . .	57
35	UML diagram tříd pro výpočet charakteristik $T$ a $H$ . . . . .	58
36	Relační model databáze. . . . .	61

## SEZNAM TABULEK

1	Life $L$ a Complexity $C$ : střední hodnoty a směrodatné odchylky pro obrazy s různými počty barev $Q$ . . . . .	26
2	První výběrové šetření: Hodnoty charakteristik $L$ a $C$ u 28 testovaných obrazů. . . . .	27
3	Naměřené hodnoty emocí. . . . .	29
4	Uklidňující–zneklidňující: $v_1$ , negativní a pozitivní odpovědi. . . . .	30
5	Příjemný–nepříjemný: $v_2$ , negativní a pozitivní odpovědi. . . . .	30
6	Vzrušující–skličující: $v_3$ , negativní a pozitivní odpovědi. . . . .	30
7	Povzbuzující–uspávající: $v_4$ , negativní a pozitivní odpovědi. . . . .	31
8	Střední hodnoty emoce $v_1$ v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. . . . .	49
9	Střední hodnoty emoce $v_2$ v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. . . . .	49
10	Střední hodnoty emoce $v_3$ v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. . . . .	50
11	Střední hodnoty emoce $v_4$ v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. . . . .	50
12	Střední hodnoty emoce $v_1$ v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. . . . .	50
13	Střední hodnoty emoce $v_2$ v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. . . . .	50

14	Střední hodnoty emoce $v_3$ v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. . . . .	51
15	Střední hodnoty emoce $v_4$ v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. . . . .	51
16	Střední hodnoty emoce $v_1$ v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. . . . .	51
17	Střední hodnoty emoce $v_2$ v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. . . . .	51
18	Střední hodnoty emoce $v_3$ v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. . . . .	52
19	Střední hodnoty emoce $v_4$ v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. . . . .	52

# ÚVOD

První myšlenky související s matematickou estetikou se objevovaly v první polovině 20. století. Matematik G. D. Birkhoff (Birkhoff, 1933) byl jedním z prvních lidí na světě, kteří začlenili matematiku do estetiky. Birkhoff vyjadřoval měrnou jednotku estetiky  $M$  jako proporcionální míru z měr uspořádanosti a složitosti  $M = O/C$ .

Jiný přístup k vyčíslení estetična můžeme nalézt v článku „A mathematical theory of Communication“ od C. E. Shannona z roku 1948. Viz (Shannon, 1948). Postupně bylo navrhováno mnoho různých estetických charakteristik. Ale většina z nich měla malé využití vzhledem k omezenému rozsahu snímků či obrazů, na které byla aplikovatelná.

Jedním z dalších způsobů měření estetična je kombinatorická entropie. Metodika měření harmonie byla navržena v (Nešetřil, 2005). Autoři Jan Adamec a Jaroslav Nešetřil na základě geometrické pravděpodobnosti a integrální geometrie zavádějí kombinatorickou entropii jako  $E = 2L/C$ , kde  $L$  je celková délka kresby a  $C$  je obvod konvexního obalu kresby.

V článku (Machado a Cardoso, 1998) jsou definovány charakteristiky „Image Complexity“ a „Processing Complexity“ a také je zde aplikována fraktální komprese obrazů.

Rozsáhlý a kvalitní přehled různých metod pro měření estetičen můžeme najít v (Heijer a Eiben, 2014).

Odpůrci matematické estetiky ale tvrdí, že matematické vzorce pro popis obrazu není možno nalézt. Například v (Hofstadter, 1979), str. 555 je napsáno: „... neexistuje soubor pravidel, podle kterých by bylo možno určit, co činí věc krásnou. A takový soubor pravidel ani existovat nemůže.“

Tato diplomová práce se bude podrobně věnovat Klinger–Salingarově hypotéze, která popisuje účinky obrazu na lidskou psychiku dvěma vysvětlujícími estetickými proměnnými „Life“ a „Complexity“, viz (Klinger a Salingaros, 2000). Předmětem intenzivního výzkumu Klinger a Salingarose byly symetrie v obrazech, když zkoumali obrazy tvořené z elementů (označovaných také jako „vzory“) uspořádaných v pravoúhlé čtvercové mřížce.

Při zpracování této práce bude navržena aplikace, která vygeneruje různé modifikace obrazu „Colors on a grid“ od Ellswortha Kellyho (viz obr. 21). Aplikace bude napsána v programovacím jazyku *Java* s využitím vývojového prostředí *NetBeans*. U vytvořených obrazů aplikace určí estetické charakteristiky „Life“ a „Complexity“. S využitím náhodného generování a evolučních algoritmů budou generovány tisíce obrazů s cílem

zjistit, jakých hodnot tyto charakteristiky nabývají pro různé počty barev elementů. Takové výsledky umožní hodnoty  $L$  a  $C$  pro různý počet barev standardizovat.

Proběhnou dvě výběrová šetření s cílem získat data pro statistickou analýzu Klinger–Salingarosovy hypotézy. Pro první výběrové šetření bude zvoleno 28 testovacích obrazů, které budou tvořeny elementy o 2 až 61 barvách. Při zpracování prvního výběrového šetření se prokáže, že charakteristiky  $L$  a  $C$  závisí nejen na symetriích, ale i na počtu barev. Tato skutečnost povede k nutnosti standardizovat tyto charakteristiky. Po standardizaci zvolených testovacích obrazů bude zjištěno, že obrazy nebyly zvoleny vhodně. Proto bude později uspořádáno druhé výběrové šetření s jinou množinou testovacích obrazů.

Pro druhé výběrové šetření bude z vygenerovaných obrazů zvoleno osm obrazů s takovými charakteristikami, které budou mít v rovině  $LC$  popsané v polárních souřadnicích azimut v intervalu  $(-\frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{8})$ ,  $(\frac{\pi}{8}, \frac{3\pi}{8})$ ,  $(\frac{3\pi}{8}, \frac{5\pi}{8})$ ,  $\dots$ . Devátý obraz bude zvolen v blízkosti těžiště hodnot  $L$  a  $C$ . Výběr obrazů bude proveden pouze pro 2, 3 a 4 barvy elementů. Celkově bude pro testování vybráno  $3 \times 9 = 27$  obrazů. Volba azimutů souvisí s Klinger–Salingarosovou hypotézou, ze které lze vyvodit, že obrazy s různým azimutem daným hodnotami  $L$  a  $C$  vyvolávají odlišné emoce.

Pro statistickou analýzu této hypotézy je třeba získat měření emocí u vybraných obrazů pro dostatečně velkou skupinu diváků. Pro získání takových měření bude navržena webová stránka (Nedvědová, 2017). Webová stránka bude vytvořena v programovacím jazyku PHP ve vývojovém prostředí *NetBeans*. Bude využívat databázový server *MySQL*, pro vývoj a testování bude využit lokální webový server *Apache*. U každého respondenta budou v dotazníku získány informace o pohlaví, věku, vzdělání. Webová stránka každému respondentovi vygeneruje náhodně 15 obrazů z 27 testovaných obrazů. Respondent poté pomocí posuvníků označí emoce na čtyřech osách:  $v_1$  uklidňující–zneklidňující;  $v_2$  příjemný–nepříjemný;  $v_3$  vzrušující–skličující;  $v_4$  energizující–uspávající. V popisné statistice jsou náhodné výběry s počtem respondentů do 30 považovány za malé. Snahou bude získat velký náhodný výběr, kde bývá vyžadováno minimálně 60 až 100 odpovědí.

V části diplomové práce budou detailně popsány průběhy, výsledky a analýzy získaných dat.

# 1 Klingerův–Salingarosův přístup

## 1.1 Klingerova–Salingaroso­va hypotéza

Australský matematik Nikos Salingaros společně s profesorem Allenem Klingerem navrhli numerickou metodu pro měření estetických charakteristik u obrazů, které se skládají z jednoduchých elementů (vzorů) (Klinger a Salingaros, 2000). Podmínkou je umístění jednotlivých elementů v pravidelných čtvercových polích. V jejich metodě jsou měřeny dvě základní vlastnosti obrazu: počet různých typů prvků a počet symetrií v uspořádání elementů.

Definují se dvě vzájemně se doplňující charakteristiky:  $L$  (Life – život) a  $C$  (Complexity – složitost), které se počítají pro obraz jako celek a následně i pro jeho subelementy.

Například při definici charakteristik pro obraz složený ze 64 elementů v pravidelné  $8 \times 8$  mřížce jsou charakteristiky počítány pro celý čtverec  $8 \times 8$  a pak pro jeho subelementy složené z  $4 \times 4$  a  $2 \times 2$  polí. Pro obraz sestávající z 36 elementů v pravidelné  $6 \times 6$  mřížce jsou charakteristiky počítány pro čtverec  $6 \times 6$  a pak pro jeho subelementy složené z  $3 \times 3$  a  $2 \times 2$  polí. Podle Klingera a Salingarose vše naznačuje tomu, že hodnota charakteristiky  $L$  určuje to, do jaké míry pozorovatelům připadá obraz „zajímavý“, což by mohlo pomoci vyčíslit vizuální propojení dvojrozměrných vzorů s divákem. Charakteristika  $C$  určuje míru náhodnosti pole.

Vizuální obrazy jsou buď okamžitě pochopitelné, nebo ne, na základě toho, jakým způsobem jsou zpracovány naší myslí. To závisí na obsahu obrazu jako celku, ale také na vztazích mezi jeho jednotlivými obsahovými elementy. Mezi operace vedoucí k okamžitému pochopení obrazu patří vnímání spolu souvisejících elementů a počet jejich opakování. Míra symetrie je určována porovnáváním souvisejících elementů a jejich vzájemného umístění v obrazu. Největší výtvo­ry lidstva – ať už jde o budovy, města, umělecká díla či artefakty – nejsou jednoduchá ani náhodná, ale vykazují vysoký stupeň organizované složitosti (Klinger a Salingaros, 2000).

Klinger a Salingaros určují charakteristiky  $L$  a  $C$  pomocí veličin  $T$  a  $H$ . Veličina  $T$  (Temperature – teplota) vyjadřuje různost elementů, v našem případě se v obrazu či v jeho subbloku spočítá jako počet různých barev minus jedna. Veličina  $H$  (Harmony – harmonie) měří korelaci subbloků pomocí vybraných symetrií.  $H$  se dá také nazvat negativní entropií (negativní neuspořádaností), protože přítomnost symetrií je svázána s absencí vizuální neuspořádanosti.



Vzorce pro výpočet  $L$  a  $C$  pomocí charakteristik  $T$  a  $H$  jsou:

$$\begin{aligned} L &= TH, \\ C &= T(H_{max} - H), \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $H_{max}$  je maximální  $H$ , kterého lze dosáhnout v daném systému.

Entropii  $S$  pak lze spočítat jako

$$S = H_{max} - H, \quad (2)$$

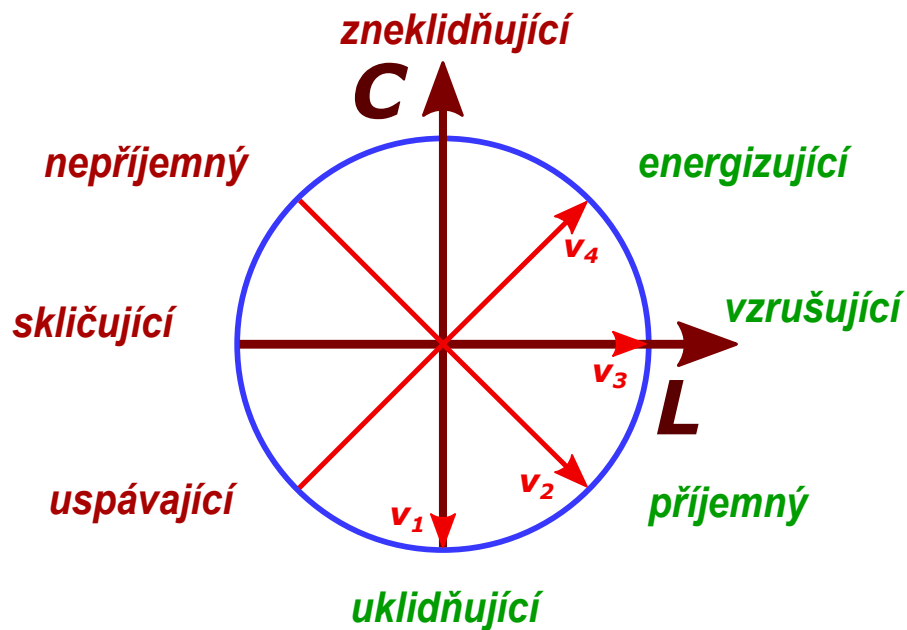
kdy po dosazení do výrazu (1) dostáváme:

$$C = TS. \quad (3)$$

Při praktickém výpočtu je však mnohem jednodušší spočítat  $H$  (dané součtem symetrií) než  $S$ , kde je nutné určit stupeň neuspořádanosti. Maximální symetrie  $H_{max}$  je konstantní pro každý specifický systém a pro neměnné  $T$  jsou složené míry  $L$  a  $C$  rozdílné. Platí:

$$C + L = TH_{max}. \quad (4)$$

A proč měříme  $T$ ,  $H$  a z nich pak počítáme  $L$  a  $C$ ? Klinger a Salingaros se domnívají, že z obrazu měřitelné charakteristiky  $T$  a  $H$  nejsou přímo vnímatelné pro pozorovatele. Tvrdí, že právě veličiny  $L$  a  $C$  vytváří výsledný dojem z obrazu.



Obrázek 1 – Kruhový diagram protikladných vlastností. Zdroj: vlastní.

Obr. 1 je modifikován podle obrázku z článku (Klinger a Salingaros, 2000). Je zde zobrazen kruhový diagram, který dokumentuje protikladné vlastnosti: uklidňující–znekliďující; příjemný–nepříjemný; vzrušující–skličující; energizující–uspávající.

Schéma vytváří dvourozměrnou oblast možných odpovědí na otázku, jak daný obraz může působit na lidskou psychiku. Pomocí měření charakteristik  $L$  a  $C$  by měl být předvídatelný celkový dojem z obrazu. Zatímco nejnižším naměřeným hodnotám  $C$  by měl odpovídat ospalý či uklidňující obraz, pro vysoké hodnoty  $C$  by naopak měl být povzbuzující či zneklidňující. Nízké hodnoty charakteristiky  $L$  mají poukazovat na ponurý či nepříjemný obraz, vysoké mají být známkou obrazu vzrušujícího či příjemného.

Pro přehlednost pro čtení práce uvedeme přehledně označení a pojmenování proměnných.

$L$  Life (Život) – míra zajímavosti obrazu,

$C$  Complexity (Složitost) – míra náhodnosti pole,

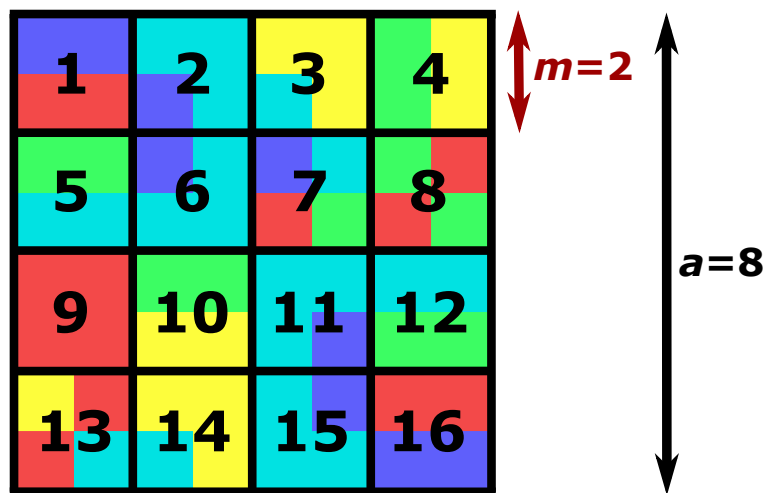
$T$  Temperature (Teplota) – různost elementů,

$H$  Harmony (Harmonie) – uspořádanost pole,

$S$  Entropy (Entropie) – neuspořádanost.

## 1.2 Ukázka výpočtu charakteristik

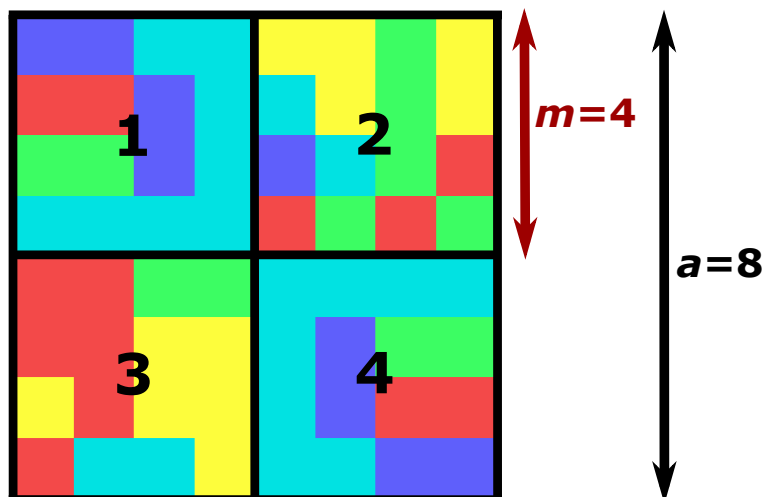
Nejdříve vypočteme  $T$  a  $H$ , a z nich pak dosazením do vztahů vypočteme  $L$  a  $C$ . Pro výpočet  $T$  a  $H$  si budeme muset obraz rozdělit na menší části (subbloky).



Obrázek 2 – Obraz rozdělený na subbloky o straně  $2 \times 2$ . Zdroj: vlastní.

### Výpočet $T$

Budeme počítat dílčí  $T(m \times m)$  pro obraz rozdělený na šestnáct subbloků o straně  $2 \times 2$ , na čtyři subbloky o straně  $4 \times 4$  a pak pro obraz jako celek (blok o straně  $8 \times 8$ ). Výsledné  $T$  se bude počítat z těchto dílčích  $T(m \times m)$ .



Obrázek 3 – Obraz rozdělený na subbloky o straně  $4 \times 4$ . Zdroj: vlastní.

Obecný vzorec pro výpočet dílčí  $T(m \times m)$  lze zapsat ve tvaru:

$$T(m \times m) = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} T_i(m \times m), \quad (5)$$

kde  $m$  je délka strany subbloku a  $n_m$  je počet těchto subbloků v obraze.  $n_m$  lze také vyjádřit vztahem  $a^2/m^2$ , kde  $a$  je délka strany obrazu a  $m$  je délka strany subbloku.  $T$  nabývá hodnoty součtu různých barev v jednotlivých subblocích zmenšeného o jedna.

### Obraz rozdělený do bloků $2 \times 2$

Dílčí  $T(2 \times 2)$  pro obraz rozdělený na subbloky o straně  $2 \times 2$  spočítáme takto:

$$T(2 \times 2) = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} T_i(2 \times 2). \quad (6)$$

Pro obraz na obr. 1 veličina  $a$  nabývá hodnoty 8, veličina  $m$  je rovna 2. Spočítáme tedy  $n_2$ :

$$n_2 = \frac{a^2}{m^2} = \frac{8^2}{2^2} = 16.$$

Po dosazení do vzorce (6) dostáváme:

$$\begin{aligned} T(2 \times 2) &= \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} T_i(2 \times 2) = \frac{1}{16} (T_1(2 \times 2) + \dots + T_{16}(2 \times 2)) = \\ &= \frac{1}{16} (1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1 + 0 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1) = \frac{18}{16} = 1,125. \end{aligned}$$

### Obraz rozdělený do bloků $4 \times 4$

Dílčí  $T(4 \times 4)$  pro obraz rozdělený na subbloky o straně  $4 \times 4$  spočítáme takto:

$$T(4 \times 4) = \frac{1}{n_4} \sum_{i=1}^{n_4} T_i(4 \times 4). \quad (7)$$

Spočítáme  $n_4$  a dosadíme do vzorce (7):

$$n_4 = \frac{a^2}{m^2} = \frac{8^2}{4^2} = 4.$$

$$\begin{aligned} T(4 \times 4) &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 T_i(4 \times 4) = \frac{1}{4} \cdot (T_1(4 \times 4) + \dots + T_4(4 \times 4)) = \\ &= \frac{1}{4} \cdot (3 + 4 + 3 + 3) = 13/4 = 3,25. \end{aligned}$$

Dílčí  $T(8 \times 8)$  pro blok o straně  $8 \times 8$  spočítáme takto:

$$T(8 \times 8) = \frac{1}{n_8} \sum_{i=1}^{n_8} T_i(8 \times 8). \quad (8)$$

Spočítáme  $n_8$  a dosadíme do vzorce (8):

$$n_8 = \frac{a^2}{m^2} = \frac{8^2}{8^2} = 1.$$

Po dosazení dostáváme:

$$T(8 \times 8) = \frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 T_i(8 \times 8) = \cdot T_1(8 \times 8) = 4.$$

$T$  potom spočítáme podle následujícího vzorce:

$$T = \frac{1}{|D|} \sum_{m \in D} T(m \times m), \quad (9)$$

kde  $|D|$  je množství dílčích  $T(m \times m)$ , které jsme pro daný obraz spočítali v předchozích krocích.

Dosadíme:

$$T = \frac{1}{3} (T(2 \times 2) + T(4 \times 4) + T(8 \times 8)) = \frac{1}{3} (1,375 + 3,25 + 4) = 2,792.$$

## Výpočet $H$

Výpočet veličiny  $H$ , která měří přítomnost symetrie, bude o něco náročnější. I zde stejným způsobem rozdělíme obraz na subbloky.

Zkoumáme devět druhů symetrií, označme si je jako  $h_1-h_9$  a pojďme si je blíže vysvětlit.  $h_1-h_6$  se počítají v rámci jednoho subbloku a představují tyto symetrie:

$h_1$  – reflexní symetrie podle osy  $x$ ,





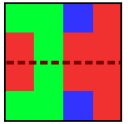
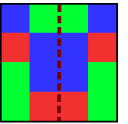
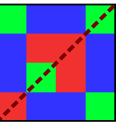
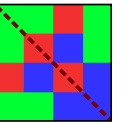
$h_2$  – reflexní symetrie podle osy  $y$ ,

$h_3$  – reflexní symetrie podle osy prvního a třetího kvadrantu,



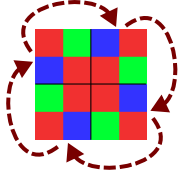
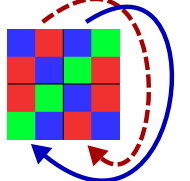
$h_4$  – reflexní symetrie podle osy druhého a čtvrtého kvadrantu,

$h_5$  – rotační symetrie o úhel  $90^\circ$ ,

$h_6$  – rotační symetrie o úhel  $180^\circ$ .

	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$
2x2				
4x4				

Obrázek 4 – Symetrie  $h_1$ – $h_4$ . Zdroj: vlastní.

	$h_5$	$h_6$
2x2		
4x4		

Obrázek 5 – Symetrie  $h_5$ – $h_6$ . Zdroj: vlastní.

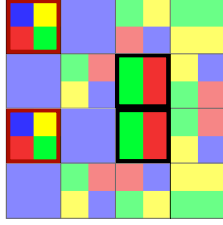
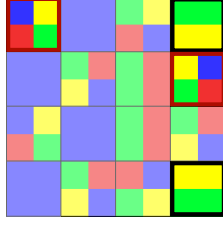
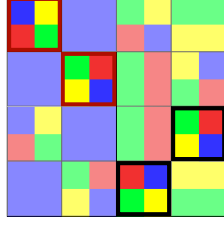
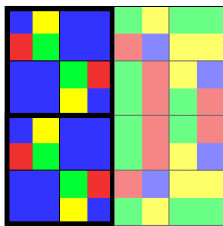
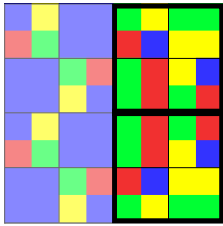
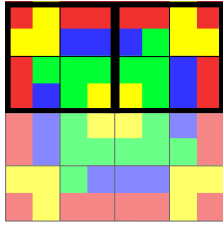
Zbývající tři případy se počítají vzhledem k ostatním subblokům stejného rozměru (v našem případě má tedy smysl je spočítat pouze v rámci  $2 \times 2$  a  $4 \times 4$  subbloků):

$h_7$  – totožnost subbloku s jiným subblokem stejného rozměru (translační shoda),

$h_8$  – translační shoda s jiným subblokem po reflexi podél osy  $x$  nebo osy  $y$ ,

$h_9$  – translační shoda s jiným subblokem po rotaci o  $90^\circ$ ,  $-90^\circ$  nebo  $180^\circ$ .

Symetrie  $h_1$ – $h_9$  jsou buď přítomny, nebo ne. Proto hodnota  $h$  může nabývat pouze hodnot 0 (symetrie není přítomna), nebo 1 (symetrie je přítomna).

	$h_7$	$h_8$	$h_9$
<b>2x2</b>			
<b>4x4</b>			

Obrázek 6 – Symetrie  $h_7$ – $h_9$ . Zdroj: vlastní.

Podobně jako při výpočtu  $T$  budeme i nyní při výpočtu  $H$  počítat dílčí  $H(m \times m)$  pro obraz rozdělený na šestnáct subbloků o straně  $2 \times 2$ , na čtyři subbloky o straně  $4 \times 4$  a pak pro obraz jako celek (blok o straně  $8 \times 8$ ). Výsledné  $H$  se bude počítat z těchto dílčích  $H(m \times m)$ .

Obecný vzorec pro výpočet dílčích  $H(m \times m)$  lze zapsat ve tvaru:

$$H(m \times m) = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} H_i(m \times m), \quad (10)$$

kde  $m$  je délka strany subbloku a  $n_m$  je počet těchto subbloků v obraze. Hodnotu  $n_m$  lze také vyjádřit vztahem  $\frac{a^2}{m^2}$ , kde  $a$  je délka strany obrazu a  $m$  je délka strany subbloku.  $H_i(m \times m)$  je součet hodnot symetrií  $h_1$ – $h_9$  změřených ze subbloku  $i$ .

### Obraz rozdělený do bloků $2 \times 2$

$H(2 \times 2)$  pro obraz rozdělený na subbloky o straně  $2 \times 2$  spočítáme takto:

$$H(2 \times 2) = \frac{1}{16} \cdot (H_1(2 \times 2) + \dots + H_{16}(2 \times 2)), \quad (11)$$

kde

$$\begin{aligned} H_1(2 \times 2) &= h_1(1)(2 \times 2) + \dots + h_9(1)(2 \times 2), \\ H_2(2 \times 2) &= h_1(2)(2 \times 2) + \dots + h_9(2)(2 \times 2), \\ &\dots \\ H_{16}(2 \times 2) &= h_1(16)(2 \times 2) + \dots + h_9(16)(2 \times 2). \end{aligned}$$

Pro lepší pochopení si nejdříve spočítáme  $H_1(2 \times 2) - H_{16}(2 \times 2)$ :

$$\begin{aligned}
H_1(2 \times 2) &= 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_2(2 \times 2) &= 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_3(2 \times 2) &= 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 = 2, \\
H_4(2 \times 2) &= 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 = 2, \\
H_5(2 \times 2) &= 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_6(2 \times 2) &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_7(2 \times 2) &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0, \\
H_8(2 \times 2) &= 0 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 3, \\
H_9(2 \times 2) &= 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0 + 0 = 6, \\
H_{10}(2 \times 2) &= 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 = 2, \\
H_{11}(2 \times 2) &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_{12}(2 \times 2) &= 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_{13}(2 \times 2) &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 1, \\
H_{14}(2 \times 2) &= 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 = 2, \\
H_{15}(2 \times 2) &= 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3, \\
H_{16}(2 \times 2) &= 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 = 3.
\end{aligned}$$

Nyní můžeme dosadit do vzorce (11) pro výpočet  $H(2 \times 2)$ :

$$\begin{aligned}
H(2 \times 2) &= \frac{1}{16} \cdot (H_1(2 \times 2) + \dots + H_{16}(2 \times 2)) = \\
&= \frac{1}{16} \cdot (3 + 3 + 2 + 2 + 3 + 3 + 0 + 3 + \\
&6 + 2 + 3 + 3 + 1 + 2 + 3 + 3) = \frac{1}{16} \cdot 42 = 2,625.
\end{aligned}$$

### Obraz rozdělený do bloků $4 \times 4$

Obdobně vypočteme  $H(4 \times 4)$ :

$$H(4 \times 4) = \frac{1}{n_4} \sum_{i=1}^{n_4} H_i(4 \times 4). \quad (12)$$

$H(4 \times 4)$  pro obraz rozdělený na subbloky o straně  $4 \times 4$  tedy spočítáme následovně:

$$H(4 \times 4) = \frac{1}{4} \cdot (H_1(4 \times 4) + \dots + H_4(4 \times 4)), \quad (13)$$

kde

$$\begin{aligned}
H_1(4 \times 4) &= h_1(1)(4 \times 4) + \dots + h_9(1)(4 \times 4), \\
&\dots \\
H_4(4 \times 4) &= h_1(4)(4 \times 4) + \dots + h_9(4)(4 \times 4).
\end{aligned}$$

Spočítáme  $H_1(4 \times 4) - H_4(4 \times 4)$ :

$$\begin{aligned} H_1(4 \times 4) &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 = 1, \\ H_2(4 \times 4) &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0, \\ H_3(4 \times 4) &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0, \\ H_4(4 \times 4) &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 = 1. \end{aligned}$$

Nyní můžeme dosadit do vzorce (12) pro výpočet  $H(4 \times 4)$ :

$$H(4 \times 4) = \frac{1}{4} (H_1(4 \times 4) + \dots + H_4(4 \times 4)) = \frac{1}{4} (1 + 0 + 0 + 1) = \frac{1}{4} \cdot 2 = 0,5.$$

Nyní vypočteme  $H(8 \times 8)$ :

$$H(8 \times 8) = \frac{1}{n_8} \sum_{i=1}^{n_8} H_i(8 \times 8), \quad (14)$$

po substituci dostaneme:

$$H(8 \times 8) = \frac{1}{1} \cdot H_1(8 \times 8).$$

Symetrie  $h_7-h_9$  budou určitě nulové, protože v obrazu neexistují jiné  $8 \times 8$  bloky, které by bylo možno navzájem porovnávat. Dopočítáme  $H_1(8 \times 8)$ :

$$H_1(8 \times 8) = h_1(1)(8 \times 8) + \dots + h_9(1)(8 \times 8) = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0.$$

A dosadíme:

$$H(8 \times 8) = \frac{1}{1} \cdot (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) = 1 \cdot 0 = 0.$$

$H$  potom spočítáme podle následujícího vzorce:

$$H = \frac{1}{|D|} \sum_{m=1}^{|D|} H(m, m), \quad (15)$$

kde  $|D|$  je množství dílčích  $H(m \times m)$ , které jsme pro daný obraz spočítali v předchozích krocích. Dosadíme:

$$H = \frac{1}{3} \cdot (H(2 \times 2) + H(4 \times 4) + H(8 \times 8)) = \frac{1}{3} \cdot (2.625 + 0.5 + 0) = 1,042.$$

Výpočet  $L$  a  $C$  již provedeme jednoduchým dosazením do vzorců (1):

$$\begin{aligned} L &= T \cdot H = 2.792 \cdot 1.042 = 2,908, \\ C &= T \cdot (H_{max} - H), \end{aligned}$$

kde  $H_{max}$  je maximální  $H$ , kterého lze dosáhnout v daném systému. Maximální symetrie  $H_{max}$  je konstantní pro každý specifický systém.

Po dosazení dostáváme:

$$C = 2,792 \cdot (9 - 1,042) = 22,217.$$



## 2 První výběrové šetření a vyhodnocení výsledků

V této kapitole popíšeme první výběrové šetření a analýzu získaných dat. Při zpracování tohoto výběrového šetření se prokázalo, že charakteristiky  $L$  a  $C$  závisí nejen na symetriích, ale i na použitých barvách a jejich počtu. Tato skutečnost vede k nutnosti standardizovat tyto charakteristiky. Po standardizaci zvolených testovacích obrazů bylo zjištěno, že obrazy nebyly zvoleny vhodně. Proto bylo později uspořádáno druhé výběrové šetření s jinou množinou testovacích obrazů. Ve druhém výběrovém šetření byly také napraveny ostatní nedostatky, které se projevily v průběhu prvního šetření. V této a následující kapitole budou detailně popsány průběhy, výsledky a analýzy obou výběrových šetření.

### 2.1 Údaje z prvního výběrového šetření

První testování 28 vzorových obrazů probíhalo od 28. prosince 2015 do 30. ledna 2016. Jednotlivé obrazy měly rozdílné barvy a rozdílné počty použitých barev. Proměnná  $Q$  budeme označovat počet barev v obraze.

Obrázky byly vybírány tak, aby se hodnoty  $L$  a  $C$  nacházely v různých částech grafu  $L, C$ . Pro výběr ale nebylo použito žádné systematické řešení, v zásadě se jednalo o ruční vytváření obrazů pomocí editoru. V té době ještě nebyl znám celý obor hodnot  $L, C$ . Také se později ukázalo, že 28 obrazů v rámci jednoho testu je příliš velký počet, respondenti již po první polovině ohodnocených obrazů ztráceli trpělivost, rapidně se snížila doba potřebná k ohodnocení jednoho obrazu. Navíc byly nevhodně zvoleny barvy elementů v obrazech. Respondenti byli příliš ovlivněni výraznými barvami.

Od 209 respondentů bylo obdrženo 4 375 odpovědí. Průměrný počet odpovědí na jednoho respondenta je tedy 20,933. Ze všech získaných odpovědí bylo 15,45 % odesláno za méně než 10 sekund. Některé další odpovědi byly na první pohled irelevantní (například pokud jeden respondent hodnotil všechny vlastnosti u všech obrazů shodně nejhorším možným hodnocením apod.). Po eliminaci těchto odpovědí zůstalo 3 424 akceptovatelných hodnocení testovacích obrazů.

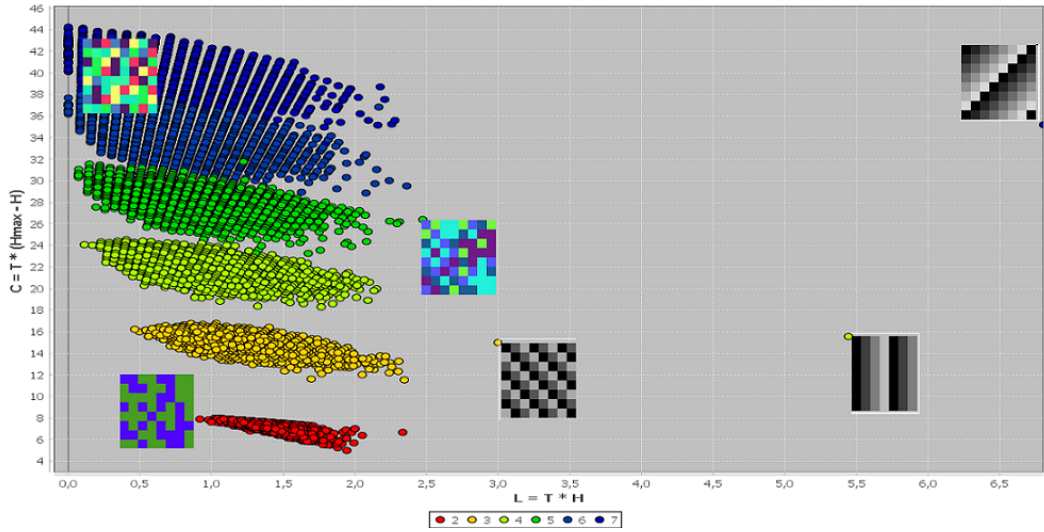
### 2.2 Vliv počtu barev v obraze na charakteristiky $L$ a $C$

Hodnoty charakteristik  $L$  a  $C$  se samozřejmě liší v závislosti na počtu barev obsažených v obraze. Viz obr. 7. Z tohoto důvodu budeme hodnoty standardizovat a převedeme je na

jednotný rozsah. Standardizované  $l$  resp.  $c$  (tzv.  $z$  skóre) jsou pak vypočítány jako:

$$l = \frac{L - \mu_L}{\sigma_L}, \quad c = \frac{C - \mu_C}{\sigma_C}, \quad (16)$$

kde  $\mu$  je střední hodnota a  $\sigma$  je směrodatná odchylka sledované náhodné veličiny. Odhady  $\hat{\mu}_L = \bar{L}$ ,  $\hat{\mu}_C = \bar{C}$  a  $s_L = \hat{\sigma}_L$ ,  $s_C = \hat{\sigma}_C$  hodnot  $\mu_L$ ,  $\mu_C$  a  $\sigma_L$ ,  $\sigma_C$  jsou uvedeny v tabulce 1. Tabulka 2 obsahuje informace o charakteristikách testovacích obrazů před a po standardizaci.



Obrázek 7 – Hodnoty charakteristik  $L$  a  $C$  pro obrazy s různým počtem barev. Příklady generovaných obrazů. Zdroj: vlastní.

Tabulka 1 – Life  $L$  a Complexity  $C$ : střední hodnoty a směrodatné odchylky pro obrazy s různými počty barev  $Q$ . Zdroj: vlastní.

$Q$	$\bar{L}$	$s_L$	$\bar{C}$	$s_C$	$Q$	$\bar{L}$	$s_L$	$\bar{C}$	$s_C$
2	1,35	0,12	7,27	0,34	10	0,49	0,27	55,28	1,78
3	1,15	0,22	15,05	0,56	11	0,47	0,27	59,88	1,89
4	0,87	0,25	22,22	0,74	12	0,45	0,27	64,23	1,96
5	0,72	0,26	28,71	0,96	13	0,44	0,28	68,47	2,02
6	0,64	0,26	34,70	1,16	14	0,42	0,28	72,65	2,06
7	0,59	0,26	40,33	1,34	15	0,42	0,28	76,66	2,08
8	0,54	0,26	45,58	1,53	16	0,41	0,28	80,71	2,15
9	0,52	0,27	50,52	1,67					

Tabulka 2 – První výběrové šetření: Hodnoty charakteristik  $L$  a  $C$  u 28 testovaných obrazů. Zdroj: vlastní.

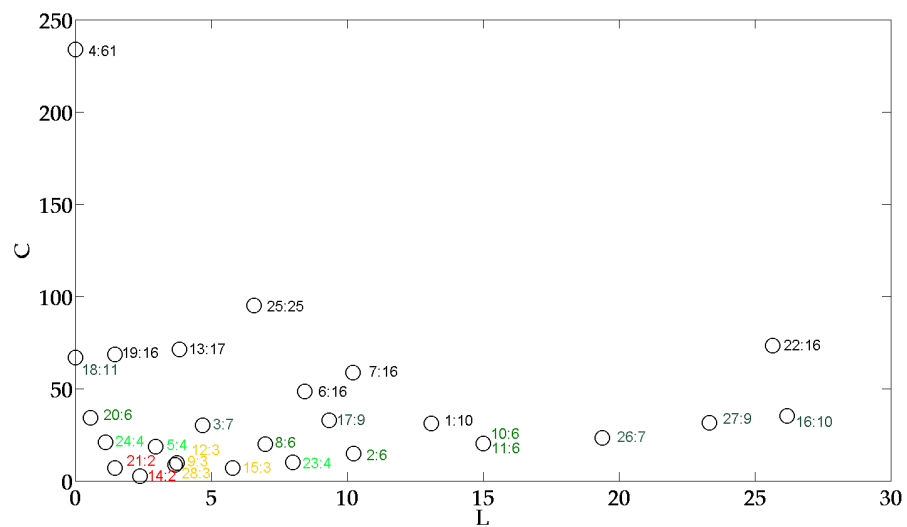
No.	$Q$	$L$	$C$	$l$	$c$
1	10	13,11	31,14	-28,7104	12,6416
2	6	10,24	14,89	-25,4427	9,6610
3	7	4,68	30,19	-15,3343	4,1390
4	61	0	234	153,3595	-0,4091
5	4	2,97	18,41	-10,3055	2,2466
6	16	8,44	48,56	-32,0845	8,0349
7	16	10,22	58,78	-21,8625	9,8129
8	6	7,00	20,00	-20,3317	6,4250
9	3	3,75	9,75	-12,4527	2,8781
10	6	15,01	20,24	-20,0957	14,4390
11	6	15,01	20,24	-20,0957	14,4390
12	3	3,67	8,71	-13,4947	2,7951
13	17	3,83	71,36	-9,2815	3,4199
14	2	2,39	2,48	-12,5737	1,2433
15	3	5,78	6,96	-15,2377	4,9131
16	10	26,19	35,31	-24,5434	25,7256
17	9	9,33	32,67	-22,6068	8,8412
18	11	0	66,75	2,5197	-0,4557
19	16	1,46	66,48	-12,1605	1,0479
20	6	0,56	34,12	-6,2067	-0,0130
21	2	1,46	6,97	-8,0837	0,3163
22	16	25,67	73,33	-7,3075	25,2579
23	4	8,00	10,00	-18,7115	7,2776
24	4	1,13	21,00	-7,7135	0,4046
25	25	6,59	95,04	14,3975	6,1779
26	7	19,40	23,35	-22,1733	18,8530
27	9	23,32	31,43	-23,8428	22,8272
28	3	3,67	8,71	-13,4947	2,7951

### 2.3 Výsledky z prvního výběrového šetření

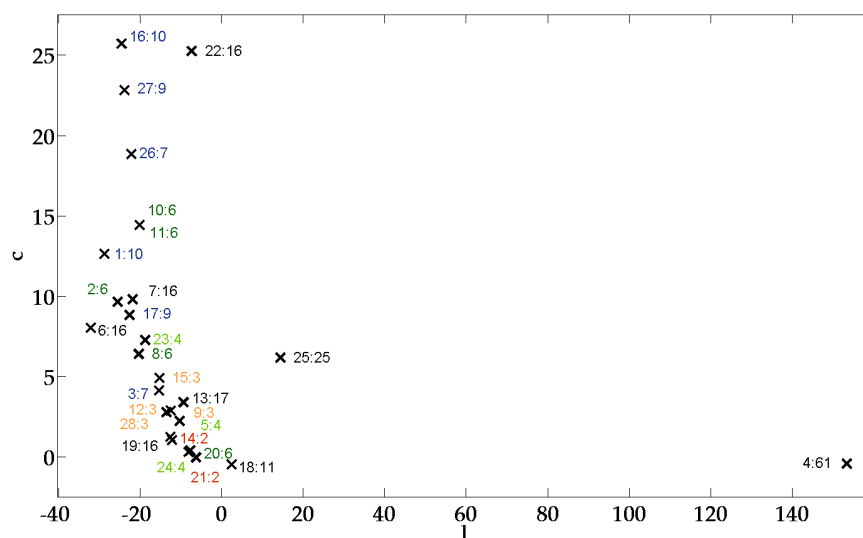
Zjištění, že hodnoty  $L$  a  $C$  jsou různé, vedlo k nutnosti provést očištění od vlivu počtu barev na jejich hodnoty. Z obrazů vygenerovaných pro každou barvu byl určen aritmetický

průměr a směrodatná odchylka těchto charakteristik. Viz tabulka 1. Standardizované charakteristiky všech 28 testovacích obrazů jsou uvedeny v tabulce 2. Naměřené emoce respondentů pro 28 testovacích obrazů jsou uvedeny v tabulce 3.

Obr. 8 a 9 graficky znázorňují polohu vybraných obrazů v rovině  $LC$  resp. po standardizaci v rovině  $lc$ . Např. zápis 22:16 označuje obraz č. 22, který obsahuje 16 barev elementů. Zejména s přihlédnutím k obr. 9 je patrné, že testovací obrazy nejsou zvoleny vhodně. Takřka všechny mají po standardizaci kladnou hodnotu  $c$ . Tato skutečnost vedla k rozhodnutí připravit soubor dalších obrazů pro druhé výběrové šetření.



Obrázek 8 – Poloha testovacích obrazů v rovině  $LC$ . Zdroj: vlastní.



Obrázek 9 – Poloha testovacích obrazů v rovině  $lc$ . Zdroj: vlastní.

Tabulka 3 – Naměřené hodnoty emocí. Zdroj: vlastní.

No.	$n_i$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$l$	$c$
1	125	5,944	4,696	7,592	7,120	13,11	31,14
2	117	5,684	4,803	6,701	6,325	10,24	14,89
3	125	5,072	4,368	7,064	6,344	4,68	30,19
4	121	5,308	4,248	6,968	5,824	0	234
5	116	4,914	3,888	7,086	6,216	2,97	18,41
6	121	5,612	4,931	6,879	6,276	8,44	48,56
7	117	5,863	4,940	7,154	6,453	10,22	58,78
8	126	5,413	4,937	6,675	6,159	7	20
9	127	5,849	6,635	5,270	5,627	3,75	9,75
10	123	4,740	4,325	5,407	4,789	15,01	20,24
11	119	5,571	6,252	4,261	3,924	15,01	20,24
12	123	3,691	2,992	5,593	4,268	3,67	8,71
13	126	6,208	6,376	6,592	6,416	3,83	71,36
14	131	7,092	7,832	5,771	6,260	2,39	2,48
15	129	6,024	6,268	5,780	5,630	5,78	6,96
16	125	4,120	3,696	6,352	5,328	26,19	35,31
17	118	5,754	6,500	6,288	5,975	9,33	33,67
18	113	4,177	3,487	6,611	4,912	0	66,75
19	118	5,432	4,373	7,508	6,653	1,46	66,48
20	117	6,248	5,154	7,744	6,889	0,56	34,12
21	124	6,685	7,274	5,484	5,565	1,46	6,97
22	124	5,823	4,718	7,242	6,750	25,67	73,33
23	127	4,866	4,362	6,929	5,819	8	10
24	116	5,791	5,357	6,635	6,391	1,13	21,00
25	114	7,158	7,009	6,219	6,921	6,59	95,04
26	125	5,520	4,912	6,072	5,624	19,40	23,35
27	125	4,936	4,304	6,208	5,200	23,32	41,43
28	137	4,584	4,292	4,117	3,431	3,67	8,71

Měření emocí u testovacích obrazů poskytlo následující statistické charakteristiky.  $v_1$  je hodnota dvojice vlastností uklidňující–zneklidňující (pro všechny obrazy a odpovědi: střední hodnota 6,365; medián 6,601; směrodatná odchylka 0,909),  $v_2$  je hodnota dvojice vlastností příjemný–nepříjemný (střední hodnota 5,823; medián 6,067; směrodatná odchylka 0,908),  $v_3$  je hodnota dvojice vlastností vzrušující–skličující (střední hodnota

5,503; medián 5,592; směrodatná odchylka 0,826),  $v_4$  je hodnota dvojice vlastností povzbuzující–uspávající (střední hodnota 5,068; medián 4,858; směrodatná odchylka 1,186).

V tabulkách 4, 5, 6 a 7 jsou testovány závislosti mezi charakteristikami  $L$  a  $C$  a pozitivními/negativními odpověďmi.

S přihlédnutím k aritmetickým průměrům  $L$  a  $C$  testovaných obrazů byla pozorování rozdělena do tříd, které nyní popíšeme. Hodnoty charakteristiky  $L$  větší než 7,28 jsou označeny jako velké  $L$ , hodnoty charakteristiky  $L$  menší než 7,28 jsou označeny jako malé  $L$ . Jako velké  $C$  jsou označeny hodnoty charakteristiky  $C$  větší než 4,3, ostatní hodnoty jsou označeny jako malé  $C$ . V takto definovaných třídách byly určeny četnosti pozitivních a negativních emocí u sledované otázky (měřené emoce). Cílem shromáždění těchto četností je využití chí-kvadrát testu, kterým můžeme testovat nezávislost. Pozitivní odpovědi jsou odpovědi s hodnotou menší než 6, negativní odpovědi jsou odpovědi s hodnotou větší než 6. Neutrální odpovědi (s hodnotou rovnající se 6) jsou vyřazeny.

Tabulka 4 – Uklidňující–zneklidňující:  $v_1$ , negativní a pozitivní odpovědi. Zdroj: vlastní.

	malé $C$ malé $L$	malé $C$ velké $L$	velké $C$ malé $L$	velké $C$ velké $L$	$\Sigma$
negativní	433	156	281	261	1131
pozitivní	387	453	342	557	1739
$\Sigma$	820	609	623	818	2870

Tabulka 5 – Příjemný–nepříjemný:  $v_2$ , negativní a pozitivní odpovědi. Zdroj: vlastní.

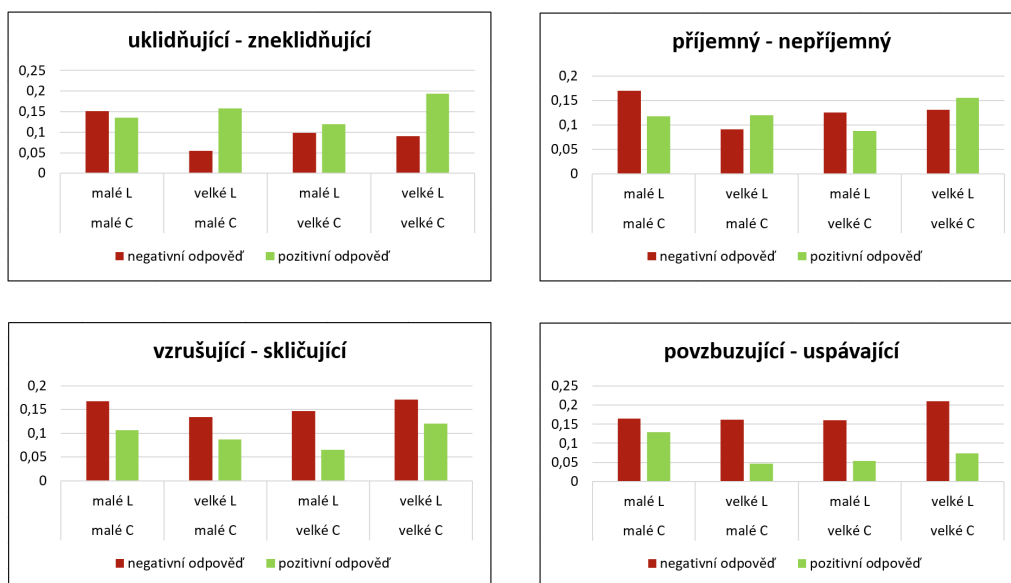
	malé $C$ malé $L$	malé $C$ velké $L$	velké $C$ malé $L$	velké $C$ velké $L$	$\Sigma$
negativní	490	262	362	379	1493
pozitivní	340	346	254	449	1389
$\Sigma$	830	608	616	828	2882

Tabulka 6 – Vzrušující–skličující:  $v_3$ , negativní a pozitivní odpovědi. Zdroj: vlastní.

	malé $C$ malé $L$	malé $C$ velké $L$	velké $C$ malé $L$	velké $C$ velké $L$	$\Sigma$
negativní	421	338	371	432	1562
pozitivní	270	220	165	304	959
$\Sigma$	691	558	536	736	2521

Tabulka 7 – Povzbuzující–uspávající:  $v_4$ , negativní a pozitivní odpovědi. Zdroj: vlastní.

	malé $C$ malé $L$	malé $C$ velké $L$	velké $C$ malé $L$	velké $C$ velké $L$	$\Sigma$
negativní	471	460	459	599	1989
pozitivní	366	133	153	208	860
$\Sigma$	837	593	612	807	2849



Obrázek 10 – Zastoupení pozitivních a negativních emocí –  $v_1, v_2; v_3, v_4$ . Zdroj: vlastní.

V tabulkách 4, 5, 6, 7 jsou hodnoty chí-kvadrát statistiky 137,89; 59,892; 16,071; 105,022. Tyto hodnoty jsou vyšší než kritická hodnota  $\chi_3^2(0,05) = 7,815$ . Nulová hypotéza o absenci vztahu mezi estetickými charakteristikami a emocemi je tedy zamítnuta. Alternativní hypotéza o existenci závislosti mezi estetickými charakteristikami a emocemi je potvrzena.

Dle Klinger–Salingarovy hypotézy můžeme s větší pravděpodobností očekávat: Pozitivní emoci  $v_1$  (uklidňující) při nízké hodnotě  $C$ , negativní emoci  $v_1$  (zneklidňující) při vysoké hodnotě  $C$ . Pozitivní emoci  $v_2$  (příjemný) při vysoké hodnotě  $L$  a nízké hodnotě  $C$ , negativní emoci  $v_2$  (nepříjemný) při nízké hodnotě  $L$  a vysoké hodnotě  $C$ . Pozitivní emoci  $v_3$  (vzrušující) při vysoké hodnotě  $L$ , negativní emoci  $v_3$  (skličující) při nízké hodnotě  $L$ . Pozitivní emoci  $v_4$  (povzbuzující) při vysoké hodnotě  $L$  i  $C$ , negativní emoci  $v_4$  (uspávající) při nízké hodnotě  $L$  i  $C$ .

## 3 Druhé výběrové šetření

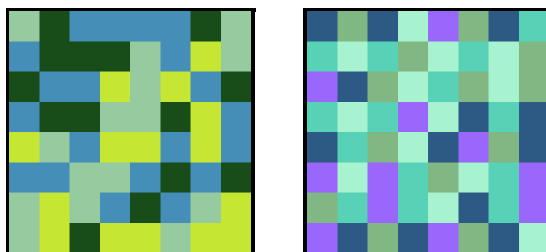
### 3.1 Disputace o oboru hodnot charakteristik $L$ a $C$

Kvůli bližšímu prozkoumání Klinger–Salingarovy hypotézy je nutné přesněji určit obor hodnot charakteristik  $L$  a  $C$ .

Pro vykreslení oboru hodnot pomocí všech charakteristik  $L$  a  $C$  u maximálně čtyřbarevných obrazů by bylo potřeba vygenerovat  $4^{64}$  obrazů, což je cca  $3,4 \cdot 10^{38}$  kombinací. I pro vykreslení oboru hodnot  $L$  a  $C$  u pouze dvoubarevných obrazů by bylo potřeba vygenerovat více než  $1,8 \cdot 10^{19}$  obrazů. To je samozřejmě prakticky neproveditelné.

#### 3.1.1 Generování obrazů pomocí generátoru náhodných čísel

Při analýze charakteristik  $L$  a  $C$  u náhodně generovaných obrazů bylo zjištěno, že hodnoty  $L$  a  $C$  se u podstatné části generovaných obrazů zobrazí pouze do velmi omezené oblasti grafu  $LC$ . Na obr. 12 je graf hodnot  $L$  a  $C$  náhodně generovaných obrazů. Bylo náhodně vygenerováno 300 milionů obrazů sestávajících ze dvou až čtyř barev (100 milionů obrazů pro každý počet barev). U skupiny takto vygenerovaných obrazů došlo často ke shodě hodnot  $L$  a  $C$ .



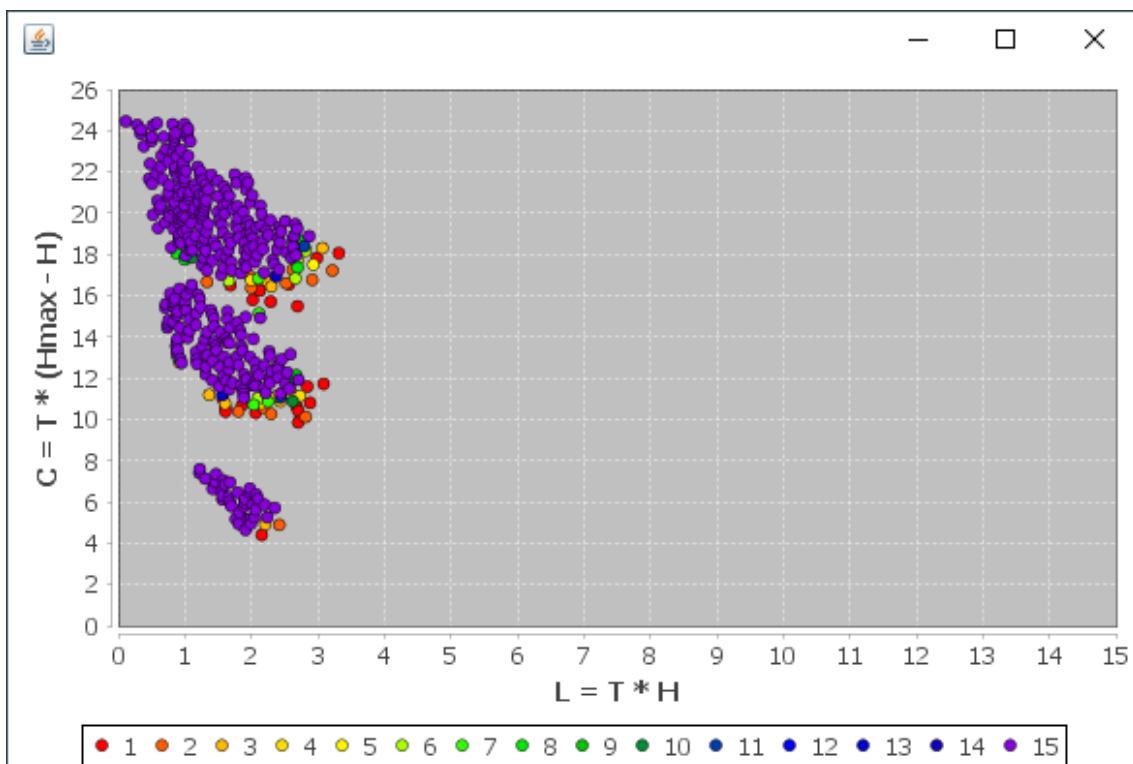
Obrázek 11 – Obrazy vytvořené pomocí generátoru náhodných čísel. Zdroj: vlastní.

Na obr. 12 tedy můžeme vidět graf charakteristik  $L$  a  $C$  pro 300 milionů náhodně generovaných obrazů různobarevně vykreslených podle četností shod. Červené body v grafu představují samostatné obrazy, žluté body shodu pěti obrazů, fialové body shodu patnácti a více obrazů (viz legenda grafu).

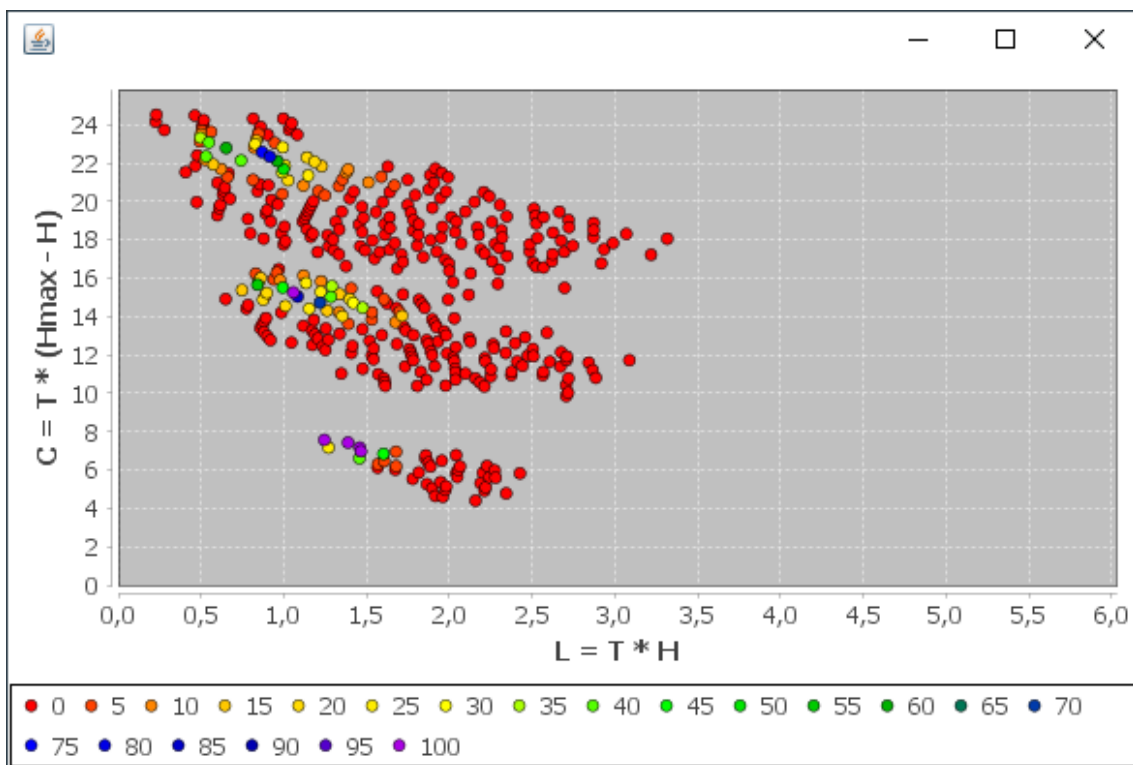
Na obr. 13 pak můžeme vidět detail shody četností generovaných obrazů. Pro zobrazení je využit opět graf četností výskytu.

Generování obrazů pouze pomocí generátoru náhodných čísel se tedy nejeví jako vhodná metoda pro pokrytí celého oboru hodnot charakteristik  $L$  a  $C$ .





Obrázek 12 – Graf charakteristik  $L$  a  $C$  pro 300 milionů náhodně generovaných obrazů. Pro zobrazení je využit graf absolutních četností výskytu. Zdroj: vlastní.

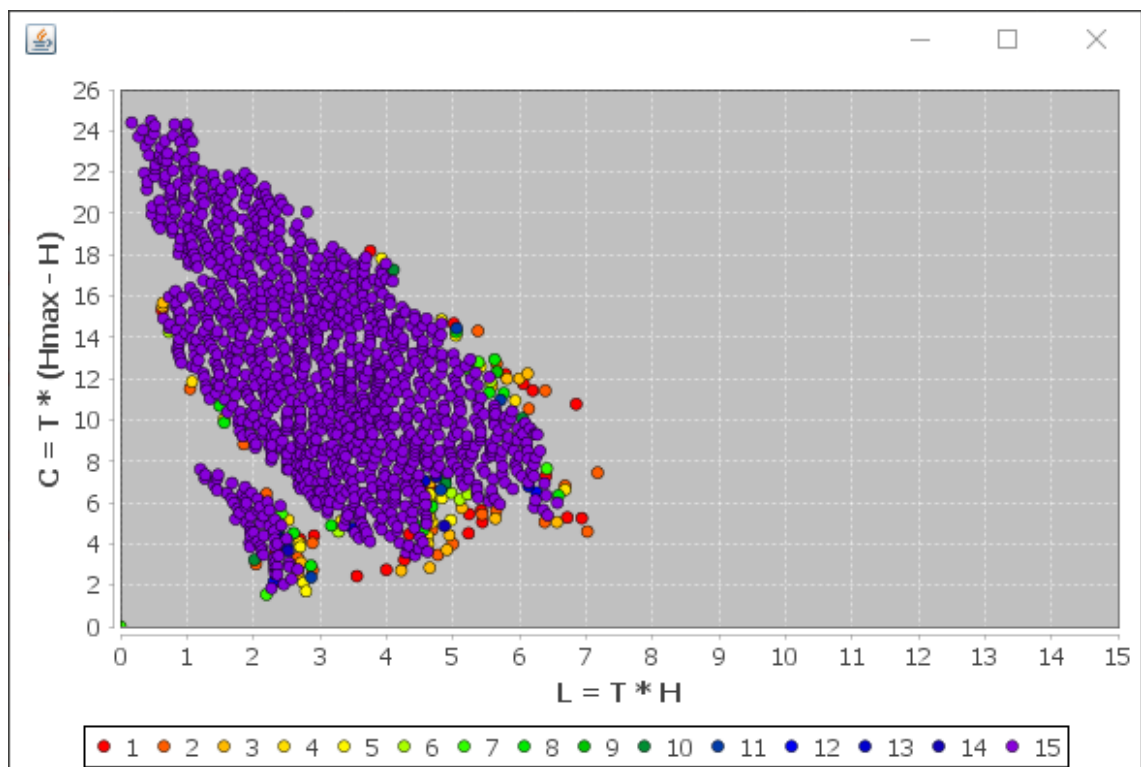


Obrázek 13 – Detail shody charakteristik  $L$  a  $C$  náhodně generovaných obrazů. Pro zobrazení je využit graf relativní hustoty četností výskytu. Zdroj: vlastní.

### 3.1.2 Generování obrazů pomocí skládání vzorů

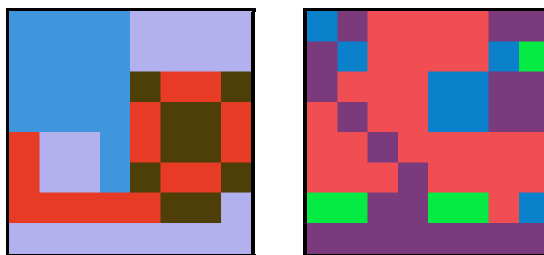
Obor hodnot charakteristik  $L$  a  $C$  je však podstatně rozsáhlejší. S přibývajícími symetriemi do jisté míry roste hodnota charakteristiky  $L$ , charakteristika  $C$  je nejvíce ovlivněna množstvím a rozmístěním jednotlivých barev v obraze.  $L$  a  $C$  však mají také určitou závislost mezi sebou navzájem, protože jsou obě počítány z charakteristik  $T$  a  $H$ . Pro rozšíření oboru hodnot bude tedy potřeba provádět cílené generování určitých typů obrazů.

Bylo použito několik způsobů generování obrazů. Nejdříve bylo zrealizováno skládání obrazů. Byly vytvořeny množiny  $2 \times 2$  a  $4 \times 4$  bloků. Každý z bloků vždy obsahoval určitý typ symetrie. Algoritmus náhodně vybíral bloky z předpřipravených množin a následně z nich sestavoval výsledné obrazy.



Obrázek 14 – Graf hodnot  $L$  a  $C$  300 milionů náhodně generovaných obrazů a současně 100 milionů obrazů vytvářených pomocí skládání. Obarveno dle četností shod. Zdroj: vlastní.

Na obr. 14 je vyobrazen  $L, C$  graf pro 300 milionů náhodně generovaných obrazů a současně 100 milionů obrazů vytvářených pomocí skládání. Použito je barevné označení dle četností shod.



Obrázek 15 – Obrázky vytvořené pomocí skládání vzorů. Zdroj: vlastní.

### 3.1.3 Generování obrazů pomocí genetického algoritmu

Dále byl pro generování obrazů využit genetický algoritmus.

Princip fungování genetického algoritmu je zmíněn v knihách (Mařík, Štěpánková a Lažanský, 2004) a (Russell a Norvig, 2009). Genetický algoritmus patří mezi tzv. evoluční algoritmy. Je to stochastický postup, který se snaží aplikací principů evoluční biologie nalézt řešení složitých problémů, pro které neexistuje použitelný exaktní algoritmus.

Genetické algoritmy mají několik charakteristických vlastností:

1. Pracují zároveň s celou množinou možných řešení zadaného problému místo hledání jednotlivého řešení,
2. vygenerovaná řešení postupně vylepšují zařazováním nových řešení, nová řešení jsou získána kombinací (křížením) původních,
3. v řešeních mohou probíhat náhodné změny – mutace,
4. nevýhodná řešení jsou postupně vyřazována.

Genetický algoritmus na počátku disponuje určitou populací, jedinci populace představují jednotlivá řešení problému. Při křížení algoritmus postupně vytváří generace nových řešení daného problému. Vznikají noví jedinci, kteří mají zpravidla náhodně část genů od jednoho rodiče a část genů od rodiče druhého. Pro každého nového jedince je spočtena tzv. fitness funkce, která vyjadřuje kvalitu řešení reprezentovaného tímto jedincem. V průběhu křížení může dojít k náhodné změně některého genu v chromozomu jedince, tzv. náhodné mutaci, která může být pro další vývoj druhu příznivá, nebo ne. Proces křížení se stále opakuje a mohou vznikat generace se stále lepšími genetickými vlastnostmi.

Specifikace použitého genetického algoritmu:

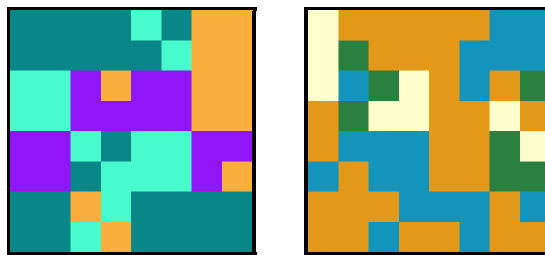
Výchozí populace byla tvořena množinou 1 000 obrazů. První třetinu populace tvořily obrazy vygenerované náhodně, druhá třetina populace obsahovala obrazy vytvořené skládáním, přičemž  $2 \times 2$  a  $4 \times 4$  subbloky byly při skládání umísťovány na náhodné místo

v obrazu. Poslední třetina populace obsahovala obrazy vytvořené skládáním, u nichž byly při skládání subbloky umísťovány striktně do určitých bodů tak, aby bylo dosaženo ještě větších symetrií.

Jako fitness funkce byla zvolena funkce počítající eukleidovskou vzdálenost k cílovému bodu  $[L,C]$ . Cíl byl volen pro každý generovaný obraz náhodně.

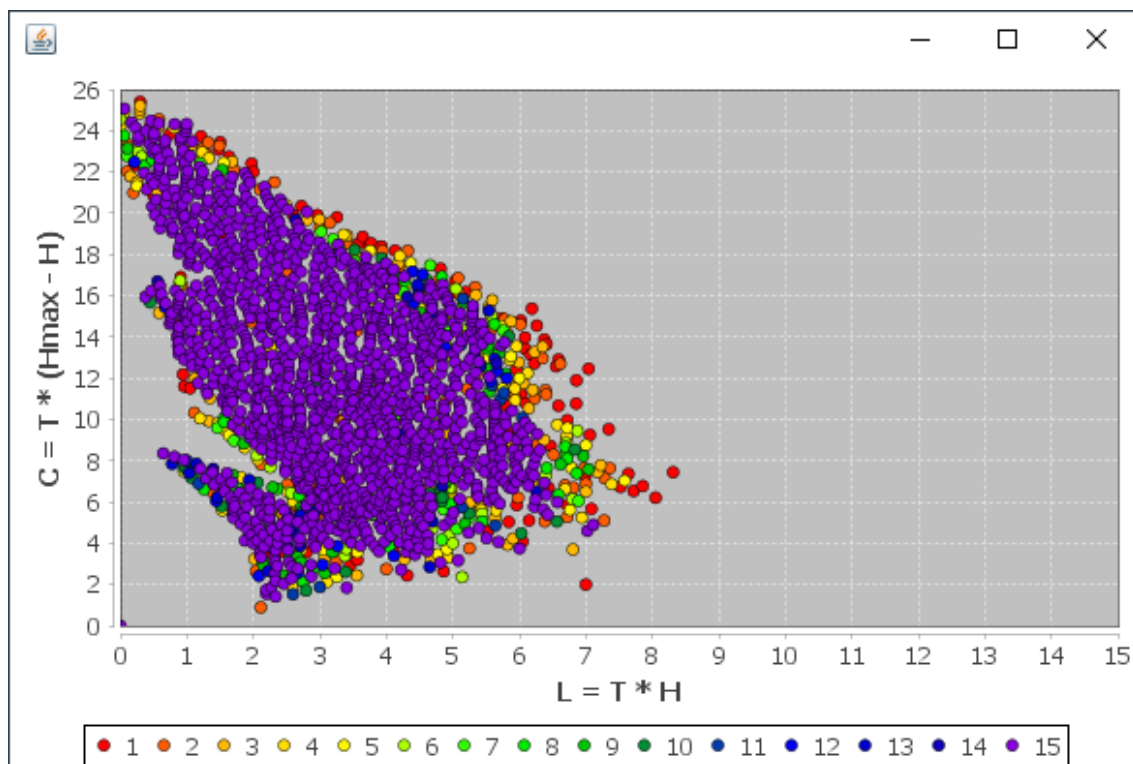
V průběhu výpočtu se také měnila populace. Byla možnost provádění náhodných mutací. Při vícebodovém křížení byly dva obrazy rozděleny každý na tři části, některé z těchto částí se pak navzájem prohodily. Při mutaci prohození genů byly náhodně prohozeny některé body v rámci jednoho obrazu. Pravděpodobnosti provedení mutací se měnily, pro každý generovaný obraz byly jiné.

Evoluční výpočet byl nastaven na provedení 2 000 generací. Pokud by došlo k ustálení, byl by výpočet ukončen po 500 iteracích, ve kterých nedošlo ke zlepšení maximální hodnoty fitness funkce.



Obrázek 16 – Obrázky vytvořené pomocí genetického algoritmu. Zdroj: vlastní.

Na obr. 17 je vyobrazen graf hodnot  $L$  a  $C$  300 milionů náhodně generovaných obrazů, 100 milionů obrazů vytvářených pomocí skládání a 13 200 obrazů generovaných s využitím genetického algoritmu. Použito je vykreslení dle četností shod.



Obrázek 17 – Graf hodnot  $L$  a  $C$  300 milionů náhodně generovaných obrazů, 100 milionů obrazů vytvářených pomocí skládání a 13 200 obrazů generovaných s využitím genetického algoritmu. Zobrazení dle četností shod.

### 3.1.4 Cílené generování obrazů obsahujících velké množství symetrií

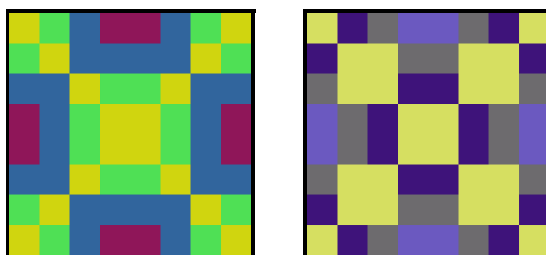
Část obrazů zejména v levé horní a levé dolní části oboru hodnot byla vytvořena ručně. Například nejvyšších hodnot charakteristiky  $C$  při minimální charakteristice  $L$  bylo dosaženo kombinacemi co nejvíce možných barev v jednotlivých  $2 \times 2$  a  $4 \times 4$  subblocích a zároveň snahou o dosažení nulových, nebo minimálních symetrií. Postupným přidáváním symetrií se zvyšovaly hodnoty charakteristiky  $L$  a začala se formovat horní hranice oboru hodnot, která vždy (ověřeno pro dvou až pětibarevné obrazy) svírá úhel  $135^\circ$  s vodorovnou osou.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.2, hodnota charakteristiky  $L$  do jisté míry roste s přibývajícím symetriemi. Proto obrazy s nejvyššími hodnotami charakteristiky  $L$  (tedy obrazy ležící na hranici oboru hodnot v pravé části grafu) budou obsahovat velké množství symetrií. Toho lze dosáhnout tak, že se zaměříme na generování obrazů, u kterých se budou vyskytovat zároveň symetrie  $h_1$  a  $h_2$  pro blok  $8 \times 8$  (viz obr. 4 na straně 21). Pokud totiž bude blok  $8 \times 8$  pozitivní na přítomnost symetrií  $h_1$  i  $h_2$  zároveň, potom pro tento blok  $8 \times 8$  nutně musí přítomny také symetrie  $h_6$ , a dále pro každý jeho subblok  $4 \times 4$  a  $2 \times 2$

symetrie  $h_8$  i  $h_9$ . Pokud se však podaří vygenerovat obraz, u kterého se pro blok  $8 \times 8$  budou vyskytovat kromě symetrií  $h_1$  a  $h_2$  také symetrie  $h_3$  a  $h_4$ , pak pro tento blok  $8 \times 8$  budou nutně přítomny symetrie  $h_5$  i  $h_6$  a pro každý jeho subblok  $4 \times 4$  a  $2 \times 2$  symetrie  $h_8$  i  $h_9$ . Při vhodné kombinaci dalších symetrií uvnitř jednotlivých subbloků  $4 \times 4$  a  $2 \times 2$  bychom takto mohli dosáhnout hraničních hodnot charakteristiky  $L$ .

S přihlédnutím k rovnici (1) na str. 17 pro výpočet charakteristiky  $L$  je patrné, že není cílem nalézt obraz s maximálním množstvím přítomných symetrií. Obraz obsahující všechny možné symetrie by byl složen pouze z elementů jedné barvy. Hodnota charakteristiky  $H$  závisující na množství symetrií bude u takového obrazu sice maximální, avšak charakteristika  $T$  udávající různost elementů bude nulová, což způsobí také nulovou hodnotu charakteristiky  $L$  u tohoto obrazu. Protože charakteristika  $L$  je přímo úměrná součinu hodnot  $T$  a  $H$ , pro nalezení jejího maxima bude potřeba nalézt obraz s hodnotami charakteristik  $T$  a  $H$  takovými, že jejich součin bude maximální!

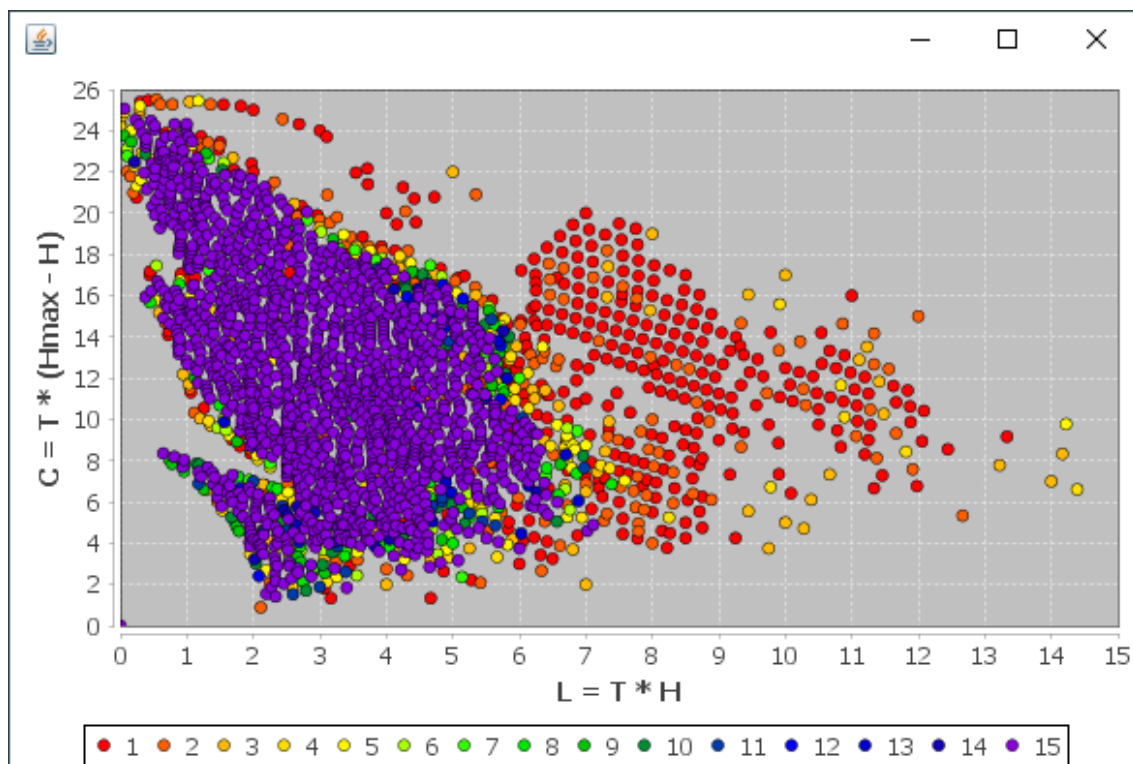
Abychom v obrazu dosáhli symetrií  $h_1$  a  $h_2$  pro blok  $8 \times 8$ , bude nám stačit vygenerovat pouze jeden kvadrant obrazu, který následně budeme duplikovat a podle pravidel osových souměrností postupně překlápět do ostatních kvadrantů. Tímto podstatným zjednodušením zredukujeme počet potřebných kombinací při nejvýše čtyřech barvách na  $4^{16}$ , což je přibližně 4,3 miliardy. Takovýto počet obrazů je možno vygenerovat a zpracovat během pár desítek hodin. Z praktických důvodů byly při generování ukládány pouze obrazy s unikátními hodnotami  $L$  a  $C$ .



Obrázek 18 – Obrázky vytvořené za účelem dosažení vysokých symetrií. Zdroj: vlastní.

Na obr. 19 je vyobrazen graf hodnot  $L$  a  $C$  pro 300 milionů náhodně generovaných obrazů, 100 milionů obrazů vytvářených pomocí skládání, 13 200 obrazů generovaných s využitím genetického algoritmu, 780 obrazů vytvořených ručně a obrazů generovaných za účelem dosažení vysokých symetrií (zároveň symetrických podle symetrie  $h_1$  i podle  $h_2$ ). Vše je obarveno dle četností shod.

Po porovnání obr. 19 s obr. 7 na str. 26 je patrné, že množina hodnot  $L$  a  $C$ , která byla použita pro standardizaci při prvním výběrovém šetření, byla pouze malou částí skutečného oboru hodnot charakteristik  $L$  a  $C$ .



Obrázek 19 – Graf hodnot  $L$  a  $C$  300 milionů náhodně generovaných obrazů, 100 milionů obrazů vytvářených pomocí skládání, 13 200 obrazů generovaných s využitím genetického algoritmu, 780 obrazů vytvořených ručně a obrazů generovaných za účelem dosažení vysokých symetrií (zároveň symetrických podle  $h_1$  i podle  $h_2$ ). Zobrazení dle četností shod. Zdroj: vlastní.

Za pomoci těchto několika způsobů byl téměř nalezen obor hodnot funkcí  $L$  a  $C$  pro dvou, tří, čtyř a později i pětibarevné obrazy. Nyní obory hodnot obalíme konvexními obálkami a vypočteme jejich jednotlivá těžiště, která pak využijeme u dalších výpočtů.

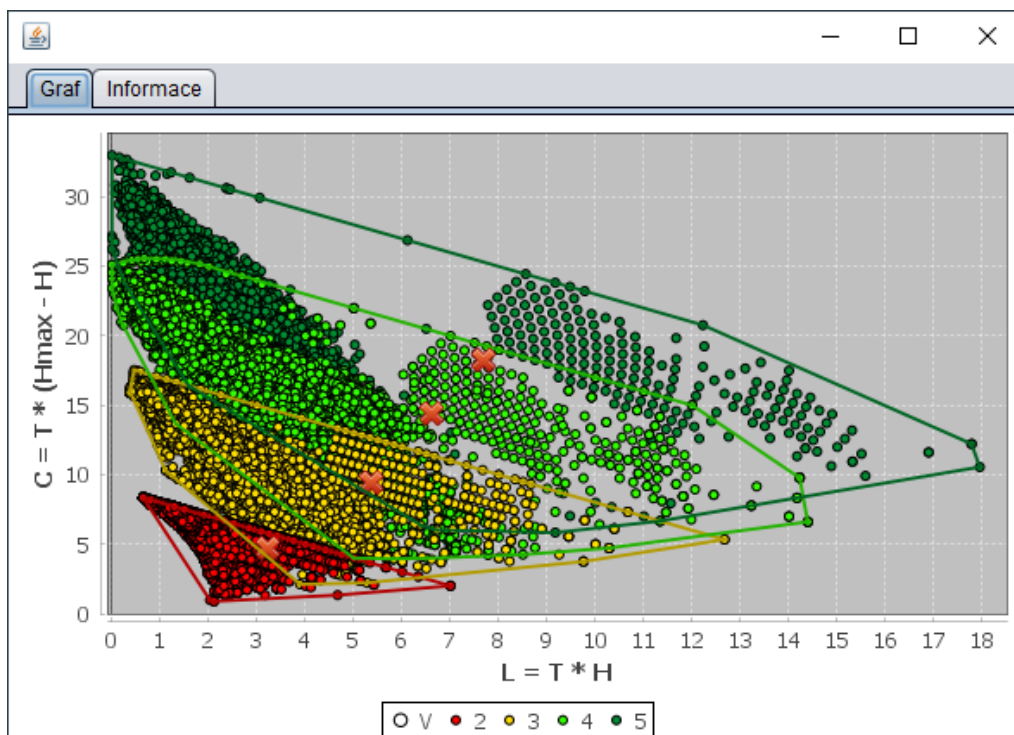
Rozložení charakteristik všech získaných obrazů je znázorněno na obr. 20. Při čtení je vhodné srovnat obr. 7, 8, 19 a 20.

### 3.2 Transformace proměnných $L$ a $C$ do polárních souřadnic

Transformace do polárních souřadnic nám umožní promítnout hodnoty charakteristik  $L$  a  $C$  do „prostorů os“  $v_1, v_2, v_3$  a  $v_4$ . Viz obr. 1 na str. 17. To nám umožní další analýzy a porovnání získaných údajů.

Transformujme tedy souřadnice  $[l, c]$  z kartézského souřadnicového systému do polárního souřadnicového systému  $[\rho, \varphi]$ . Veličina  $\rho$  se nazývá poloměr. Úhel  $\varphi$  se nazývá polární úhel nebo také azimut.





Obrázek 20 – Hodnoty charakteristik  $L$  a  $C$  pro všechny získané obrazy. Zdroj: vlastní.

Polární souřadnice  $\rho, \varphi$  spočítáme:

$$\rho = \sqrt{l^2 + c^2}, \quad (17)$$

$$\varphi = \text{atan} \left( \frac{c}{l} \right), \quad (18)$$

kde  $\rho$  je vzdálenost od počátku,  $\varphi$  je úhel měřený proti směru hodinových ručiček od vodorovné osy  $l$ .

### 3.3 Analýza psychologických efektů

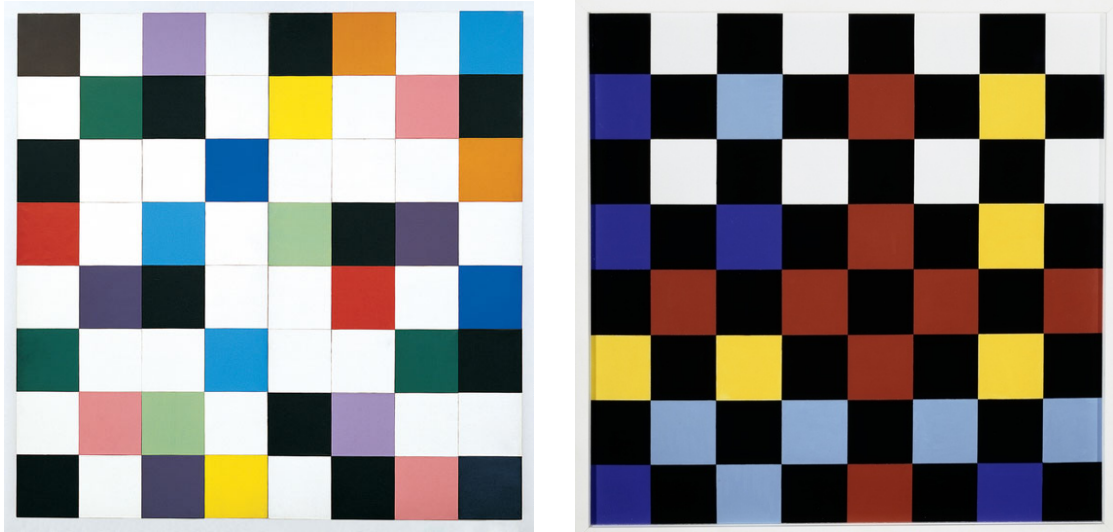
Hlavním cílem statistické studie bude analyzovat účinek obrazu na lidskou psychiku v závislosti na hodnotách dvou estetických charakteristik „Life“ a „Complexity“ vypočtených z obrazu. Pro tento účel byla vytvořena webová stránka, na níž probíhalo testování obrazů. Tento průzkum umožnil nový pohled na Klinger–Salingarovu hypotézu.

#### 3.3.1 Testování hypotézy

Klinger–Salingarova hypotéza předpokládá obraz složený z jednoduchých vzorů, přičemž jednotlivé elementy jsou umístěny v pravidelných čtvercových polích. Příkladem takového



obrazu může být třeba dílo malíře Ellswortha Kellyho „Colors on a grid“ nebo obraz Aurélie Nemours. Viz obr. 21.

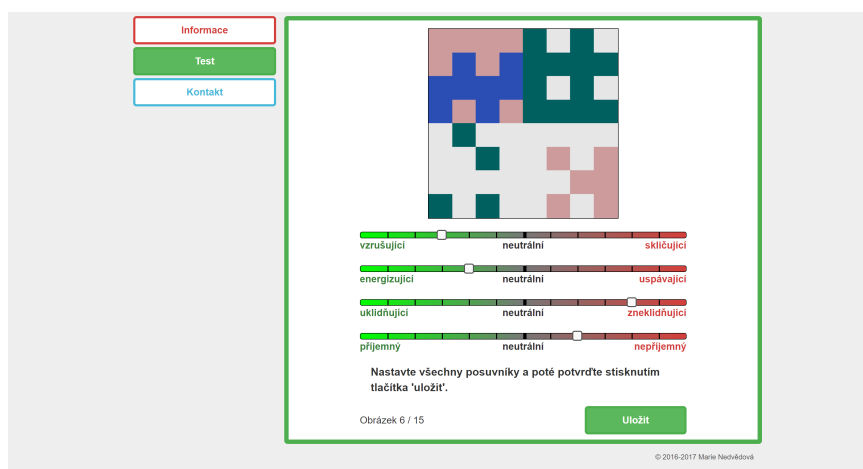
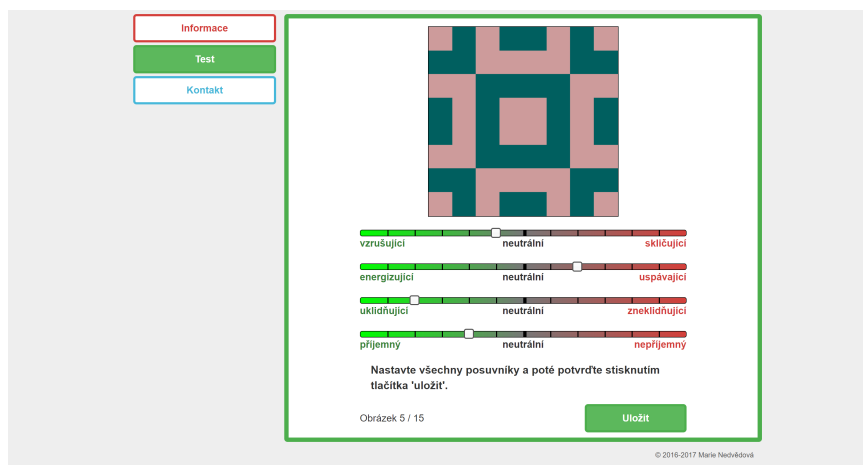


Obrázek 21 – Obraz od E. Kellyho (vlevo) a obraz od A. Nemours (vpravo). Zdroj: (Alchetron, 2017).

Pro shromažďování dat byla vytvořena webová stránka (Nedvědová, 2017), na které probíhalo hodnocení obrazů. Na webové stránce je také možno najít informace o Klinger–Salingarově hypotéze a o tomto výzkumu.

Druhá etapa testování probíhala od 16. dubna do 10. května 2017. Byla testována skupina 27 vzorových obrazů. Pro výběrové šetření bylo z vygenerovaných obrazů zvoleno osm obrazů s charakteristikami, které mají v rovině  $LC$  popsané v polárních souřadnicích azimut v intervalu  $(-\frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{8})$ ,  $(\frac{\pi}{8}, \frac{3\pi}{8})$ ,  $(\frac{3\pi}{8}, \frac{5\pi}{8})$ ,  $\dots$ . Devátý obraz byl zvolen v blízkosti těžiště hodnot  $L$  a  $C$ . Výběr obrazů byl proveden pro 2, 3 a 4 barvy elementů. Celkově bylo pro testování vybráno  $3 \times 9 = 27$  obrazů. Volba azimutu souvisí s Klinger–Salingarovou hypotézou, ze které lze vyvodit, že obrazy s různým azimutem daným hodnotami  $L$  a  $C$  vyvolávají odlišné emoce (viz obr. 1).

Ve druhé etapě testování byla snaha o volbu neutrálních barev elementů v obrazech, aby nedocházelo k ovlivnění respondentů barvou, tak jak tomu bylo v první etapě. Také byl zredukován počet obrazů v rámci jednoho testu na patnáct. Patnáct obrazů pro test se vždy zvolilo náhodně z množiny 27 vzorových obrazů, preferovány byly obrazy s menším počtem hodnocení, aby byla zachována rovnováha v počtech hodnocení jednotlivých obrazů. Od 146 respondentů bylo obdrženo 1 922 odpovědí. Průměrný počet odpovědí na jednoho respondenta byl tedy 13,164.



Obrázek 22 – Webová stránka – příklady odpovědí. Zdroj: vlastní.

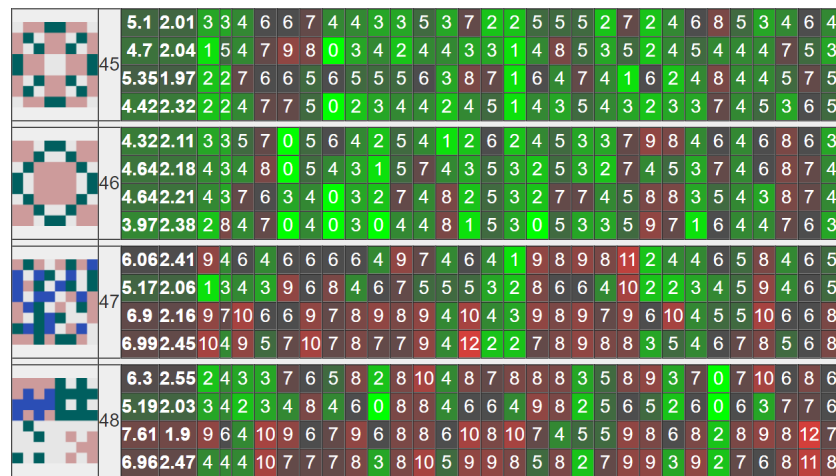
Testování probíhalo následovně: Na monitoru se postupně zobrazovalo 27 testovacích obrazů v náhodném pořadí. Bylo využito protikladného charakteru sledovaných vlastností a hodnocení bylo zrealizováno pomocí posuvníků mezi příslušnými dvojicemi vlastností. Hodnocení se ukládalo vždy po každém ohodnoceném obrazu, takže respondent nemusel hodnotit všech 27 obrazů a mohl testování kdykoliv ukončit. Respondent byl s průběhem testování seznámen před zahájením testu. Dotazník byl anonymní. Respondentovi bylo přiděleno unikátní ID, pod kterým byly evidovány jeho odpovědi. Také byl sledován čas potřebný k ohodnocení každého obrazu, a to z toho důvodu, aby bylo možné vyřadit odpovědi odeslané v příliš krátké době.

Na základě polohy posuvníku se do databáze uložila hodnota 0–12. Hodnota 0–5 přiřadila obrazu „pozitivní“ charakteristiku (uklidňující, příjemný, vzrušující, energizující), přičemž hodnota 0 znamenala absolutní shodu, hodnota 5 pouze mírnou shodu. Hodnota 7–12 přiřadila obrazu „negativní“ charakteristiku (zneklidňující, nepříjemný, skličující, uspávající), přičemž hodnota 12 znamenala absolutní shodu, hodnota 7 pouze mírnou

shodu. Hodnota 6 se nacházela přímo ve středu posuvníku a reprezentovala vyváženost obou charakteristik.

Na obr. 23 můžeme vidět graficky znázorněné odpovědi respondentů. Každý řádek představuje jednu sledovanou dvojici charakteristik v následujícím pořadí:

- $v_3$  vzrušující–skličující;
- $v_4$  energizující–uspávající.
- $v_1$  uklidňující–zneklidňující;
- $v_2$  příjemný–nepříjemný;



Obrázek 23 – Webová stránka – odpovědi respondentů stručně. Zdroj: vlastní.

Pozitivní emoce (uklidňující, příjemný, vzrušující, energizující) jsou zobrazeny na kladných částech os  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_4$ . Negativní emoce (zneklidňující, nepříjemný, skličující, uspávající) jsou zobrazeny na záporných částech os  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_4$ .

Sloupce představují jednotlivá hodnocení obrazů respondenty, přičemž první šedý sloupec obsahuje ID obrazu, další dva sloupce jsou vyhrazeny pro zobrazení střední hodnoty a směrodatné odchylky. K hodnotící stupnici 0–12 je přiřazena barevná škála od zelené barvy po červenou pro lepší vizuální efekt.

54	4.6	2.18	1	4	4	4	0	4	5	4	3
	4.33	1.99	1	4	4	4	1	2	4	6	2
	5.38	2.35	2	4	4	8	1	8	4	6	1
	4.49	2.33	3	4	4	6	0	6	4	5	0
	RespID:		3	9	90	102	103	105	108	111	
Pohlaví:		m	z	m	m	m	z	m	z		
Věk:		20-29	30-44	20-29	20-29	20-29	20-29	20-29	30-44	30-44	
Vzdělání:		vysokoskolske	vysokoskolske	vysokoskolske	vysokoskolske	stredni-maturita	vysokoskolske	stredni-maturita	stredni-maturita	stredni-maturita	
Doba zadávání:		15	86	38	42	29	11	15	27		

Obrázek 24 – Webová stránka – odpovědi respondentů detailně. Zdroj: vlastní.

Posunutím posuvníku respondent označil příslušnou hodnotu (příklady možných odpovědí jsou na obr. 22.). Byly sesbírány různé výsledky. Někdy bylo obdrženo neutrální hodnocení ve velmi krátkém čase, což znamenalo, že respondent se hodnocením obrazu příliš nezabýval. Odpovědi, které trvaly méně než 10 sekund, byly před zpracováním dat vyřazeny.

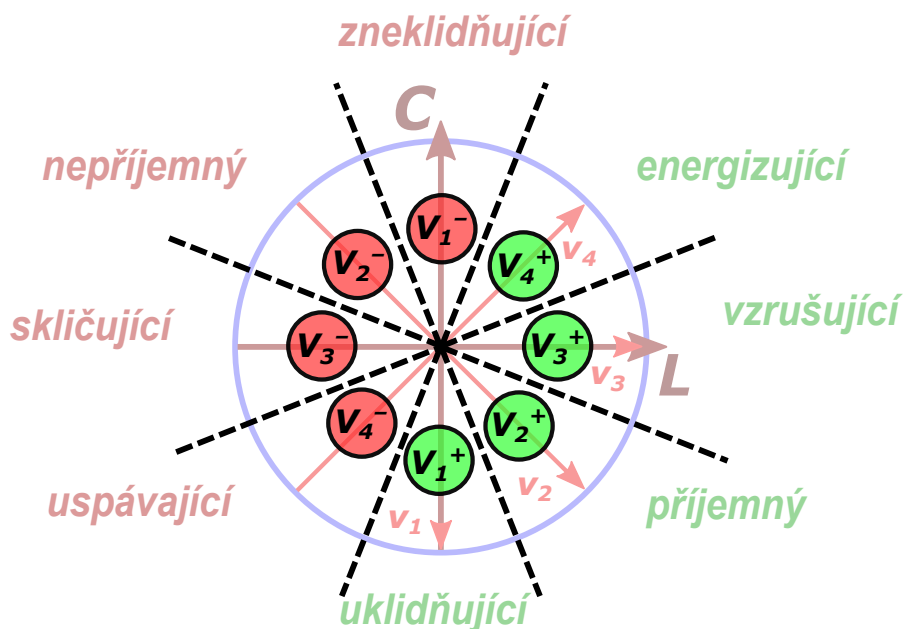
## 4 Závěrečná analýza výsledků

Od 146 respondentů bylo sesbíráno 1 922 odpovědí. Průměrný počet hodnocení u každého obrazu byl tedy 71,2. Mezi 146 respondenty bylo 78 žen a 68 mužů. 51 respondentů mělo základní nebo střední vzdělání, 95 respondentů mělo vzdělání vysokoškolské. 66 respondentů bylo ve věkové kategorii 0–29 let, 36 respondentů bylo ve věkové kategorii 30–44 let, 30 respondentů bylo ve věkové kategorii 45–64 let, 14 respondentů bylo ve věkové kategorii 65 a více let.

### 4.1 Testování Klinger–Salingarosovy hypotézy

Na obr. 26–29 jsou znázorněny průměrné hodnoty změřených emocí. Červeně jsou zakresleny hodnoty pro dvoubarevné obrazy, modře jsou zakresleny hodnoty pro tříbarevné obrazy, černě jsou zakresleny hodnoty pro čtyřbarevné obrazy. V závorce je číslo obrazu (viz seznam obrazů v příloze na str. 76).

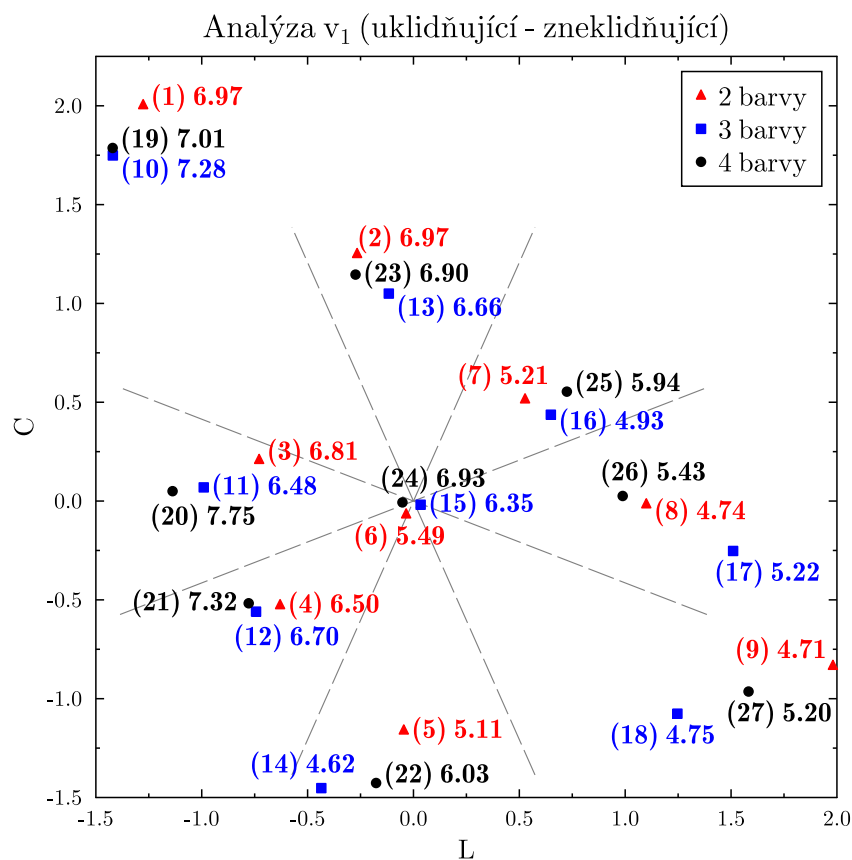
Čárkované přímky vyznačují osminy kruhu  $V_1^+$ ,  $V_2^+$ ,  $V_3^+$ ,  $V_4^+$ ,  $V_1^-$ ,  $V_2^-$ ,  $V_3^-$ ,  $V_4^-$  se sférami vlivu emocí  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  a  $v_4$ . Osminy s příslušností k jednotlivým emocím jsou znázorněny na obr. 25.



Obrázek 25 – Osminy kruhu se sférami vlivů emocí. Zdroj: vlastní.

Pokud platí Klinger–Salingarosova hypotéza, jaké by měly nastat výsledky?

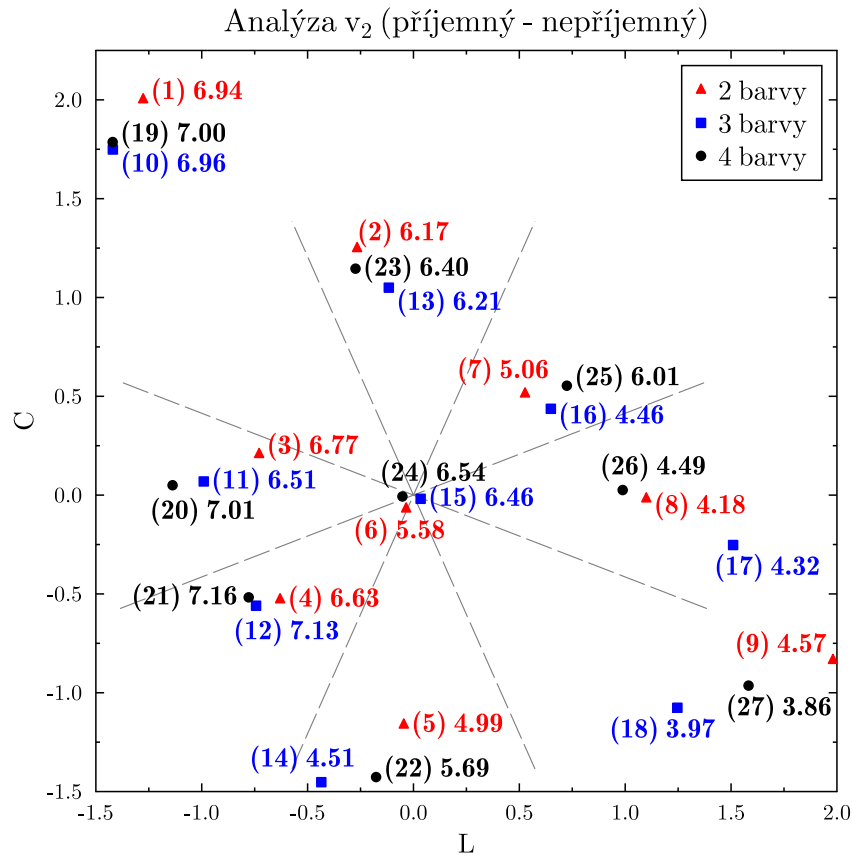
- Nejmenší hodnoty změřené emoce  $v_1$  by měly být v osmině kruhu označené  $V_1^+$  a největší hodnoty v  $V_1^-$ .
- Nejmenší hodnoty změřené emoce  $v_2$  by měly být v osmině kruhu označené  $V_2^+$  a největší hodnoty v  $V_2^-$ .
- Nejmenší hodnoty změřené emoce  $v_3$  by měly být v osmině kruhu označené  $V_3^+$  a největší hodnoty v  $V_3^-$ .
- Nejmenší hodnoty změřené emoce  $v_4$  by měly být v osmině kruhu označené  $V_4^+$  a největší hodnoty v  $V_4^-$ .



Obrázek 26 – Střední hodnoty emoce  $v_1$  (uklidňující–zneklidňující) pro dvou, tří a čtyřbarevné obrazy v jednotlivých osminách kruhu. Zdroj: vlastní.

Pro posouzení shody středních hodnot emoce  $v_1$  v jednotlivých osminách kruhu je vhodné použít ANOVU, viz (Anděl, 2007). Pro zvolenou hladinu významnosti byla nulová hypotéza o absenci vztahu mezi estetickými charakteristikami a emocemi zamítnuta, když rozdíl mezi aritmetickými průměry odpovědí v osminách kruhu byly největší mezi částmi  $V_2^-$  a  $V_2^+$ .

Dokázali jsme, že osa pro emoci  $v_1$  v rovině  $LC$  splývá spíše s osou sektoru  $V_2$ .



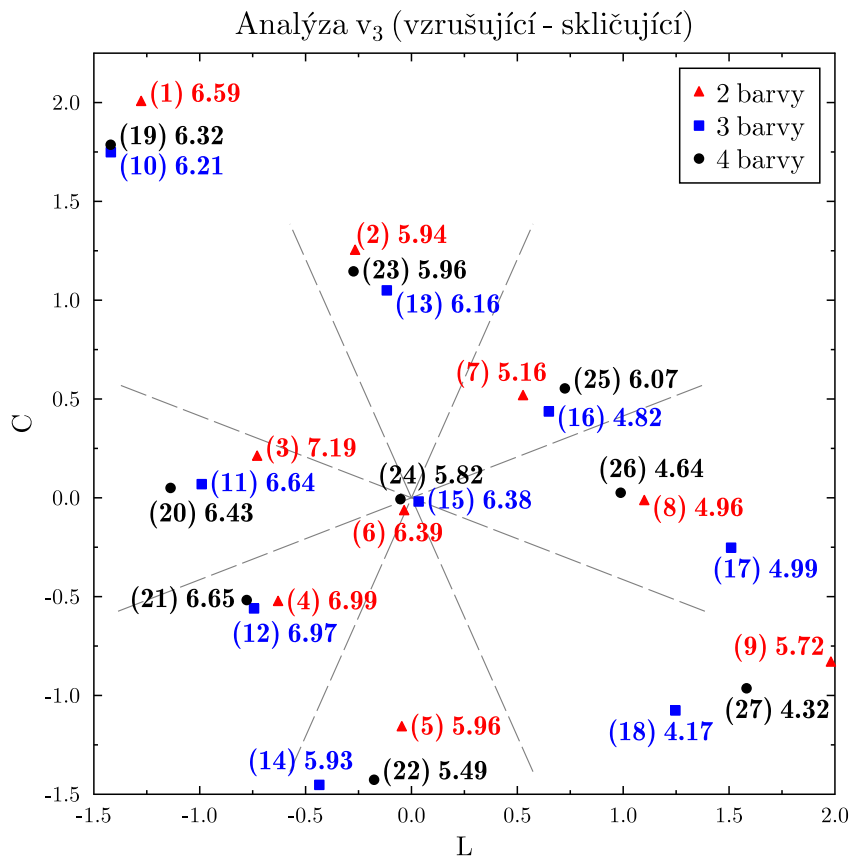
Obrázek 27 – Střední hodnoty emoce  $v_2$  (příjemný–nepříjemný) pro dvou, tří a čtyřbarevné obrazy v jednotlivých osminách kruhu. Zdroj: vlastní.

Obdobně při testování shody středních hodnot u emoce  $v_2$  byla nulová hypotéza zamítnuta, když rozdíly mezi aritmetickými průměry odpovědí v osminách kruhu byly největší mezi částmi  $V_4^-$  a  $V_2^+$ .

Při testování shody středních hodnot u emoce  $v_3$  byla také nulová hypotéza zamítnuta, když rozdíly mezi aritmetickými průměry odpovědí v osminách kruhu byly největší mezi částmi  $V_4^-$  a  $V_2^+$ .

Při testování shody středních hodnot u emoce  $v_4$  byla také nulová hypotéza zamítnuta, když rozdíly mezi aritmetickými průměry odpovědí v osminách kruhu byly největší mezi částmi  $V_4^-$  a  $V_3^+$ .

Největší pozitivní emoce u vlastností  $v_1$ ,  $v_2$  a  $v_3$  vyvolávaly obrazy z osminy kruhu  $V_2^+$ . Největší pozitivní emoce u vlastnosti  $v_4$  vyvolávaly obrazy z osminy kruhu  $V_3^+$ . Největší negativní emoce u vlastnosti  $v_1$  vyvolávaly obrazy z osminy kruhu  $V_2^-$ . Největší negativní emoce u vlastností  $v_2$ ,  $v_3$  a  $v_4$  vyvolávaly obrazy z osminy kruhu  $V_4^-$ .



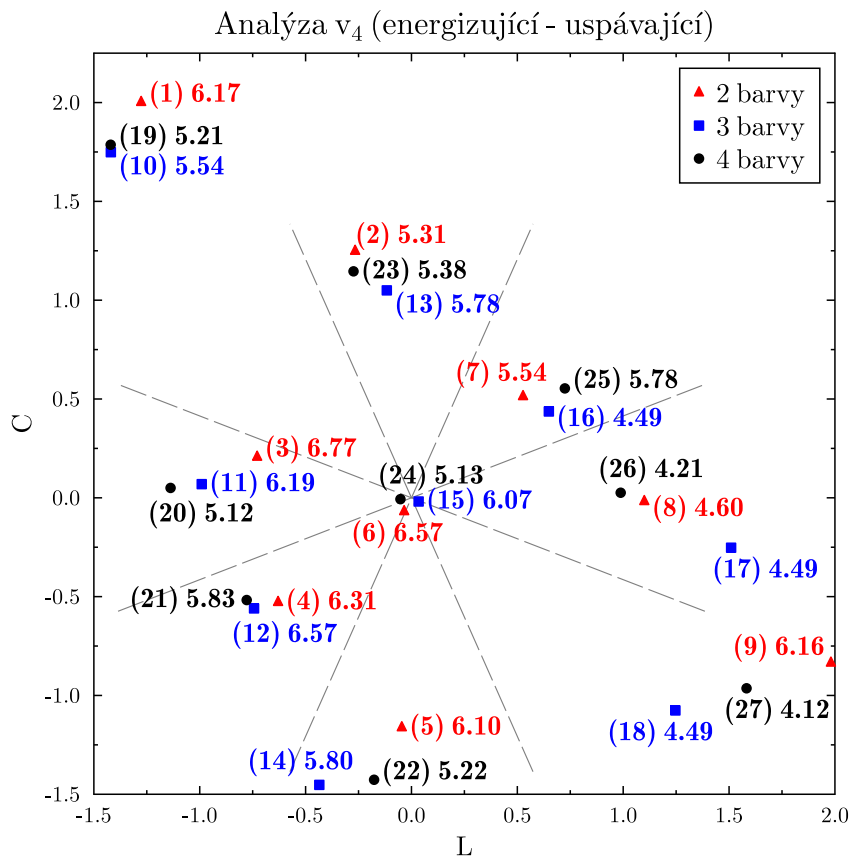
Obrázek 28 – Střední hodnoty emoce  $v_3$  (vzrušující–skličující) pro dvou, tří a čtyřbarevné obrazy v jednotlivých osminách kruhu. Zdroj: vlastní.

Alternativní hypotéza o existenci závislosti mezi estetickými charakteristikami a emocemi byla tedy potvrzena. Provedené testování prokázalo, že se emoce u obrazů s různými standardizovanými hodnotami  $l$ ,  $c$  liší. Vliv emocí ale přesně neodpovídá schématu Klingera a Salingarose.

Pokud bychom chtěli získat obraz co nejvíce uklidňující, vzrušující a příjemný, je třeba, aby měl charakteristiky odpovídající osmině kruhu  $V_2^+$ . Nejvíce energizující obrazy se budou nacházet v osmině kruhu  $V_3^+$ . Nejvíce skličující, uspávající a nepříjemné obrazy se budou nacházet v osmině kruhu  $V_4^-$ . Nejvíce zneklidňující obrazy budou v osmině kruhu  $V_2^-$ .

Nejvíce uklidňující, vzrušující a příjemné tedy byly obrazy 9, 18 a 27. Nejvíce energizující byly obrazy 8, 17 a 26. Nejvíce skličující, uspávající a nepříjemné byly obrazy 6, 12 a 21. Nejvíce zneklidňující byly obrazy 1, 10 a 19 (viz příloha 3 – testovací obrazy pro druhé výběrové šetření na str. 76).





Obrázek 29 – Střední hodnoty emoce  $v_4$  (energizující–uspávající) pro dvou, tří a čtyřbarevné obrazy v jednotlivých osminách kruhu. Zdroj: vlastní.

## 4.2 Výsledky analýzy v závislosti na pohlaví respondenta

Tabulka 8 – Střední hodnoty emoce  $v_1$  v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
ženy	6,623	7,146	6,850	6,850	5,187	4,975	5,110	5,615
muži	7,054	7,001	7,192	6,843	5,376	4,781	5,159	5,073

Tabulka 9 – Střední hodnoty emoce  $v_2$  v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
ženy	6,169	6,848	6,721	7,095	5,144	4,208	4,216	5,586
muži	6,380	7,063	6,801	6,805	4,981	4,036	4,475	4,711

Tabulka 10 – Střední hodnoty emoce  $v_3$  v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
ženy	5,882	6,338	6,788	6,873	5,886	4,841	4,675	5,538
muži	6,201	6,401	6,695	6,876	5,692	4,614	5,091	5,140

Tabulka 11 – Střední hodnoty emoce  $v_4$  v jednotlivých osminách vzhledem k pohlaví respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
ženy	5,493	5,424	6,021	6,327	5,847	4,809	4,189	5,540
muži	5,482	5,879	6,045	6,112	5,550	5,063	4,740	4,975

ANOVA ukázala, že se faktor řádku a sloupce liší – vyvolávané emoce závisely na pohlaví respondenta. U emoce  $v_1$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_4^+$ , u emoce  $v_2$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_4^+$ , u emoce  $v_3$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_3^+$ , u emoce  $v_4$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_4^+$ .

### 4.3 Výsledky analýzy v závislosti na nejvyšším dosaženém vzdělání respondenta

Tabulka 12 – Střední hodnoty emoce  $v_1$  v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
základní a střední	7,182	6,917	6,951	6,514	5,172	4,990	4,806	5,524
vysokoškolské	6,668	7,215	7,065	7,001	5,301	4,843	5,253	5,284

Tabulka 13 – Střední hodnoty emoce  $v_2$  v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
základní a střední	6,400	6,939	6,611	6,847	5,186	4,141	4,230	5,402
vysokoškolské	6,176	7,022	6,852	7,059	5,004	4,130	4,354	5,076

Tabulka 14 – Střední hodnoty emoce  $v_3$  v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
základní a střední	5,925	6,387	6,867	6,570	5,724	4,957	5,184	5,514
vysokoškolské	6,062	6,373	6,691	7,026	5,821	4,623	4,736	5,266

Tabulka 15 – Střední hodnoty emoce  $v_4$  v jednotlivých osminách vzhledem ke vzdělání respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
základní a střední	5,500	5,734	6,260	6,214	5,525	5,053	4,722	5,517
vysokoškolské	5,479	5,584	5,900	6,264	5,785	4,856	4,326	5,166

ANOVA ukázala, že se faktor řádku a sloupce liší – vyvolávané emoce závisely na úrovni vzdělání respondenta. U emoce  $v_1$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_1^-$ , u emoce  $v_2$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_4^+$ , u emoce  $v_3$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_4^-$ , u emoce  $v_4$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_3^+$ .

#### 4.4 Výsledky analýzy v závislosti na věku respondenta

Tabulka 16 – Střední hodnoty emoce  $v_1$  v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
0–29 let	6,856	7,193	7,225	7,027	4,832	4,674	4,918	4,978
30–44 let	7,136	7,648	6,812	6,587	5,292	5,010	4,996	5,401
45–64 let	7,026	6,695	6,965	6,921	5,778	5,100	5,238	5,814
65+ let	5,967	5,909	6,607	6,349	5,759	5,153	6,444	5,986

Tabulka 17 – Střední hodnoty emoce  $v_2$  v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
0–29 let	6,337	7,041	6,865	6,917	4,574	3,932	3,969	4,771
30–44 let	5,970	7,496	6,577	6,702	5,092	4,510	4,566	5,341
45–64 let	6,692	6,666	6,722	7,452	5,806	4,340	4,524	5,556
65+ let	5,657	5,851	6,595	6,381	5,216	3,824	4,417	6,083

Tabulka 18 – Střední hodnoty emoce  $v_3$  v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
0–29 let	6,003	6,359	6,824	6,873	5,431	4,463	4,351	5,107
30–44 let	6,030	6,545	6,806	7,202	6,034	5,085	5,238	5,431
45–64 let	6,410	6,491	6,999	6,736	6,185	4,950	5,277	5,608
65+ let	5,343	5,845	5,310	6,437	5,623	4,773	4,611	5,986

Tabulka 19 – Střední hodnoty emoce  $v_4$  v jednotlivých osminách vzhledem k věku respondentů. Zdroj: vlastní.

	$V_1^-$	$V_2^-$	$V_3^-$	$V_4^-$	$V_1^+$	$V_2^+$	$V_3^+$	$V_4^+$
0–29 let	5,584	5,400	6,031	6,264	5,547	4,844	4,511	5,182
30–44 let	5,287	5,832	6,072	6,828	5,713	5,090	4,186	5,227
45–64 let	5,897	5,959	6,051	5,927	5,898	5,306	4,793	5,082
65+ let	4,929	5,738	5,798	5,444	5,712	4,204	3,556	6,472

ANOVA ukázala, že se faktor řádku a sloupce liší – vyvolávané emoce závisely na věku respondenta. U emoce  $v_1$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_2^-$ , u emoce  $v_2$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_2^-$ , u emoce  $v_3$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_3^-$ , u emoce  $v_4$  se střední hodnoty nejvíce lišily v sektoru  $V_4^+$ .

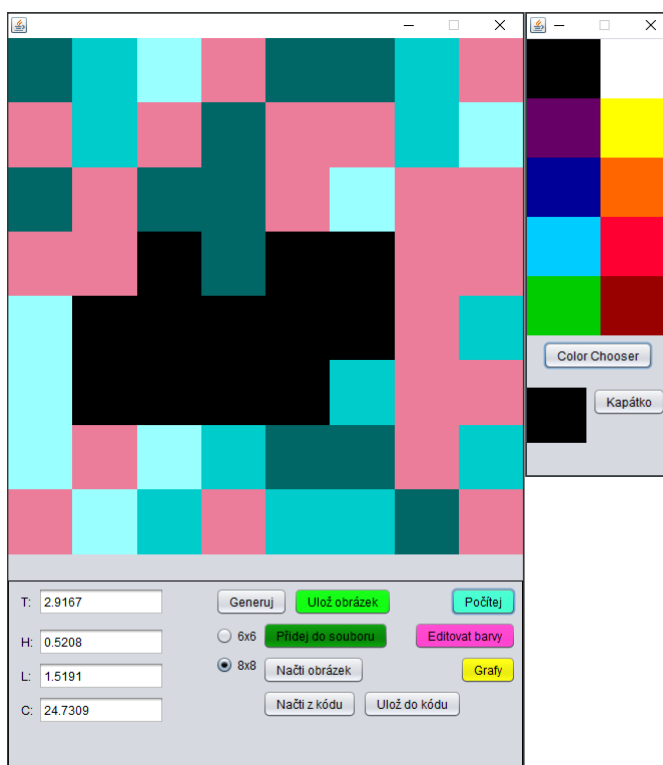
## 5 Praktická část – software

### 5.1 Program pro generování obrazů a výpočet jejich estetických charakteristik

Součástí praktické části diplomové práce bylo vytvoření aplikace. Aplikace je schopna generovat obrazy (různé modifikace obrazu E. Kellyho „Colors on a grid“) a počítat jejich charakteristiky  $T$ ,  $H$ ,  $L$ ,  $C$ . Charakteristiky  $T$ ,  $H$ ,  $L$  a  $C$  lze počítat jak pro obrazy složené z  $8 \times 8$  čtverců, tak i pro obrazy složené z  $6 \times 6$  čtverců.

Aplikace umožňuje vygenerovat větší množství obrazů, jejichž hodnoty charakteristik  $L$  a  $C$  následně vykreslí do grafu. Při přejetí myši nad vykresleným bodem v  $LC$  grafu se zobrazí náhled – miniatura příslušného obrazu (viz obr. 33). Po kliknutí na vykreslený bod v  $LC$  grafu se příslušný obraz přenesse do hlavního okna aplikace, kde je možné ho uložit nebo editovat.

Součástí aplikace je i jednoduchý grafický editor, pomocí něhož lze editovat dříve uložené či vygenerované obrazy, nebo navrhnout vlastní obraz (viz obr. 30).



Obrázek 30 – Hlavní okno aplikace (vlevo) a okno editačního režimu (vpravo). Zdroj: vlastní.

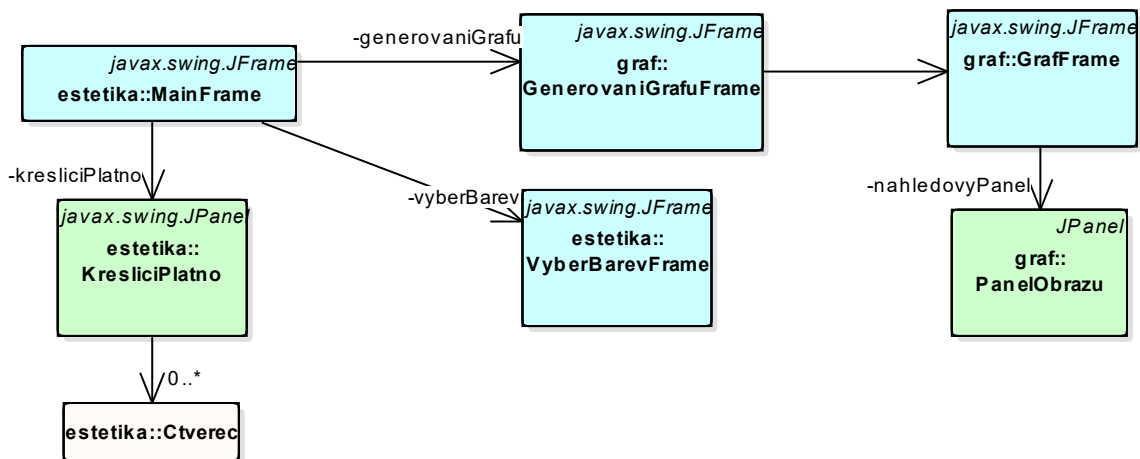
Obrazy lze ukládat buď jako PNG soubor, nebo je možné obraz převést do textového formátu a přidat do textového souboru. Do textového souboru lze takto uložit větší množství obrazů, které je možno následně načíst zpět a jejich charakteristiky  $L$  a  $C$  hromadně vykreslit do grafu.

V aplikaci je podporováno několik druhů generování obrazů:

1. Generování pomocí generátoru náhodných čísel (pro obrazy  $6 \times 6$  i  $8 \times 8$ ),
2. generování pomocí skládání vzorů (pouze pro  $8 \times 8$  obrazy),
3. generování s využitím genetického algoritmu (pouze pro  $8 \times 8$  obrazy),
4. systematické generování určitých symetrií (pouze pro  $8 \times 8$  obrazy).

Všechny způsoby generování jsou blíže popsány v kapitole 3.1.

Pro vykreslování obrazu je použita komponenta *KresliciPlatno*, která je potomkem třídy *javax.swing.JPanel*. *MainFrame* představuje hlavní okno programu, ve kterém je zobrazen obraz a jeho vypočítané charakteristiky  $T$ ,  $H$ ,  $L$  a  $C$ . Uživatel odtud může přistupovat k dalším funkcím programu. Například může spustit editační režim (paleta barev je poté zobrazena v samostatném okně *VyberBarevFrame*), nebo zobrazit okno s dalšími volbami pro generování grafu (*GenerovaniGrafuFrame*). Třídy *GrafFrame* a *PanelObrazu* budou dále popsány v následující části.



Obrázek 31 – UML diagram základních tříd grafického rozhraní. Zdroj: vlastní.

*GenerovaniGrafuFrame* uživateli umožňuje vygenerování grafu obrazů, kde jednotlivé obrazy jsou zobrazeny jako body podle os  $L$  a  $C$ . Uživatel si může interaktivně pomocí myši zobrazit konkrétní obrazy a dále s nimi pracovat. Nastavení generování grafu zahrnuje následující možnosti:

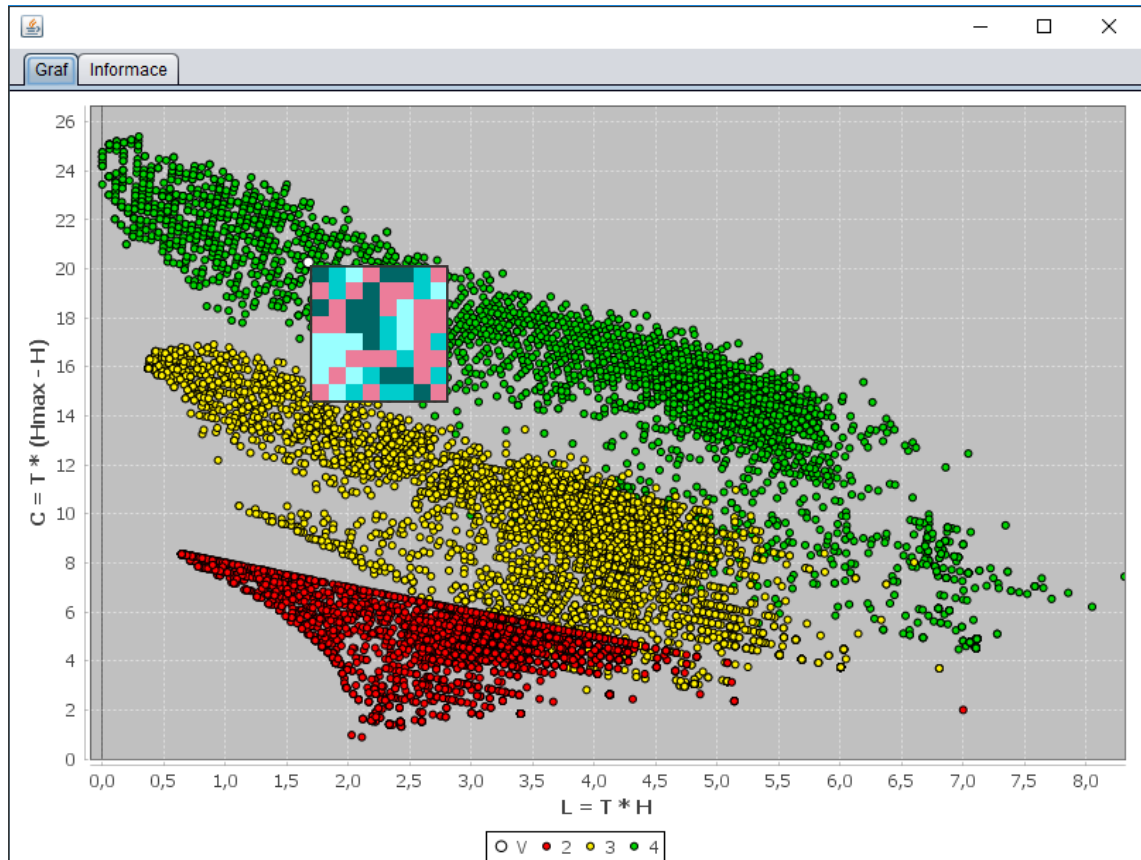
1. Minimální a maximální počet barev v generovaných obrazech,
2. generování pomocí zcela náhodných barev, jednotné množiny fixních náhodných barev nebo barev dle výběru uživatele,
3. počet náhodně vygenerovaných obrazů (barvy jsou voleny pomocí generátoru náhodných čísel, je využito rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti),
4. zahrnutí obrazů generovaných ze vzorů (třída *GeneratorVzoru8x8* — obrazy se skládají z vybraných  $2 \times 2$  a  $4 \times 4$  vzorů umístěných do náhodných či pevně daných pozic),
5. možnost vypočítat konvexní obal množiny bodů a těžiště této množiny (algoritmus využitý pro výpočet je realizován třídou *GrahamScan* a *KonvexniObalMnoziny*),
6. možnost vykreslit do grafu hodnoty  $L$  a  $C$  generovaných obrazů podle absolutních četností shod nebo podle relativní hustoty četností výskytu (pomocí třídy *CetnostiVyskytu*, která dále využívá k-dimenzionálního stromu *KdTree*),
7. volitelně zahrnout do grafu obrazy uložené v souborech (generované genetickým algoritmem, ručně ukládané uživatelem aj.).



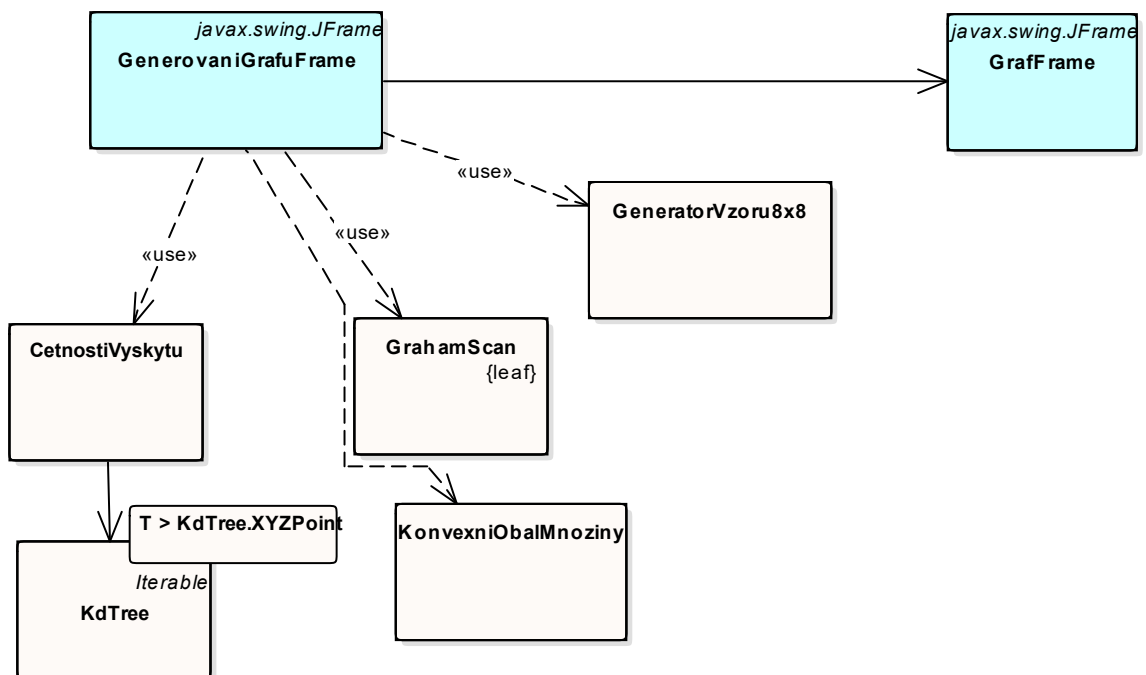
Obrázek 32 – Hlavní okno aplikace (vlevo) a okno s volbami pro generování obrazů a zobrazení grafu (vpravo). Zdroj: vlastní.

Po potvrzení generování pomocí tlačítka dojde ke zpracování vstupních dat, vygenerování příslušného počtu náhodných/vzorových obrazů a ke zpracování jednotlivých analýz. Výsledky jsou zobrazeny v okně *GrafFrame*. Pro vykreslení grafu je využita volně dostupná knihovna *JFreeChart*. V zobrazeném grafu může uživatel pomocí kurzoru myši zobrazovat náhledy jednotlivých obrazů („tooltip“ realizovaný pomocí třídy *GrafPanel*) nebo vybrané obrazy zobrazit v hlavním okně programu. Na dalších záložkách okna jsou dostupné statistiky a zobrazení dat podle absolutních četností shod nebo podle relativní hustoty četností výskytu.





Obrázek 33 – Graf hodnot charakteristik  $L$  a  $C$  u vygenerovaných obrazů a náhled jednoho z obrazů. Zdroj: vlastní.



Obrázek 34 – UML diagram tříd pro generování grafu. Zdroj: vlastní.

Základním problémem řešeným v programu je výpočet charakteristik  $T$ ,  $H$ ,  $L$  a  $C$  pro jednotlivé obrazy. Pro jejich výpočet byly realizovány dvě třídy – *Blok* a *MnozinaBlok*. Blok zde představuje obecně libovolný čtvercový obraz o straně  $N$  (může se jednat tedy o obraz  $8 \times 8$  nebo jeho libovolný subobraz (např.  $4 \times 4$  nebo  $2 \times 2$ )) a nabízí možnost výpočtu jednotlivých  $T$  a  $H$  charakteristik. Vyšší charakteristiky  $H$  (pro výpočet symetrií  $h_7-h_9$ , které porovnávají jednotlivé subbloky s ostatními subbloky v rámci jednoho obrazu) vyžadují množinu dalších stejně velkých bloků (*MnozinaBlok*). Pro rozdělení obrazu do jednotlivých subobrazů (subbloků) je určena metoda *Blok::rozdel*. Vlastní výpočet výsledných charakteristik využije zmíněné metody, konkrétní příklad výpočtu pro obraz  $8 \times 8$  vypadá následovně:

```

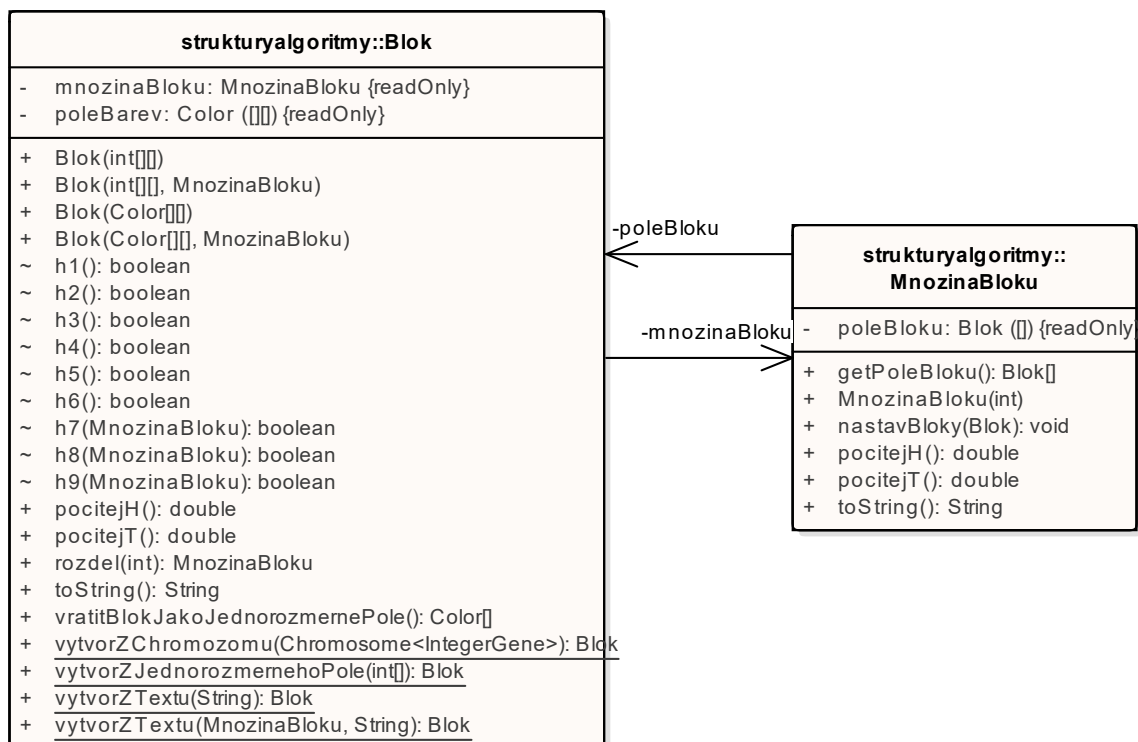
Blok b = kresliciPlatno.vytvorBlok();
MnozinaBlok m1 = b.rozdel(2);
MnozinaBlok m2 = b.rozdel(4);

double h = (b.pocitejH() + m1.pocitejH() + m2.pocitejH()) / 3;
double t = (b.pocitejT() + m1.pocitejT() + m2.pocitejT()) / 3;
double l = t * h;
double c = t * (9 - h);

int barev = (int) (b.pocitejT() + 1);

return new LC(barev, b.vratitBlokJakoJednorozmernePole(), l, c, t, h);

```



Obrázek 35 – UML diagram tříd pro výpočet charakteristik  $T$  a  $H$ . Zdroj: vlastní.

Jelikož jednotlivé charakteristiky  $H$  představují poměrně složité symetrie realizované v obecném čtvercovém obrazu o velikosti  $N$ , byla pro třídu Blok napsána množina testů, která testuje správnost výsledků na vybrané množině obrazů, které dané symetrie obsahují i neobsahují.

## 5.2 Webová stránka

Další součástí praktické části bylo vytvoření webové stránky, na které probíhalo hodnocení obrazů a shromažďování dat. Na této webové stránce respondenti hodnotili vybranou sadu testovacích obrazů a určovali, jaké emoce u nich obrazy vyvolávají. Podrobnosti o průběhu testování a vyhodnocování dat jsou k dispozici v kapitole 3.3.

Realizace sběru dat pomocí on-line dotazníku byla zvolena z toho důvodu, aby bylo možné rychle a efektivně oslovit větší počet respondentů. Pro vytvoření on-line průzkumů dnes existuje řada volně dostupných služeb, na kterých je možné dotazník rychle vytvořit a ihned jej začít šířit. Nevýhodou těchto služeb je značné omezení v možnostech, které nám dotazník nabídne. V případě hodnocení obrazů by bylo ideálně potřeba:

- Zaznamenat základní informace o uživateli (IP adresa, unikátní identifikátor), aby bylo možné zamezit vícenásobnému vyplnění stejným respondentem.
- Zaznamenat statistické informace o uživateli (pohlaví, věk, dosažené vzdělání).
- Zaznamenat reakce uživatele na testovací obrazy (hodnocení obrazů).
- Získat metadata o chování uživatele (čas potřebný k ohodnocení každého obrazu, aby bylo možné vyloučit případy, kdy respondent nehodnotí obrazy důsledným způsobem).

Vzhledem k těmto požadavkům by nebylo možné použít běžně dostupné služby na realizaci on-line dotazníku bez značného omezení požadovaných funkcionalit. Další nevýhodou těchto služeb mohou být omezené možnosti přizpůsobení vzhledu a funkčnosti dotazníku. Z těchto důvodů byla pro realizaci průzkumu zvolena varianta vytvoření vlastní webové prezentace.

Při tvorbě vlastních webových stránek je možné realizovat všechny původně požadované vlastnosti, přizpůsobit vzhled a chování dotazníku. Jednou z dalších výhod je i „hezčí“ URL adresa (při zakoupení vlastní domény), respondenti si tak mohou průzkum lépe zapamatovat a mít větší motivaci se mu věnovat. On-line průzkum byl realizován na adrese [www.esteticke-charakteristiky.eu](http://www.esteticke-charakteristiky.eu), k dispozici je rovněž i anglická mutace na adrese [en.esteticke-charakteristiky.eu](http://en.esteticke-charakteristiky.eu).

Webová prezentace obsahuje několik statických stránek, které podrobněji popisují Klinger–Salingarosovu hypotézu a na příkladu demonstrují matematický aparát, který je využit při výpočtu charakteristik  $L$  a  $C$  jednotlivých obrazů. Hlavní částí prezentace je pak „dotazník“, kde mohli respondenti hodnotit jednotlivé obrazy. Před samotným hodnocením obrazů byla zobrazena úvodní stránka, kde byl respondent vyzván k vyplnění základních informací o jeho pohlaví, věku a vzdělání a následně mohl pokračovat k hodnocení obrazů. Při testování byly obrazy postupně zobrazovány vždy jeden na stránku. Pod obrazem byla k dispozici sada čtyř posuvníků, každý posuvník reprezentoval jednu ze čtyř dvojic sledovaných vlastností. Nastavením posuvníků uživatel přiřadil svoje hodnocení k testovanému obrazu. Po odeslání odpovědi se automaticky zobrazil další obraz.

Webová prezentace je vytvořena na základě dnes běžně využívaných technologií a komponent. Vlastní logika aplikace je realizována ve skriptovacím jazyku PHP. Prezentační část pak využívá HTML 5, CSS 3 a *JavaScript* pro skriptování na straně klienta. Pro ukládání údajů je využita relační databáze *MySQL*.

Pro vytvoření graficky přívětivé aplikace, která bude rovněž responzivní a umožní pohodlné vyplňování odpovědí nejen na stolním PC, ale také na mobilech a tabletech s omezenou velikostí displeje, bylo využito stylovacího frameworku *Bootstrap*. Prezentační část dále využívá JavaScriptovou knihovnu *jQuery* a *jQuery UI* pro realizaci grafických posuvníků ve formuláři a také pro realizaci AJAX požadavků.

Backend využívá skriptovacího jazyka *PHP*, pro realizaci aplikace nebyl využit žádný framework. Komunikaci s *MySQL* databází zajišťuje knihovna *dibi*. Pro správu *PHP* knihoven je využit nástroj *Composer*, který umožňuje jednoduchou správu a instalaci skriptů třetích stran. Pro zlepšení uživatelského komfortu je využito přepisování URL adres (*mod\_rewrite*), který je nakonfigurován v souboru *.htaccess*.

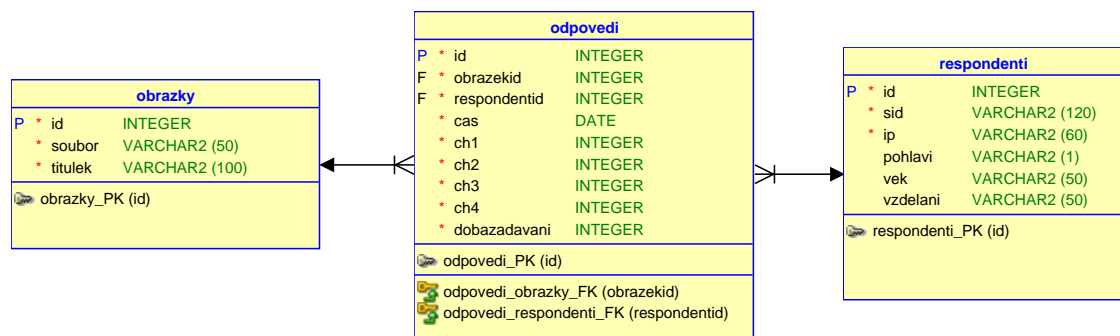
Výchozím skriptem webové prezentace je *index.php*, jeho úkolem je načíst ostatní potřebné soubory:

- *vendor/autoload.php* – automatické načítání závislostí z nástroje *Composer*,
- *common.php* – základní funkce pro vytvoření připojení k databázi a vygenerování hlavičky a patičky HTML stránky,
- *fce.php* – funkce pro výpis jednotlivých textů dle jazykové varianty, zpracování odpovědi na AJAX požadavky a zobrazení obrazu v dotazníku.

Po načtení souborů je detekována jazyková mutace webu, inicializováno připojení k databázi a jsou načteny základní informace o uživateli do *session*. Pokud se uživatel

již někdy nacházel na těchto stránkách, je identifikován pomocí cookies, která byla při předchozí návštěvě uložena do uživatelského prohlížeče. Posledním krokem je provedení „routování“ a dle požadované stránky je načten daný obsah, nebo je zobrazena testovací stránka.

V rámci procesu hodnocení testových obrazů je využito techniky AJAX, aby nebylo nutné obnovovat celou stránku po každém ohodnocení obrazu. Samotné hodnocení jednotlivých obrazů je doplněno neviditelnými validačními údaji u klienta i v *session* na serveru a je zamezeno zneužití CSRF nebo vícenásobné odpovědi u stejného obrazu. Na straně klienta je využito JavaScriptu ke kontrole toho, jak dlouhá doba uběhla od načtení stránky do odeslání hodnocení. V rámci klientských validací je také vytvořena kontrola, která zamezí rychlému odeslání bez vyplnění údajů. Pokud vše proběhne v pořádku, je uživateli zobrazena informační hláška a ihned je zobrazen nový testový obraz, při selhání je pouze zobrazeno chybové hlášení.



Obrázek 36 – Relační model databáze. Zdroj: vlastní.

Struktura databáze pro uchování informací je poměrně jednoduchá a skládá se ze tří tabulek – *obrazky*, *respondenti* a *odpovedi*. Tabulka *obrazky* uchovává informace o aktuální sadě testových obrazů, které respondenti hodnotí. Vlastní obrazová data nejsou uložena v databázi, ale nachází se ve složce *test* u webové aplikace. Vlastní soubor obrazu je identifikován sloupcem *soubor*.

Tabulka *respondenti* uchovává informace o jednotlivých respondentech (obecně návštěvnících webu) a ukládá informace o jejich IP adrese a identifikátoru *session*. Pokud respondent vstoupil do testu, jsou zde rovněž uchovány informace o zařazení do skupiny dle pohlaví, věku a dosaženého vzdělání respondenta. Nejobsáhlejší tabulku představují *odpovedi*. Zde jsou uchovávány informace o hodnocení obrazů jednotlivými respondenty. Pro každé hodnocení byly zaznamenány následující údaje:

- ID respondenta pro propojení s tabulkou *respondenti*,

- ID hodnoceného obrazu (tabulka *obrazky*),
- čas a datum v okamžiku odeslání odpovědi,
- respondentovo ohodnocení jednotlivých vlastností,
- doba hodnocení (čas od načtení stránky do odeslání hodnocení v milisekundách).

Tyto údaje následně sloužily jako základ pro statistické vyhodnocení Klinger–Salingarosovy hypotézy. Pro přehledné a rychlé zobrazení aktuálního stavu průzkumu byl vytvořen pomocný skript *\_vysledky.php*, kde byly zobrazeny všechny obrazy s jejich dosud získanými hodnoceními a základními informacemi (průměrné hodnoty hodnocených vlastností, směrodatná odchylka, informace o respondentovi).

## 6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se podrobně věnovala Klinger–Salingarově hypotéze, která popisuje účinky obrazu na lidskou psychiku dvěma vysvětlujícími estetickými proměnnými „Life“ a „Complexity“, viz (Klinger a Salingaros, 2000). Předmětem intenzivního výzkumu Klingera a Salingarose byly symetrie v obrazech, když zkoumali obrazy tvořené z elementů (označovaných také jako „vzory“) uspořádaných v pravoúhlé čtvercové mřížce.

Dřívější studie neobsahovaly statistickou analýzu Klinger–Salingarovy hypotézy. Proto zde byla testována hypotéza, zda psychologický efekt vyvolaný obrazem může být vyjádřený pomocí estetických proměnných.

Při zpracování této práce byla navržena aplikace, která generovala různé modifikace obrazu „Colors on a grid“ od Ellswortha Kellyho (viz obr. 21 na str. 41). U vytvořených obrazů aplikace určila estetické charakteristiky „Life“ a „Complexity“. S využitím náhodného generování a evolučních algoritmů byly generovány tisíce obrazů s cílem zjistit, jakých hodnot tyto charakteristiky nabývají pro různé počty barev elementů.

Proběhla dvě výběrová šetření s cílem získat data pro statistickou analýzu Klinger–Salingarovy hypotézy. Při zpracování prvního výběrového šetření se prokázalo, že charakteristiky  $L$  a  $C$  závisí nejen na symetriích, ale i na počtu barev. Tato skutečnost vedla k nutnosti standardizovat tyto charakteristiky. Po standardizaci zvolených testovacích obrazů bylo zjištěno, že obrazy nebyly zvoleny vhodně. Proto bylo později uspořádáno druhé výběrové šetření s jinou množinou testovacích obrazů.

Pro statistickou analýzu Klinger–Salingarovy hypotézy bylo třeba získat měření emocí u vybraných obrazů pro dostatečně velkou skupinu diváků. Pro získání takových měření byla navržena webová stránka (Nedvěďová, 2017). U každého respondenta byly v dotazníku získány informace o pohlaví, věku, vzdělání a následně o subjektivních emocích vyvolaných testovacími obrazy.

Pro zpracování dat z prvního výběrového šetření byla provedena analýza dat s využitím chí-kvadrát testu, pro zpracování dat z druhého výběrového šetření byla použita statistická metoda ANOVA. Alternativní hypotéza o existenci závislosti mezi estetickými charakteristikami a emocemi byla potvrzena.

# LITERATURA

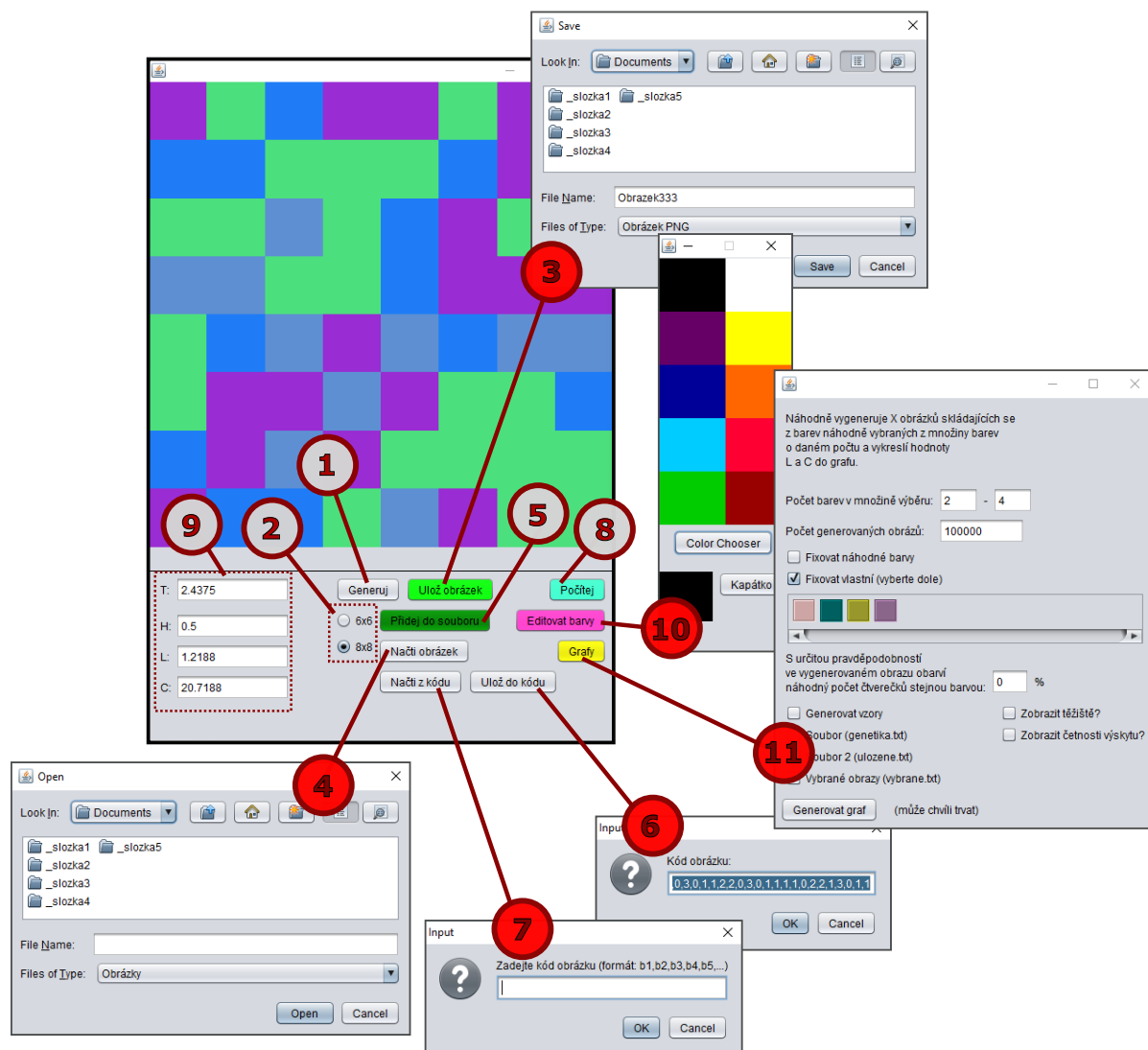
- [1] BIRKHOFF, G. D. *Aesthetic Measure*. Cambridge: Harvard University Press, 1933, xvi, 226 s.
- [2] KLINGER, Allen a Nikos A. SALINGAROS. A Pattern Measure. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2000, **27**(4), 537-547. DOI: doi:10.1068/b2676. ISSN 0265-8135. Dostupné také z: <https://arxiv.org/html/1108.5508v1>
- [3] NEŠETŘIL, J. Aesthetic for Computers, or How to Measure a Harmony. In: EMMER, M. *The Visual Mind II*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2005, 35-58. ISBN 0-262-05076-5.
- [4] SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948, **27**(3), 379-423, 623-656. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x. ISSN 00058580.
- [5] MACHADO, Penousal a Amilcar CARDOSO. Computing Aesthetics. In: DE OLIVEIRA, F. M. *Advances in Artificial Intelligence: 14th Brazilian Symposium on Artificial*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998, 219-228. DOI: 10.1007/10692710\_23.
- [6] DEN HELJER, Eelco a A.E. EIBEN. Investigating aesthetic measures for unsupervised evolutionary art. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2014, **16**, 52-68. DOI: 10.1016/j.swevo.2014.01.002. ISSN 22106502.
- [7] HOFSTADTER, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. New York: Basic Books, 1979, 777 s. ISBN 9780140179972.
- [8] NEDVĚDOVÁ, Marie. *Estetické charakteristiky obrazu* [online]. ©2016-2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.esteticke-charakteristiky.eu>
- [9] MAŘÍK, Vladimír, Olga ŠTĚPÁNKOVÁ a Jiří LAŽANSKÝ. *Umělá inteligence 3*. Praha: Academia, 2004, 328 s. ISBN 80-200-0472-6.
- [10] RUSSELL, Stuart a Peter NORVIG. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall Press, 2009. 3rd. ISBN 978-0136042594.
- [11] Ellsworth Kelly - Alchetron, The Free Social Encyclopedia. *Alchetron, Free Social Encyclopedia for The World* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://alchetron.com/Ellsworth-Kelly-668404-W>
- [12] Aurélie Nemours - Alchetron, The Free Social Encyclopedia. *Alchetron, Free Social Encyclopedia for The World* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://alchetron.com/Aur%C3%A9lie-Nemours-1790753-W>
- [13] ANDĚL, Jiří. *Statistické metody*. 4., upr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007. ISBN 8073780038.



# Příloha 1 – uživatelská příručka aplikace

## 1 Hlavní okno aplikace

Po startu aplikace se zobrazí její hlavní okno.



Obrázek 37 – Hlavní okno aplikace. Zdroj: vlastní.

### 1.1 Tlačítko *Generuj* (1)

Po stisknutí tlačítka *Generuj* aplikace vygeneruje obraz. Barvy elementů obrazu jsou náhodně vybírány z množiny barev. Množina barev je definována v aplikaci a nelze ji měnit.

## 1.2 Volba velikosti generovaného obrazu (2)

Pod tlačítkem *Generuj* lze vybrat počet elementů, ze kterých bude obraz složen. Jsou k dispozici možnosti  $6 \times 6$  (obraz o délce strany 6 elementů, tj. obraz složený z 36 elementů) a  $8 \times 8$  (obraz o délce strany 8 elementů, tj. obraz složený z 64 elementů). Defaultně je nastavena možnost  $8 \times 8$ .

## 1.3 Tlačítko *Ulož obrázek* (3)

Tlačítko *Ulož obrázek* slouží k uložení vykresleného obrazu do souboru s příponou PNG. Po stisknutí tlačítka *Ulož obrázek* se zobrazí dialog, v němž lze zvolit název ukládaného obrazu a vybrat místo pro jeho uložení.

## 1.4 Tlačítko *Načti obrázek* (4)

Tlačítko *Načti obrázek* slouží k načtení uloženého obrazu ve formátu PNG zpět do aplikace.

## 1.5 Tlačítko *Přidej do souboru* (5)

Tlačítko *Přidej do souboru* převede vykreslený obraz do textového formátu a přidá ho na konec souboru *ulozene.txt*. Soubor *ulozene.txt* se fyzicky musí nacházet v pracovním adresáři aplikace, pokud tomu tak není, automaticky se vytvoří nový prázdný soubor *ulozene.txt* a obraz je do něj přidán. Všechny obrazy uložené v textovém souboru *ulozene.txt* lze poté na základě hodnot jejich charakteristik  $L$  a  $C$  hromadně zobrazit v grafu.

## 1.6 Tlačítka *Ulož do kódu* (6) a *Načti z kódu* (7)

Tlačítka *Ulož do kódu* a *Načti z kódu* slouží k exportu nebo importu obrazu prostřednictvím textového formátu. obraz je do textového formátu převeden ve tvaru  $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$ , kde  $e_1 - e_n$  jsou celá nezáporná čísla reprezentující barvy jednotlivých elementů v obraze.  $n$  je počet elementů v obrazu (36 pro obraz  $6 \times 6$  a 64 pro obraz  $8 \times 8$ ). Při převodu obrazu do textového formátu se obecně nezachovávají barvy elementů (textový formát čtyřbarevného obrazu bude složen z celých čísel z intervalu  $\langle 0; 3 \rangle$ ).

## 1.7 Tlačítko *Počítej* (8) a pole pro výpis charakteristik $T$ , $H$ , $L$ a $C$ (9)

Tlačítko *Počítej* vypočítá hodnoty charakteristik  $T$ ,  $H$ ,  $L$  a  $C$  a vypíše je do polí v levé dolní části okna.

## 1.8 Tlačítko *Editovat barvy* (10)

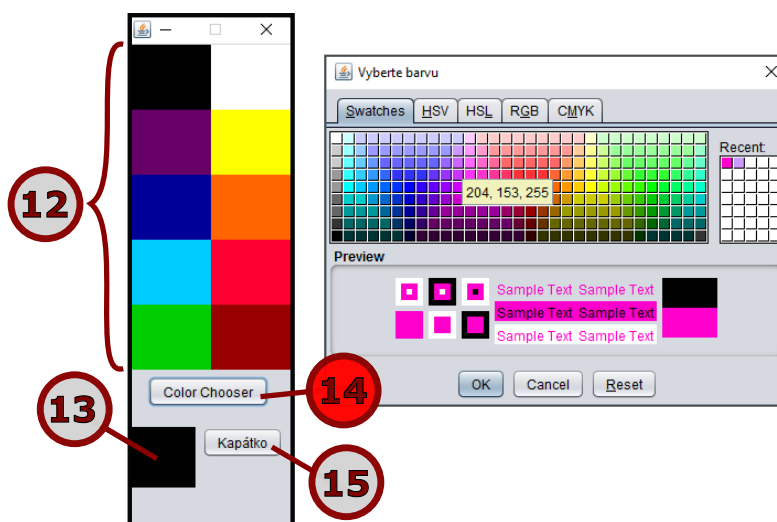
Stiskem tlačítka *Editovat barvy* se otevře okno editačního režimu.

## 1.9 Tlačítko *Grafy* (11)

Po stisknutí tlačítka *Grafy* se otevře okno s volbami pro generování grafů.

## 2. Editační režim

Do editačního režimu se lze dostat stiskem tlačítka *Editovat barvy* (10) v hlavním okně. Editační režim umožňuje měnit barvy elementů ve vykresleném obrazu. Pomocí klikání levého tlačítka myši, nebo případně pomocí stisknutí levého tlačítka a následného tažení myši lze obarvovat jednotlivé elementy obrazu. Elementy se obarví barvou, která je v okně editačního režimu zvolena jako aktuálně vybraná.



Obrázek 38 – Editační režim. Zdroj: vlastní.

## 2.1 Deset barev rychlého výběru (12) a aktuálně vybraná barva (13)

Okno editačního režimu ve své vrchní části obsahuje rychlý výběr deseti barev. Po kliknutí na jednu z deseti barev z rychlého výběru se tato barva nastaví jako aktuálně vybraná. Ve spodní části okna se nachází čtverec, který je zabarven podle aktuálně vybrané barvy. Defaultně je aktuální barva nastavena na černou.

## 2.2 Tlačítko *Color chooser* (14)

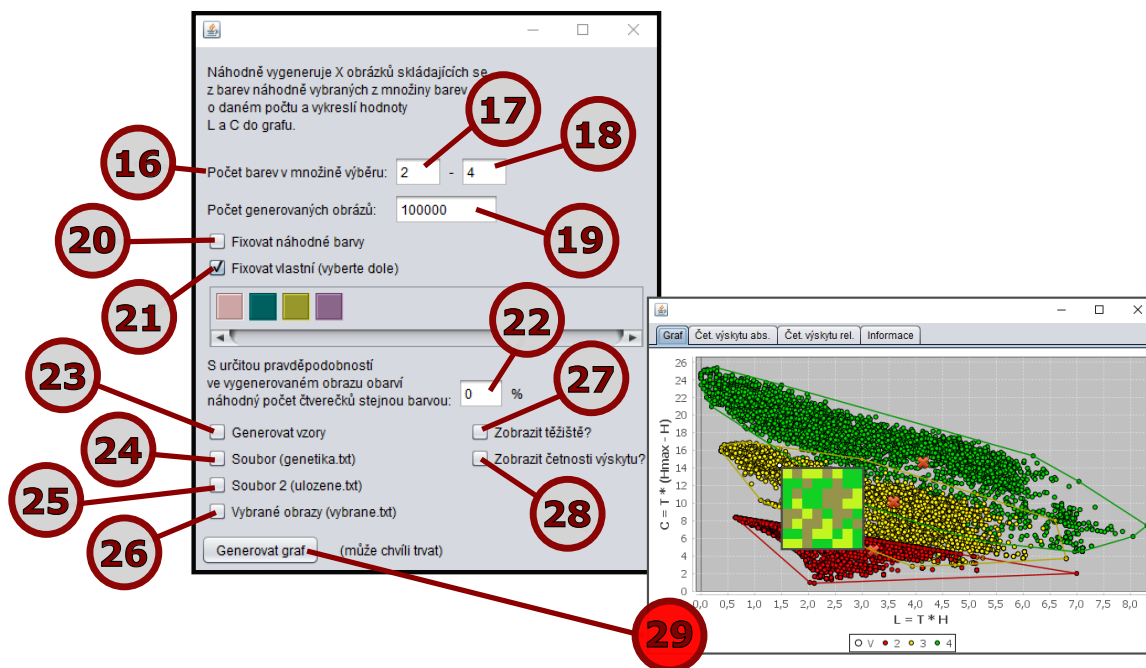
Pokud se požadovaná barva nenachází mezi deseti barvami rychlého výběru, stiskem tlačítka *Color chooser* se otevře dialog, pomocí něhož lze vybrat kteroukoliv barvu. Pro výběr barvy zde lze využít několika barevných modelů: HSV, HSL, RGB nebo CMYK.

## 2.3 Tlačítko *Kapátko* (15)

Pro výběr barvy lze využít také funkci *Kapátko*. Tlačítko *Kapátko* umožní převzít barvu kteréhokoliv elementu z vykresleného obrazu. Po stisknutí tlačítka *Kapátko* je možné aktuálně vybranou barvu nastavit pomocí kliknutí na některý z elementů ve vykresleném obrazu. Aktuálně vybraná barva bude nastavena podle barvy označeného elementu v obraze.

## 3 Generování grafu

Po stisknutí tlačítka *Grafy* (11) v hlavním okně programu se otevře okno s volbami pro generování grafů.



Obrázek 39 – Možnosti generování grafů. Zdroj: vlastní.

### 3.1 Volba *Počet barev v množině výběru* (16) a její parametry *minimální počet barev* (17) a *maximální počet barev* (18)

Volba *Počet barev v množině výběru* udává, kolikabarevné obrázky budou generovány a je určena dvěma parametry: minimálním a maximálním počtem barev v obrazech. Defaultně je v aplikaci nastaven minimální počet barev na 2 a maximální na 4. To znamená, že program bude generovat obrázky sestávající ze dvou, tří a čtyř barev. Pokud bychom chtěli generovat například pouze dvoubarevné obrázky, přiřadíme oběma parametrům (minimálnímu i maximálnímu počtu barev v obrazech) hodnotu 2.

### 3.2 Parametr *Počet generovaných obrázků* (19)

Parametr *Počet generovaných obrázků* udává, kolik obrázků bude pro každý počet barev vygenerováno a zobrazeno v grafu. Defaultně je hodnota nastavena na 100 000 obrázků, při generování obrázků s větším rozmezím množství barev je doporučeno hodnotu snížit.

### 3.3 Fixování barev

Aplikace umožňuje fixování barev u generovaných obrazů. To znamená, že před započnutím generování se buď náhodně, nebo ručně zvolí množina několika barev, z této množiny se pak budou vybírat barvy pro generované obrazy. Pro dvoubarevné obrazy budou použity první dvě barvy z množiny, pro třibarevné obrazy budou použity první tři barvy z množiny atd. To nám umožní generovat obrazy složené vždy ze stejných barev.

#### 3.3.1 Volba *Fixovat náhodné barvy* (20)

Při zaškrtnuté volbě *Fixovat náhodné barvy* zvolí aplikace množinu barev náhodně.

#### 3.3.2 Volba *Fixovat vlastní* (21)

Při zaškrtnuté volbě *Fixovat vlastní* (*vyberte dole*) se níže zobrazí potřebný počet barevných čtverců (počet je závislý na hodnotě parametru maxima ve volbě *Počet barev v množině výběru*). Čtverce jsou obarveny podle defaultně definované množiny barev, ta však může být změněna. Kliknutím na čtverec je vyvolán dialog, pomocí něhož mu lze přiřadit kteroukoliv barvu. Pro výběr barvy zde opět lze využít několika barevných modelů: HSV, HSL, RGB nebo CMYK.

### 3.4 Možnost obarvit u některých vygenerovaných obrazů náhodný počet elementů stejnou barvou (22)

Na uvedené množství generovaných obrazů (v procentech) bude aplikována funkce obarvení. Tato funkce pomocí náhodného generátoru určí množství elementů v obrazu, které bude následně obarveno jednou barvou. Takto můžeme docílit výskytu vyšších symetrií v množině vygenerovaných obrazů.

#### 3.5 Volba *Generovat vzory* (23)

Zaškrtnutím této volby bude kromě náhodného způsobu generování obrazů použito také generování pomocí skládání vzorů (viz kapitola 3.1.2).

### **3.5 Možnost načíst do grafu obrazy ze souborů *genetika.txt* (24), *ulozene.txt* (25) a *vybrane.txt* (26)**

Zaškrtnutím jednoho nebo více souborů se v grafu vykreslí obrazy uložené v těchto souborech. Pokud je potřeba vykreslit v grafu pouze obrazy ze souborů (bez ostatních generovaných obrazů), je nutné parametr *Počet generovaných obrázků* (19) nastavit na nulu. Pro načtení jsou k dispozici tři soubory:

#### **3.5.1 Soubor *genetika.txt* (24)**

První soubor *genetika.txt* obsahuje obrazy vygenerované pomocí genetického algoritmu (viz kapitola 3.1.3). Průběh generování obrazů pomocí genetického algoritmu je zdoluhavý, vygenerování jednoho obrazu trvá několik desítek vteřin. Proto obrazy v souboru byly vygenerovány již dříve a nyní jsou připraveny k načtení.

#### **3.5.2 Soubor *ulozene.txt* (25)**

Druhý soubor *ulozene.txt* obsahuje obrazy, které byly uloženy z hlavního okna aplikace pomocí tlačítka *Přidej do souboru* (5).

#### **3.5.3 Soubor *vybrane.txt* (26)**

Ve třetím souboru *vybrane.txt* jsou uloženy testovací obrazy pro druhé výběrové šetření (viz kapitola 3.3.1 na straně 40).

### **3.6 Volba *Zobrazit těžiště* (27)**

Po zaškrtnutí této volby aplikace z vykreslených bodů v grafu vypočítá a vykreslí konvexní obal a následně vypočte a zobrazí jeho těžiště.

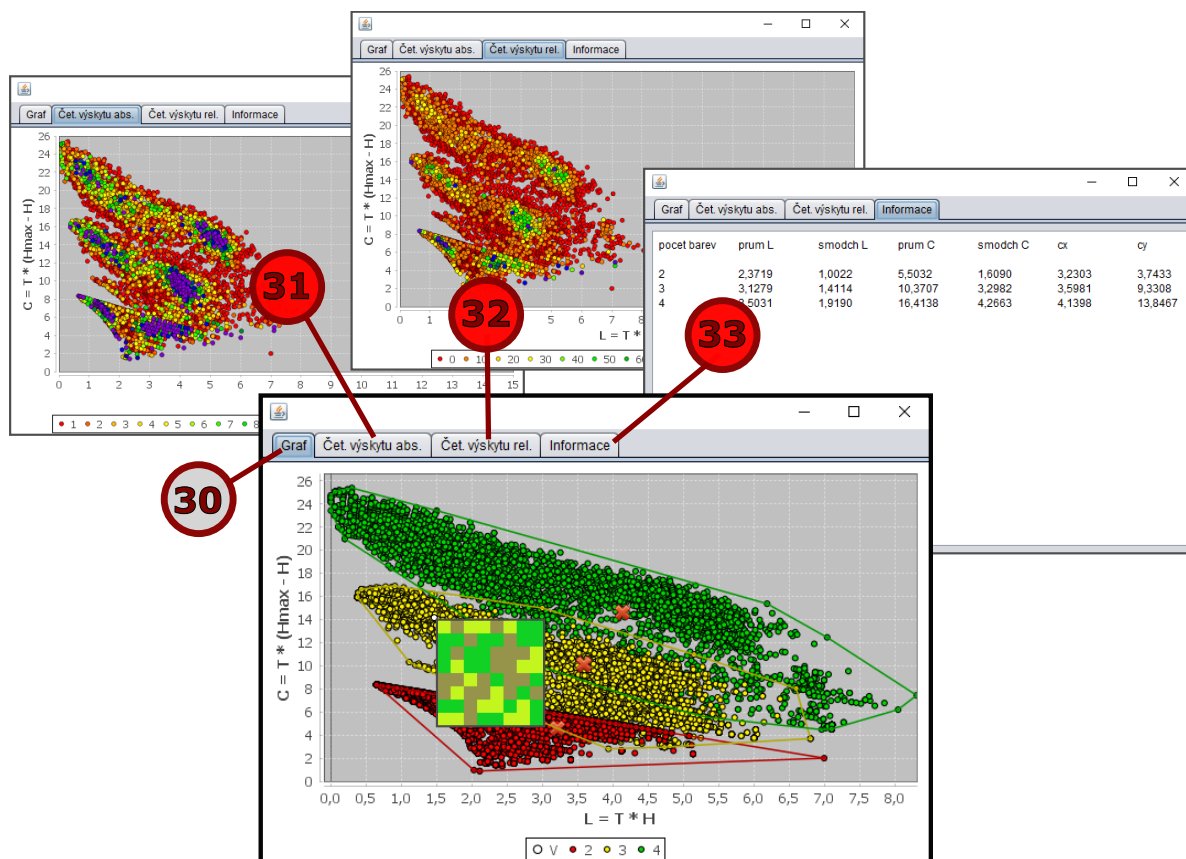
### **3.7 Volba *Zobrazit četnosti výskytu* (28)**

Při zaškrtnuté této volbě se kromě grafu charakteristik  $L$  a  $C$  vykreslí také graf shody charakteristik  $L$  a  $C$  podle absolutních četností a graf shody charakteristik  $L$  a  $C$  podle relativních četností.

### 3.8 Tlačítko *Generovat graf* (29)

Po stisknutí tohoto tlačítka se začnou generovat obrazy podle příslušných nastavení, po dokončení generování se zobrazí graf/grafy s vykreslenými hodnotami.

## 4 Práce s vygenerovaným grafem



Obrázek 40 – Grafy. Zdroj: vlastní.

### 4.1 Základní graf (30)

V zobrazeném grafu může uživatel přejížděním kurzoru myši nad vykreslenými body zobrazovat náhledy – miniatury příslušných obrazů. Po kliknutí na některý z bodů se daný bod zvýrazní bílou barvou a příslušný obraz je přenesen do hlavního okna aplikace, kde je možné ho uložit nebo editovat. Ve všech typech grafů lze kliknutím a následným táhnutím myši přiblížit vytyčenou oblast.



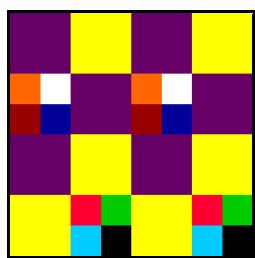
## 4.2 Graf shody charakteristik $L$ a $C$ podle absolutních četností (31) a graf shody charakteristik $L$ a $C$ podle relativních četností (32)

Pokud byla při generování grafu zaškrtnuta možnost *Zobrazit četnosti výskytu* (28), budou se v okně grafu nacházet dvě další záložky, na nichž budou vykresleny oba grafy shod.

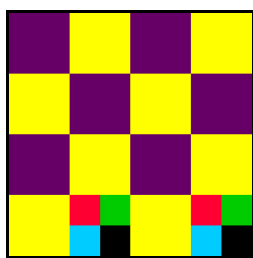
## 4.3 Informace o grafu (33)

Na poslední záložce v okně grafu jsou vypsány informace o vykreslené množině obrazů. Pro jednotlivé počty barev je zde možno nalézt průměry zobrazených hodnot charakteristik  $L$  a  $C$ , hodnoty jejich směrodatných odchylek a souřadnice těžišť.

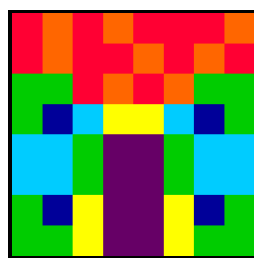
## Příloha 2 – testovací obrazy pro první výběrové šetření



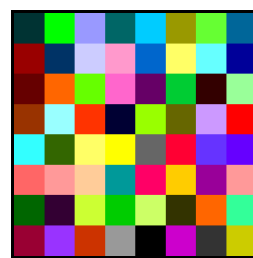
1



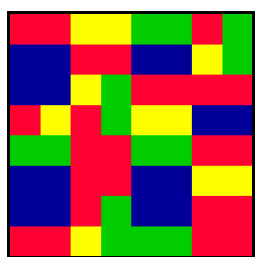
2



3



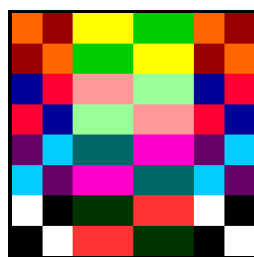
4



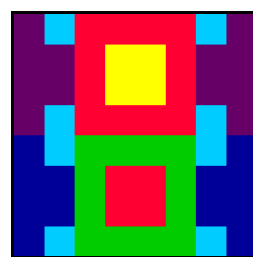
5



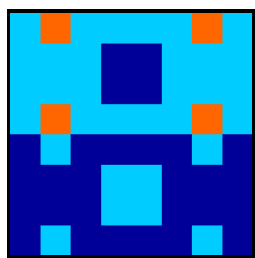
6



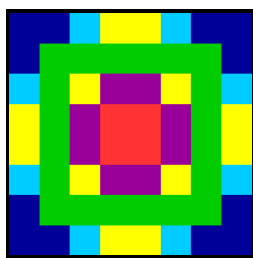
7



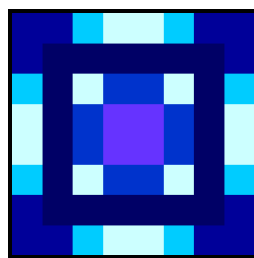
8



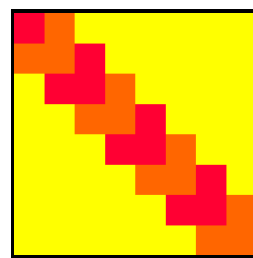
9



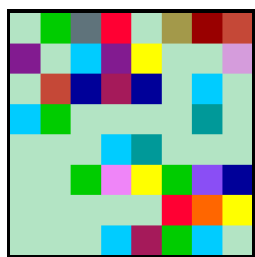
10



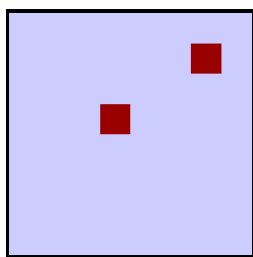
11



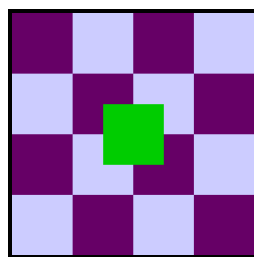
12



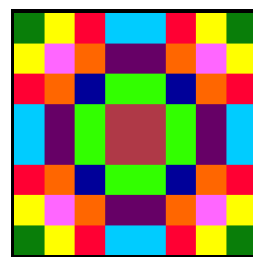
13



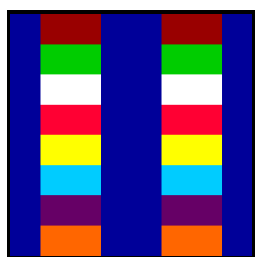
14



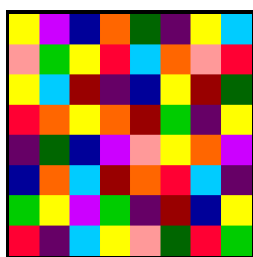
15



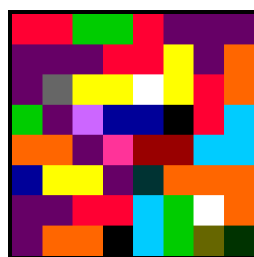
16



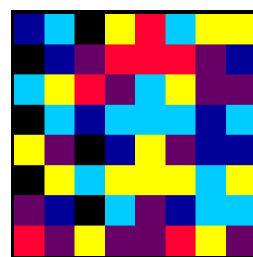
17



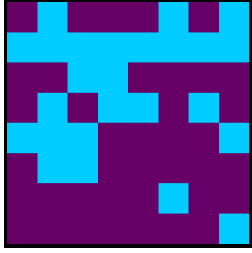
18



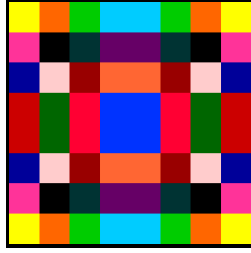
19



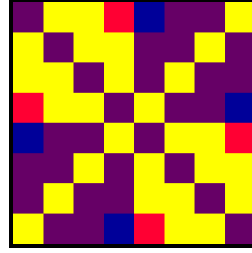
20



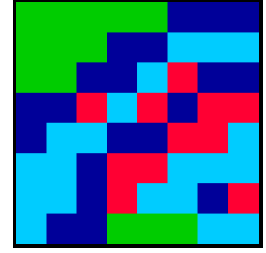
21



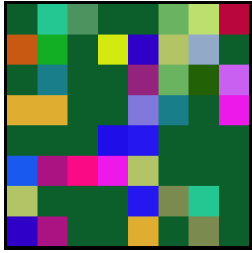
22



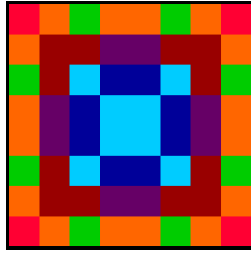
23



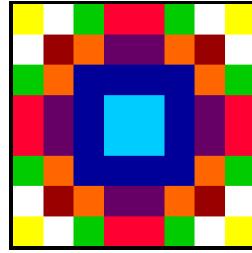
24



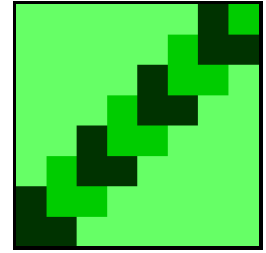
25



26

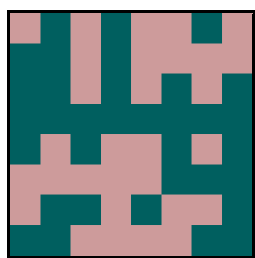


27

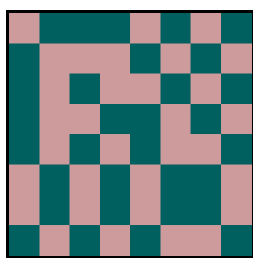


28

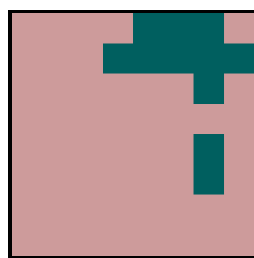
### Příloha 3 – testovací obrazy pro druhé výběrové šetření



1



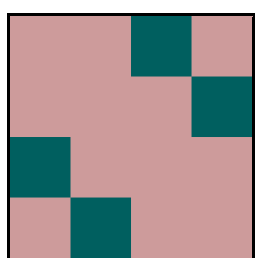
2



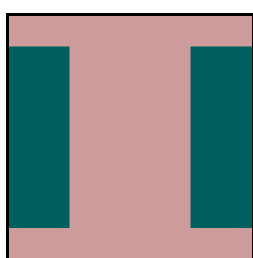
3



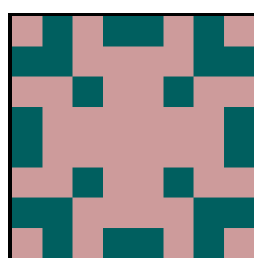
4



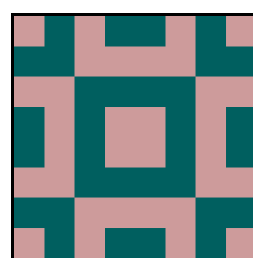
5



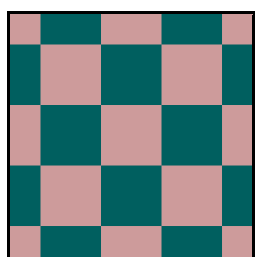
6



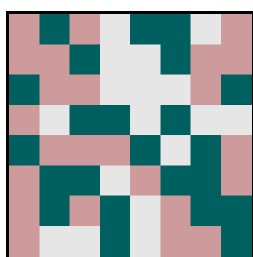
7



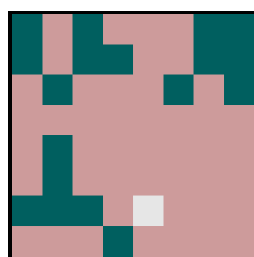
8



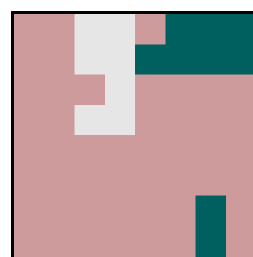
9



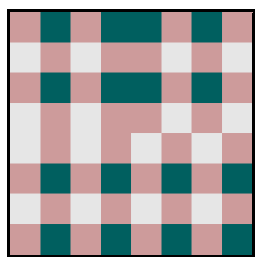
10



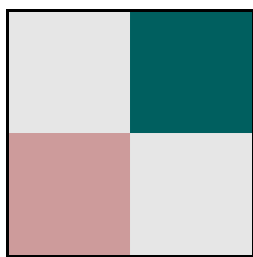
11



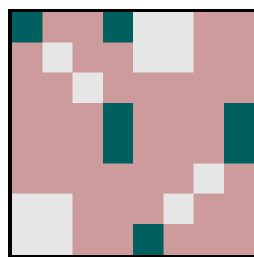
12



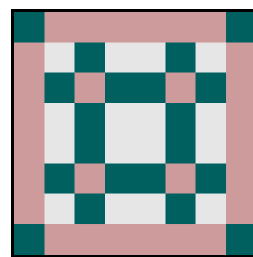
13



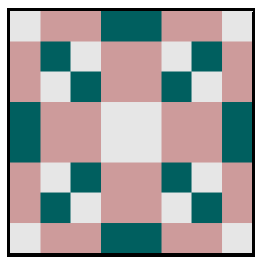
14



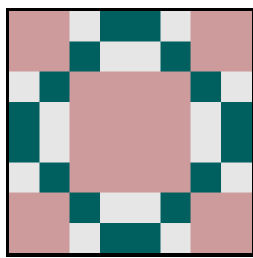
15



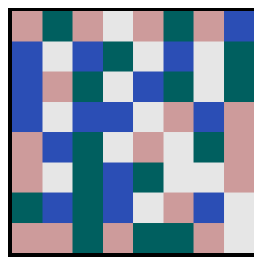
16



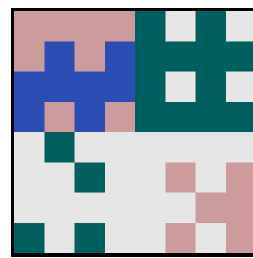
17



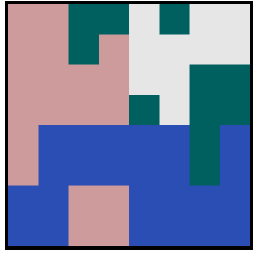
18



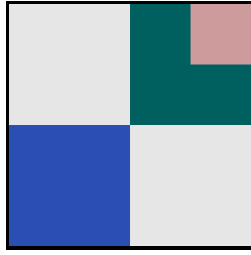
19



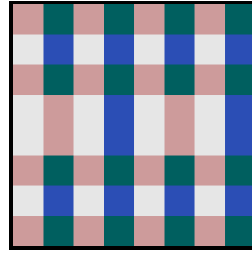
20



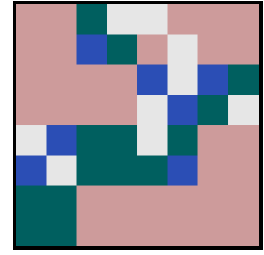
21



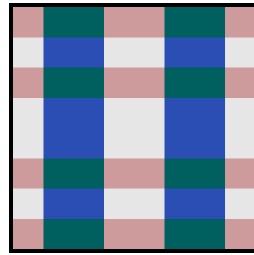
22



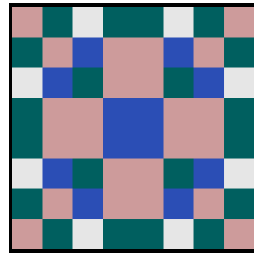
23



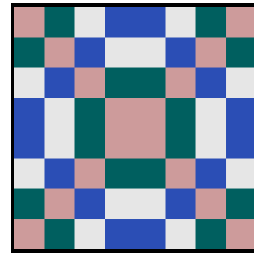
24



25



26



27