

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza vlivu barevnosti fotek na jejich
působivost



Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Ondřej Vencálek, Ph.D.**

Vypracovala: **Anna Bartolotti**

Studijní program: B1103 Aplikovaná matematika

Studijní obor: Matematika - ekonomie se zaměřením na bankovníctví/pojišťovnictví

Forma studia: prezenční

Rok odevzdání: 2019

BIBLIOGRAFICKÉ IDENTIFIKACE

Autor: Anna Bartolotti

Název práce: Analýza vlivu barevnosti fotek na jejich působivost

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky

Vedoucí práce: Mgr. Ondřej Vencálek, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2019

Abstrakt: Hypotéza, kterou máme, je, že oranžová a modrá barva jsou vnímány jako nejatraktivnější barevná kombinace, kterou lidé na fotografiích upřednostňují. Navrhne a realizujeme experimentální studii, v jejímž rámci získáme data o preferencích různých barevných kombinací. Tato data budou statisticky vyhodnocena.

Klíčová slova: barvy, analýza, statistika, testování hypotéz, multinomické rozdělení

Počet stran: 49

Počet příloh: 0

Jazyk: český

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Author: Anna Bartolotti

Title: Analysis of the effect of coloring photos on their impressiveness

Type of thesis: Bachelor's

Department: Department of Mathematical Analysis and Application of Mathematics

Supervisor: Mgr. Ondřej Vencálek, Ph.D.

The year of presentation: 2019

Abstract: We try to prove our hypothesis, that combination colors orange and blue is the most attractive combination in photos. We suggest and realize an experimental study from which we get data about color preferences. These data are statistically evaluated.

Key words: colors, analysis, statistic, testing of hypothesis, multinomial distribution

Number of pages: 49

Number of appendices: 0

Language: Czech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením pana Mgr. Ondřeje Vencálka, Ph.D. a všechny použité zdroje jsem uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne

.....

podpis

Obsah

Úvod	10
1 Barvy	11
1.1 Podstata barvy a světla	11
1.1.1 Barevné spektrum	12
1.1.2 Základní barvy	13
1.2 Psychologie barev	15
1.2.1 Barevné kombinace	16
2 Statistické metody	20
2.1 Multinomické rozdělení	20
2.2 Centrální limitní věta	21
2.2.1 Moivreova-Laplaceova věta	21
2.3 Testování hypotéz	21
2.4 Testovací statistika	23
3 Analýza	28
3.1 Data	28
3.2 Testy hypotéz	33
3.2.1 Porovnání kombinací komplementárních barev	35
3.2.2 Porovnávání kombinací obsahujících modrou barvu	38
3.3 Výsledky výzkumu	43
Závěr	46
Literatura	48

Seznam obrázků

1.1	Spojité barevné spektrum	12
1.2	Barevná škála - kruh	13
1.3	RGB systém	14
1.4	CMY systém	14
1.5	Pigmentové barvy	15
1.6	Komplementární barvy	17
1.7	Výrazné sestavy	18
3.1	Ukázka upravené fotky do barevných kombinací	30
3.2	Věková struktura respondentů	32

Seznam tabulek

2.1	Možné chyby při testování hypotéz	22
3.1	Počty vybrání jednotlivých barevných kombinací v daných skupinách	33
3.2	Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – ženy .	36
3.3	Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – muži .	36
3.4	Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – nej- oblíbenější barva modrá	37
3.5	Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – nej- oblíbenější barva jiná než modrá	37
3.6	Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – mladší 26 let	38
3.7	Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – ve věku 26 let a starší	38
3.8	Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: p-hodnoty	39
3.9	Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: počty zvolení kom- binací – ženy	40
3.10	Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: p-hodnoty – ženy	40
3.11	Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: počty zvolení kom- binací – muži	40
3.12	Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: p-hodnoty – muži	41
3.13	Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kom- binací – nejoblíbenější barva modrá	41
3.14	Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – nej- oblíbenější modrá	41
3.15	Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kom- binací – nejoblíbenější barva jiná než modrá	42
3.16	Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – nej- oblíbenější barva jiná než modrá	42
3.17	Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kom- binací – mladší 26 let	42
3.18	Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – respon- denti mladší 26 let	43

3.19 Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kombinací – věk 26 let a starší	43
3.20 Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – respondenti ve věku 26 let a starší	43

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Mgr. Ondřeji Vencálkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a trpělivost zodpovědět mé dotazy a za veškerý jeho čas, který mi věnoval během vypracovávání mé bakalářské práce.

Úvod

V dnešní společnosti, kdy je téměř samozřejmost vlastnit fotoaparát nebo alespoň mobilní telefon s fotoaparátem, je kolem nás mnohem víc fotek než kdy dřív. Zároveň se s rozvojem technologií zdokonalily grafické editory a jsou tak snadno přístupné a ovladatelné i amatérským uživatelům. Otevřelo se tak nespočetně mnoho možností, jak s fotografií nakládat, jak ji upravit a jak ji prezentovat a v důsledku toho se s fotkami setkáme pomalu na každém kroku.

Tato práce se bude zabývat otázkou, jak lidé vnímají barevnost fotek. Hlavním cílem je zjistit, jestli je jedna specifická barevná kombinace - modrooranžová - působivější, atraktivnější a zajímavější pro diváka než ostatní barevné kombinace. Pomocí dotazníkového šetření zjistíme preference náhodného výběru lidí a na nich budeme testovat správnost našeho předpokladu.

V první kapitole se seznámíme se základními principy barev a barevné škály a s určitými barevnými kombinacemi. Zároveň si vysvětlíme, proč byly zvoleny zrovna takové barevné kombinace, do kterých jsme upravili fotky pro naše dotazníkové šetření. Ve druhé kapitole si popíšeme statistické metody, které budeme využívat k testování daných hypotéz. Ve třetí kapitole provedeme analýzu získaných dat. Ukážeme si, jak jsme postupovali při jejich sběru, jak jsme použili metody vysvětlené ve druhé kapitole a jaké výsledky jsme získali samotným testováním.

Kapitola 1

Barvy

Problematika barev a její studie má dlouhou historii a mohli bychom se jí věnovat opravdu rozsáhle. Jelikož se ale tato práce nezabývá prvotně teorií barev, popíšeme si jen základní definici barev, vysvětlíme si základní principy jejich kombinování a podíváme se na jejich psychologické působení.

1.1. Podstata barvy a světla

Barva a světlo mají mnohem víc společného, než by si člověk v první chvíli pomyslel, jelikož se tyto dva pojmy velmi prolínají.

Z fyzikálního hlediska můžeme barvu popsat jako viditelnou část světelného záření. To nejčastěji popisujeme pomocí vlnových délek, kdy viditelná část záření má rozsah zhruba od 400 nm - 800 nm [8], ale liší se v desítkách nm podle různých zdrojů. Například denní světlo obsahuje všechny viditelné vlnové délky záření v relativně rovnoměrném množství a proto ho vnímáme neutrálně a nazýváme ho tzv. *bílým světlem*. Za hranicemi viditelného spektra vlnových délek se nachází ultrafialové záření (které má kratší vlnové délky než 400 nm) a infračervené záření (které má delší vlnové délky než 800 nm).

Co tedy dělá barvu barvou? Ve chvíli, kdy světelné záření dopadne na předmět určité barvy, například modré, je část světelných paprsků pohlcena a utlumena a k nám se odrazí pouze jejich zbytek. U našeho příkladu – modrého předmětu – je tak utlumena část světelného záření, jejíž vlnové délky odpovídají červené a

zelené barvě, a proto předmět vidíme modře.

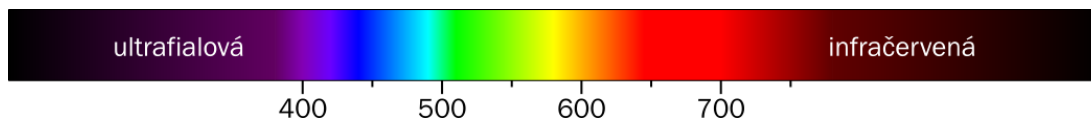
Důležité je samozřejmě také to, v jakém prostředí se na barevný předmět díváme, v jakém světle se vyskytuje nebo vedle jakých barev je umístěn. Tyto a spousta dalších faktorů mohou ovlivnit vnímání dané barvy.

Barvu můžeme charakterizovat pomocí tří vlastností: barevný tón, světlost a sytost. Různé poměry těchto faktorů nám definují barvy tak, jak je známe. Barevný tón nám udává, jakou vlnovou délku vnímáme a podle toho také umíme pojmenovat jednotlivé barvy. Světlost nám určuje množství pohlceného světla a množství světla odraženého od předmětu k oku a tedy to, kolik světla barva vydává. Sytost je dána tím, jak moc se barva liší od šedé a určuje její čistotu.

Mezi těmito faktory platí jisté vztahy, ale také můžeme říct, že určité odstíny vydávají ze své podstaty více světla než jiné, ačkoliv je jejich světlost na stejné úrovni. Takže například žlutou budeme vždy vnímat jako světlejší barvu než modrou.

1.1.1. Barevné spektrum

Barevné spektrum můžeme zobrazit jako pruh všech pro nás viditelných barev od fialové, která má nejkratší vlnovou délku, až po červenou, který ji má nejdelší. Nazýváme ho spojitým spektrem, jelikož obsahuje všechny vlnové délky, které je lidské oko schopné vidět a které mezi sebou plynule přecházejí.



Obrázek 1.1: Spojité barevné spektrum
Zdroj: [10]

My si představíme ještě jinou variantu barevné škály, kterou je kruhové barevné spektrum. To nebere v potaz vlnové délky a vyznačuje se určitou harmonií. Jako první tento kruh navrhl Isaac Newton, který výše zobrazené spojitě spektrum 1.1 spojil do kruhu a mezi krajní barvy, červenou a fialovou, přidal růžovou a

purpurovou. V průběhu let se tento kruh měnil a posouval a dodnes je zobrazován v různých verzích, které se od sebe ovšem liší minimálně.



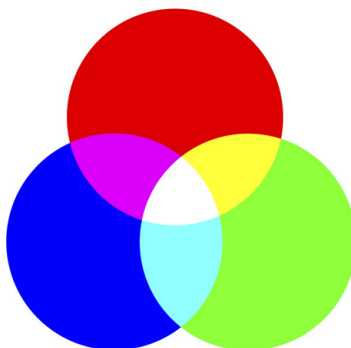
Obrázek 1.2: Barevná škála - kruh
Zdroj: [11]

1.1.2. Základní barvy

Základní nebo také primární barvy jsou většinou tři odstíny, které spolu můžeme míchat a vytvořit tak sekundární barvy. Jelikož se v dnešní době pracuje s barvami v různých formách, nemůžeme určit primární barvy jednoznačně pro všechna odvětví. Například v malířství se budou využívat jiné základní barvy než při tisku.

Světelné barvy - RGB

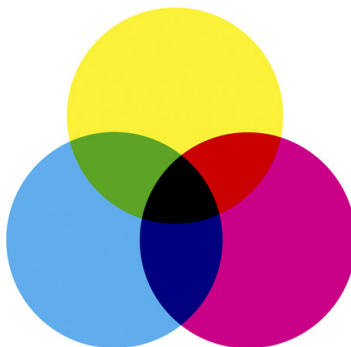
RGB systém je vytvořený z primárních barev červená (R), zelená (G) a modrá (B). Smícháním dvou takovýchto barevných světél vzniknou světlejší barvy, které nazýváme sekundární. Smícháním všech primárních barevných světél nám vznikne bílé světlo. Zobrazit je můžeme na obrázku [1.3](#).



Obrázek 1.3: RGB systém
Zdroj: [12]

Tiskové barvy - CMY

Primární barvy tohoto systému jsou sekundární barvy RGB – žlutá, růžová a azurová. Mícháním těchto barev vznikají tmavší barvy a smícháním všech docílíme černé. Proto se tyto barvy využívají při tisku. Míchání si můžeme zobrazit na obrázku 1.4.



Obrázek 1.4: CMY systém
Zdroj: [12]

Pigmentové barvy

Systém pigmentových barev je vytvořený podle principu malířských barev a jeho struktura je odlišná od výše zmíněných systémů RGB a CMY. Primární barvy jsou v tomto případě ty, kterých nelze docílit mícháním jiných barev. Jsou jimi žlutá, červená a modrá. Mícháním těchto barev ve dvojicích vzniknou sekundární barvy a po přidání primární barvy do sekundární vytvoříme terciální barvy. Na obrázku 1.5 můžeme vidět, že odstíny přechází plynule z jednoho na

druhý právě díky postupnému přimíchávání primárních barev.



Obrázek 1.5: Pigmentové barvy
Zdroj: [12]

1.2. Psychologie barev

Je všeobecně známo, že barvy působí na psychiku člověka. Jako první se tímto tématem zabýval ve větším rozsahu Johann Wolfgang von Goethe, který nesouhlasil s teoriemi Isaaca Newtona, který studoval problematiku barev z fyzikálního hlediska. I. Newton své poznatky sepsal ve své knize Optika.

J. W. von Goethe nesouhlasil s Newtonovým přístupem k barvám, který nebral v potaz lidské vnímání. Začal se barvami zabývat z úplně jiného pohledu, než bylo v jeho době běžné. Své poznatky sepsal v knize Nauka o barvách, kde se psychologií zabývá v kapitole Smyslově-morální účinek barvy, která se stala velmi úspěšnou a vychází i jako samostatná stejnojmenná kniha.

Z jeho pohledu si můžeme uvést krátké charakteristiky jednotlivých vybraných barev a jejich působení na člověka.

Žlutá patří podle Goetheho na stranu kladnou a je to barva nejvíce se blížící světlu. My z ní můžeme mít veselý a povzbudivý pocit. Má na nás hřejivý účinek.

Oranžovou získáme vystupňováním žluté barvy do červené a dostaneme tak ještě víc energickou a mocnější barvu. Platí pro ní to stejné, co jsme uvedli u barvy žluté, jen ve větší míře. Je to hřejivá barva, kterou můžeme v přírodě vidět v plamenech nebo při západu slunce.

Červenou rozděluje Goethe na jasně červenou a červenou. Jasně červenou řadí, stejně jako žlutou a oranžovou, do barev kladných a získáme ji dalším vystupňováním oranžové barvy. Má proto největší energii a vyvolává v nás často vzrušení až určitý rozruch.

Oproti tomu červenou v plné její síle a čistotě nazývá Goethe jako „purpur“, ačkoliv to není úplně správné pojmenování. Představuje tuto barvu jako hotovou a v nejdokonalejší formě. Působí na člověka vážně, důstojně a honosně.

Modrá barva už spadá na stranu zápornou. Goethe o ní napsal: „*Jako ve žluti je vždycky přítomno světlo, tak se dá říci, že v modři je vždycky přítomno něco temného.*“ [1, str. 41] Působí chladně a smutně, ale na druhou stranu v nás vyvolává klid.

Stupňováním modré barvy k červené získáme **fialovou**, další zápornou barvu. Ta má oproti modré jistou působivost, která je ale zneklidňujícího rázu. Světlá forma této barvy může být vnímána půvabně a něžně.

Zelená vzniká spojením žluté a modré barvy. Nacházíme v ní stabilitu, uspokojení a její přítomnost nás uklidňuje.

Tato charakteristika barev je v obecném měřítku využívána dodnes, ale je samozřejmé, že v konkrétních případech musíme uvažovat určitou individualitu jedinců.

Nutno také říci, že psychologické vnímání barev se v průběhu let mění, stejně tak jako se mění napříč různými kulturami a tradicemi. Před mnoha lety se barvy vnímaly jinak a měly jiné významy než dnes. A například východní kultura má symboliku barev i v dnešní době odlišnou oproti našim západním tradicím.

1.2.1. Barevné kombinace

Stejně tak jako na nás působí jednotlivé barvy, vnímáme specificky i jednotlivé barevné kombinace. Charakteristiky těchto kombinací jsou ve většině spisů popisovány podobně, avšak stále musíme mít na paměti, že každý člověk vnímá barvy i barevné kombinace velmi subjektivně a charakteristiky se mohou od

různých autorů mírně lišit. Zde si uvedeme krátké popisy kombinací, které sepsal J. W. von Goethe.

- ***Harmonické sestavy***

Tyto kombinace barev získáme pomocí úsečky vyjadřující průměr v našem kruhu primárních barev. Barvy na obou koncích úsečky jsou navzájem doplňkové – komplementární. Tyto barvy mezi sebou mají největší barevný kontrast a navzájem spolu harmonizují. Žlutá barva má jako protějšek fialovou, červená kontrastuje se zelenou a modrá se doplňuje s oranžovou.

My budeme vycházet ze spektra pigmentových barev (obrázek 1.5), které si zobrazíme jako kruh, ve kterém barvy plynule přechází jedna v druhou. Přiřazení komplementárních protějšků k primárním barvám si můžeme zobrazit v jednoduchém schématu:



Obrázek 1.6: Komplementární barvy

- ***Výrazné sestavy***

Takovéto kombinace mezi sebou nemají mít největší barevný kontrast a nevytváří úplnou harmonii, ale jsou stále výrazné. Získáme je vzájemným propojením dvojic primárních nebo sekundárních barev a následným pohybem tětivy o stejné délce po kružnici. V jednoduchém schématu nám tak vzniknou dvojice:

- modrá a žlutá
- modrá a červená (Goethem často uváděna jako purpur [kapitola 1.2])
- žlutá a červená
- fialová a oranžová
- fialová a zelená
- oranžová a zelená



Obrázek 1.7: Výrazné sestavy

Vliv výrazných sestav složených z primárních barev si můžeme shrnout pod krátké charakteristiky:

Modrá a žlutá

Kombinace barev, ve které chybí jakýkoliv odstín červené a můžeme ji tedy vnímat jako velmi chladnou. Navzdory tomu nás může uklidňovat, jelikož se blíží zelené, která má tendenci v nás tento pocit vyvolávat.

Modrá a červená

Smícháním těchto barev nám vznikne fialová a tudíž budeme tuto kombinaci vnímat podobně. Energická kombinace, která nás jistým způsobem zneklidňuje.

Žlutá a červená

Pozitivní a energické barvy, které svým smícháním vytvoří nejpozitivnější barvu - oranžovou. Působí na nás radostně a hřejivě.

• *Nevýrazné sestavy*

Barvy v těchto kombinacích leží na barevném kruhu blízko u sebe a tak nám neposkytují takovou harmonii a kontrast. Získáme je propojením primárních barev a sekundárních barev, ale jiným způsobem než u výrazných sestav. Tentokrát zkombinujeme primární barvu jedné se sekundární barvou jiné primární barvy. Vzniknou nám tak nevýrazné kombinace, které mají mezi sebou plynulejší přechod a nevyznačují se vzájemným kontrastem. Mohou na nás působit pozitivně, když zkombinujeme barvy na pozitivní straně, jako například žlutou a oranžovou, oranžovou a červenou nebo červenou a fialovou. Ale také se při pohledu na ně nemusíme cítit příjemně, například při kombinaci záporných barev, jako jsou modrá a zelená.

Kapitola 2

Statistické metody

V této kapitole si představíme statistické metody, které použijeme pro naši analýzu dat a vysvětlíme si několik základních pojmů, které jsou pro naši práci zásadní.

2.1. Multinomické rozdělení

Uvažujme situaci, kdy v každém z n nezávislých pokusů nastane právě jeden z k jevů. Mějme náhodný vektor \mathbf{X} , jehož složky jsou náhodné veličiny, které popisují kolikrát se v n pokusech vyskytly dané jevy. Pravděpodobnosti výskytů těchto jevů jsou $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ a platí $p_1 + p_2 + \dots + p_k = 1$

O takovém náhodném vektoru pak řekneme, že má multinomické rozdělení o parametrech p_1, p_2, \dots, p_k, n :

$$\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_k) \sim \text{Multi}(n, \mathbf{p}).$$

Jednotlivé náhodné veličiny z tohoto vektoru mají binomické rozdělení o parametrech n a p_j , $j = 1, \dots, k$ a tudíž můžeme z našich znalostí říct, že platí:

$$E(X_j) = np_j, \quad \text{var}(X_j) = np_j(1 - p_j).$$

Binomické rozdělení je speciální případ multinomického rozdělení pro $k = 2$. Jelikož uvažujeme náhodný vektor o k náhodných veličinách, zajímají nás jednotlivé kovariance mezi nimi. Platí:

$$X_i + X_j \sim \text{Bi}(n, p_i + p_j), \quad \forall i \neq j, \quad i, j = 1, \dots, k$$

a tedy

$$\text{var}(X_i + X_j) = n(p_i + p_j)(1 - [p_i + p_j]) = \text{var}(X_i) + \text{var}(X_j) + 2\text{cov}(X_i, X_j),$$

z čehož můžeme vyjádřit:

$$\text{cov}(X_i, X_j) = \frac{1}{2}n(p_i + p_j)(1 - [p_i + p_j]) - np_i(1 - p_i) - np_j(1 - p_j) = -np_i p_j.$$

2.2. Centrální limitní věta

Obecně nám centrální limitní věta říká, že posloupnost náhodných veličin za daných podmínek konverguje pro $n \rightarrow \infty$ k náhodné veličině $X \sim N(0, 1)$. Vzhledem k rozsáhlosti této věty si zde uvedeme pouze jednu její formu, kterou později využijeme k odvození testovací statistiky.

2.2.1. Moivreova-Laplaceova věta

Tato verze centrální limitní věty nám říká, že jestliže má náhodná veličina Y_n binomické rozdělení $\text{Bi}(n, p)$, má náhodná veličina

$$Z_n = \frac{Y_n - np}{\sqrt{np(1-p)}},$$

pro dostatečně velká n přibližně normální normované rozdělení $N(0, 1)$.

Toto tvrzení můžeme aplikovat i pro mnohorozměrný případ, ve kterém máme náhodné vektory s multinomickým rozdělením. Náhodná veličina vytvořená obdobným způsobem pak bude mít normální normované rozdělení $N(\mathbf{0}, \mathbf{I})$, kde $\mathbf{0}$ je nulový vektor a \mathbf{I} je jednotková matice.

2.3. Testování hypotéz

Statistická hypotéza je tvrzení o rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny (příp. náhodného vektoru) nebo o jejích parametrech. Testováním těchto hypotéz zjišťujeme, jestli je toto tvrzení pravdivé.

Testujeme proti sobě nulovou hypotézu H_0 a alternativní hypotézu H_A . Po stanovení hypotéz H_0 a H_A vybereme vhodnou testovací statistiku, tj. výběrovou funkci $T = T(X_1, \dots, X_n)$, jejíž rozdělení pravděpodobnosti známe, a realizaci této testovací statistiky si pomocí našich pozorovaných hodnot vypočítáme.

Výsledek testu může dopadnout dvěma různými výsledky:

- a) zamítáme H_0 ve prospěch alternativy H_A ,
- b) nemůžeme zamítnout H_0 .

Zpravidla platí, že za H_0 volíme takové tvrzení, které chceme zamítnout, protože platnost nulové hypotézy nemůžeme nikdy zaručit. Můžeme ji jen vyvrátit, anebo tvrdit, že ji nemůžeme zamítnout.

Jelikož k vypočítání testovací statistiky máme k dispozici pouze náhodný výběr dat, můžeme se dopustit určitých chyb. Ty dělíme na dva druhy, které jsou popsány v tabulce 2.1.

	H_0 je správná	H_0 je chybná
H_0 zamítneme	chyba 1. druhu	správně rozhodnutí
H_0 nezamítneme	správně rozhodnutí	chyba 2. druhu

Tabulka 2.1: Možné chyby při testování hypotéz

Symbolem W označíme takovou množinu, která obsahuje všechny hodnoty testovací statistiky, při kterých zamítáme H_0 a nazýváme ji *kritický obor*. Ten zvolíme tak, abychom omezili výskyt chyby 1. druhu. Využíváme číslo α , $0 < \alpha < 1$, které jsme si pevně zvolili už na začátku testu a nazýváme ho *hladina testu* nebo *hladina významnosti testu*. Platnou hypotézu tak zamítáme, tj. chyby 1. druhu se dopouštíme, nejvýše s pravděpodobností α .

Většinou volíme hodnotu $\alpha = 0,05$, kterou jsme zvolili i pro naše testování, nebo hodnotu $\alpha = 0,01$. Tyto hodnoty nám zaručují nízkou pravděpodobnost chyby 1. druhu a přitom nejsou tak moc přísné, aby způsobily zvýšení pravděpodobnosti chyby 2. druhu.

Testy hypotéz mohou být oboustranné nebo jednostranné.

Uvažujme parametr θ a jeho předpokládanou hodnotu θ_0 . Oboustranné hypotézy mají tvar:

$$H_0 : \theta = \theta_0 \quad \text{proti} \quad H_A : \theta \neq \theta_0.$$

Jednostranné hypotézy můžeme uvažovat s pravostrannou alternativou:

$$H_0 : \theta \leq \theta_0 \quad \text{proti} \quad H_A : \theta > \theta_0$$

nebo s levostrannou alternativou:

$$H_0 : \theta \geq \theta_0 \quad \text{proti} \quad H_A : \theta < \theta_0.$$

Při práci se softwarem nás bude zajímat *p-hodnota*, kterou si můžeme charakterizovat jako nejnižší hladinu, při které bychom naši nulovou hypotézu ještě zamítli. Vyjadřuje pravděpodobnost, že hodnotu testovací statistiky $t = T(\mathbf{x})$ získáme stejnou, jako je hodnota námi vypočítaná, nebo ještě více odporující testované hypotéze, za předpokladu platnosti nulové hypotézy.

Pokud vyjde *p-hodnota* menší nebo rovna hodnotě α , zamítáme nulovou hypotézu H_0 na hladině testu α a jestliže je *p-hodnota* větší než α , tvrdíme, že nulovou hypotézu nelze na uvedené hladině testu zamítnout.

2.4. Testovací statistika

Jelikož naše testování spočívá v porovnávání dvou pravděpodobností, žádná nám známých výběrových funkcí tzv. testovacích statistik neodpovídala našemu problému a tak jsme je nemohli použít. Museli jsme si vytvořit vlastní testovací statistiku, pomocí které jsme prováděli testování hypotéz.

Uvažujme náhodný vektor \mathbf{X} , který popisuje počty respondentů, kteří zvolili dané barevné kombinace u jedné fotky. Tento vektor má multinomické rozdělení o parametrech n a \mathbf{p} .

$$\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3)' \sim \text{Multi}(n, \mathbf{p})$$

Naším úkolem je testovat hypotézu tak, abychom byli schopni potvrdit naše tvrzení, že pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace je větší než pravděpodobnost zvolení ostatních barevných kombinací. Nulovou hypotézu a její alternativu tak zapíšeme ve tvaru:

$$H_0 : p_1 - p_2 = 0 \quad \text{proti} \quad H_A : p_1 - p_2 > 0$$

resp.

$$H_0 : p_1 - p_3 = 0 \quad \text{proti} \quad H_A : p_1 - p_3 > 0,$$

kde p_1 , p_2 a p_3 pochází z vektoru pravděpodobností zvolení daných kombinací $\mathbf{p} = (p_1, p_2, p_3)'$ a p_1 je pravděpodobnost zvolení té barevné kombinace, o které chceme prokázat, že je vybrána s větší pravděpodobností a p_2 a p_3 jsou pravděpodobnosti zvolení ostatních dvou kombinací.

Pomocí našeho dotazníku jsme získali odhady těchto pravděpodobností a můžeme je zapsat jako vektor odhadů:

$$\widehat{\mathbf{p}} = (\widehat{p}_1, \widehat{p}_2, \widehat{p}_3)'$$

Jelikož se naše nulová hypotéza zabývá vždy jen dvojicí hodnot z vektoru parametrů \mathbf{p} , vytvoříme si funkci příslušnou k vektoru \mathbf{p} tak, aby odpovídala naší nulové hypotéze. Pronásobíme ho tak řádkovým vektorem $\mathbf{c}' = (1, -1, 0)$, resp. $\mathbf{c}' = (1, 0, -1)$:

$$\mathbf{c}'\mathbf{p} = (1, -1, 0) \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = p_1 - p_2$$

resp.

$$\mathbf{c}'\mathbf{p} = (1, 0, -1) \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = p_1 - p_3.$$

K dispozici máme ovšem pouze odhady těchto pravděpodobností a ty můžeme zapsat následovně:

$$\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2 = \frac{X_1}{n} - \frac{X_2}{n} \quad \text{resp.} \quad \widehat{p}_1 - \widehat{p}_3 = \frac{X_1}{n} - \frac{X_3}{n}.$$

Jak již víme z kapitoly 2.2 o centrální limitní větě, jestliže máme náhodnou veličinu X , která má binomické rozdělení s parametry n a p , můžeme uvažovat náhodnou veličinu

$$\sqrt{n} \frac{\frac{X}{n} - p}{\sqrt{p(1-p)}},$$

která má pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normované normální rozdělení $N(0, 1)$. Je tedy zřejmé, že náhodná veličina

$$\sqrt{n} \left(\frac{X}{n} - p \right)$$

bude mít pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normální rozdělení $N(0, p(1-p))$.

Stejně můžeme postupovat i v našem mnohorozměrném případě, kdy máme místo náhodné veličiny náhodný vektor \mathbf{X} , jehož složky mají multinomické rozdělení s parametry n a \mathbf{p} .

Z výše uvedeného textu (kapitola 2.1) víme, že náhodný vektor $\mathbf{X} \sim \text{Multi}(n, \mathbf{p})$ má střední hodnotu

$$E(\mathbf{X}) = n\mathbf{p}$$

a varianční matici

$$\text{var}(\mathbf{X}) = \begin{pmatrix} np_1(1-p_1) & -np_1p_2 & -np_1p_3 \\ -np_1p_2 & np_2(1-p_2) & -np_2p_3 \\ -np_1p_3 & -np_2p_3 & np_3(1-p_3) \end{pmatrix} = n \underbrace{\begin{pmatrix} p_1(1-p_1) & -p_1p_2 & -p_1p_3 \\ -p_1p_2 & p_2(1-p_2) & -p_2p_3 \\ -p_1p_3 & -p_2p_3 & p_3(1-p_3) \end{pmatrix}}_{\Sigma}$$

Náhodný vektor ve tvaru

$$\sqrt{n} \left(\frac{\mathbf{X}}{n} - \mathbf{p} \right)$$

tak bude mít pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normální rozdělení $N(\mathbf{0}, \text{var}(\Sigma))$.

Člen $\frac{\mathbf{X}}{n}$ v našem uvažovaném náhodném vektoru můžeme napsat jako odhad pravděpodobností $\hat{\mathbf{p}} = (\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3)$ a náhodný vektor tak má tvar

$$\sqrt{n}(\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{p})$$

a má pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normální rozdělení $N(\mathbf{0}, \Sigma)$.

Varianční matici jsme vypočetli následovně:

$$\text{var}(\sqrt{n}(\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{p})) = \text{var}(\sqrt{n}\hat{\mathbf{p}}) = n \cdot \text{var}(\hat{\mathbf{p}}) = n \cdot \text{var}\left(\frac{\mathbf{X}}{n}\right) = n \cdot \frac{1}{n^2} \text{var}(\mathbf{X}) = \Sigma.$$

Vrátíme se k naší nulové hypotéze, ve které testujeme vztah jen dvojice z námi uvažovaných pravděpodobností. Už jsme si dokázali, jaké rozdělení má náhodný vektor $\sqrt{n}(\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{p})$. Je zřejmé, že náhodná veličina, která nás zajímá

$$\sqrt{n}(\mathbf{c}'\hat{\mathbf{p}} - \mathbf{c}'\mathbf{p}),$$

má pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normální rozdělení $N(\mathbf{c}'\mathbf{0}, \mathbf{c}'\Sigma\mathbf{c})$, kde $\mathbf{c}' = (1, -1, 0)$, resp. $\mathbf{c}' = (1, 0, -1)$, je námi zvolený vektor, který zajišťuje správný tvar vybrané nulové hypotézy. Rozptyl této náhodné veličiny si vypočítáme následovně:

$$\begin{aligned} & (1, -1, 0) \begin{pmatrix} p_1(1-p_1) & -p_1p_2 & -p_1p_3 \\ -p_1p_2 & p_2(1-p_2) & -p_2p_3 \\ -p_1p_3 & -p_2p_3 & p_3(1-p_3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} = \\ & = (p_1(1-p_1) + p_1p_2, -p_1p_2 - p_2(1-p_2), 0) \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} = \\ & = p_1(1-p_1) + p_1p_2 + p_1p_2 + p_2(1-p_2) = p_1 - p_1^2 + 2p_1p_2 + p_2 - p_2^2 = \\ & = p_1 + p_2 - (p_1^2 - 2p_1p_2 + p_2^2) = p_1 + p_2 - (p_1 - p_2)^2. \end{aligned}$$

Můžeme tak tvrdit, že náhodná veličina

$$\sqrt{n}((\hat{p}_1 - \hat{p}_2) - (p_1 - p_2))$$

má za platnosti nulové hypotézy H_0 pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normální rozdělení $N(0, p_1 + p_2 - (p_1 - p_2)^2)$ a tedy, že náhodná veličina

$$\sqrt{n} \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2) - (p_1 - p_2)}{\sqrt{(p_1 + p_2) - (p_1 - p_2)^2}}$$

má za platnosti nulové hypotézy H_0 pro $n \rightarrow \infty$ asymptoticky normální normované rozdělení $N(0, 1)$. Jelikož má naše uvažovaná nulová hypotéza tvar $H_0 : p_1 - p_2 = 0$, má za platnosti H_0 výše uvedená veličina tvar:

$$\sqrt{n} \frac{\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2}{\sqrt{\widehat{p}_1 + \widehat{p}_2}} \stackrel{as}{\approx} N(0, 1).$$

Jelikož neznáme pravděpodobnosti p_1 a p_2 , ale pouze jejich odhady, nahradíme tyto hodnoty právě jejich odhady. Díky Cramérový-Sluckého větě [14] můžeme tvrdit, že ačkoliv nahradíme parametry pravděpodobností jejich (konzistentními) odhady, asymptotické rozdělení náhodné veličiny zůstává zachováno.

Tím dostáváme náhodnou veličinu:

$$T = \sqrt{n} \frac{\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2}{\sqrt{\widehat{p}_1 + \widehat{p}_2}} \stackrel{as}{\approx} N(0, 1),$$

ve které známe všechny proměnné a můžeme ji tak využít k testování naší nulové hypotézy $H_0 : p_1 - p_2 = 0$. Kritickým oborem bude $W = (u_{1-\alpha}, \infty)$, jelikož velké hodnoty statistiky T svědčí ve prospěch alternativy. Nulovou hypotézu H_0 tak budeme zamítat ve prospěch alternativy H_A na hladině testu α , pokud se hodnota testovací statistiky T bude realizovat v kritickém oboru W nebo pokud bude p -hodnota menší nebo rovna hodnotě $\alpha = 0,05$.

Obdobným způsobem vypočítáme statistiku pomocí vektoru $\mathbf{c}' = (1, 0, -1)$. Tu využijeme při testování nulové hypotézy:

$$H_0 : p_1 - p_3 = 0 \quad \text{proti} \quad H_A : p_1 - p_3 > 0$$

a bude mít tvar:

$$T = \sqrt{n} \frac{\widehat{p}_1 - \widehat{p}_3}{\sqrt{\widehat{p}_1 + \widehat{p}_3}} \stackrel{as}{\approx} N(0, 1).$$

Kapitola 3

Analýza

V této kapitole budeme analyzovat naše získaná data pomocí statistických metod vysvětlených v předchozí kapitole.

3.1. Data

Naším cílem je zjistit, jestli je modrooranžové ladění fotografie vnímáno jako atraktivnější než ostatní barevné varianty. Zvolili jsme si testování zrovna modrooranžové kombinace, jelikož z poznatků, které o barvách máme, víme, že jsou tyto barvy navzájem doplňkové, tudíž je mezi nimi největší barevný kontrast, a také, že tato kombinace obsahuje modrou – nejoblíbenější barvu většiny lidí ([7] a [9]) – a oranžovou, která je velmi energická a která na fotkách podporuje barvu lidské pleti, takže fotky s touto barvou působí přirozeněji. Modrooranžovou variantu budeme tím pádem testovat dvakrát, jednou v rámci teorie líbivosti kombinací doplňkových barev a podruhé kvůli obecné oblíbenosti modré barvy.

Ačkoliv jsme se rozhodli porovnávat jen určité vybrané barevné kombinace, jelikož nemáme kapacitu na rozsáhlejší výzkum, zvolili jsme barvy do jednotlivých kombinací tak, aby pokryly celé základní barevné spektrum tvořené z primárních a sekundárních barev a rozdíl v jednotlivých barvách byl tím pádem markantní. Zároveň jsme se snažili vybrat barvy stejné světlosti a sytosti, aby preference respondentů nebyly ovlivněny těmito faktory.

Barevné kombinace jsme si rozdělili do dvou skupin. V jedné mezi sebou

porovnáváme kombinace dvou navzájem doplňkových barev a k naší testované modrooranžové variantě jsme vytvořili zelenočervenou a fialovožlutou kombinaci. Zvolili jsme tyto barvy, jelikož jsou k sobě dvojice navzájem komplementární a primární barvy v kombinacích jsou rovnoměrně rozdělené na barevné škále. Ve druhé skupině porovnáváme modrooranžovou variantu s barevnými kombinacemi, ve kterých se vyskytuje modrá. Vytvořili jsme modrožlutou a modrorůžovou kombinaci, jelikož jsme chtěli zachovat barvu alespoň trochu přirozenou lidské pleti.

Abychom mohli naše výsledky, co nejvíce zobecnit na všechny druhy fotografií, zkombinovali jsme různá fotografická témata jako jsou koncert, portrét, zátiší a minimalismus.

Fotek jsme do dotazníku vybrali 10 a každou jsme následně upravili do již výše zmíněných pěti barevných kombinací, které si shrneme zde:

- modrooranžovou
- zelenočervenou
- fialovožlutou
- modrožlutou
- modrorůžovou

Jednotlivé úpravy fotek nalezneme na příloženém CD a jednu ukázkou si i s krátkým popisem zveřejníme na následující straně.



(a) Kombinace doplňkových barev (b) Kombinace obsahující modrou barvou

Obrázek 3.1: Ukázka upravené fotky do barevných kombinací

Na levém obrázku 3.1a máme první skupinu porovnávání barevných kombinací, kterou jsme u všech fotek seřadili postupně shora od modrooranžové, přes zelenočervenou až po fialovožlutou úplně dole.

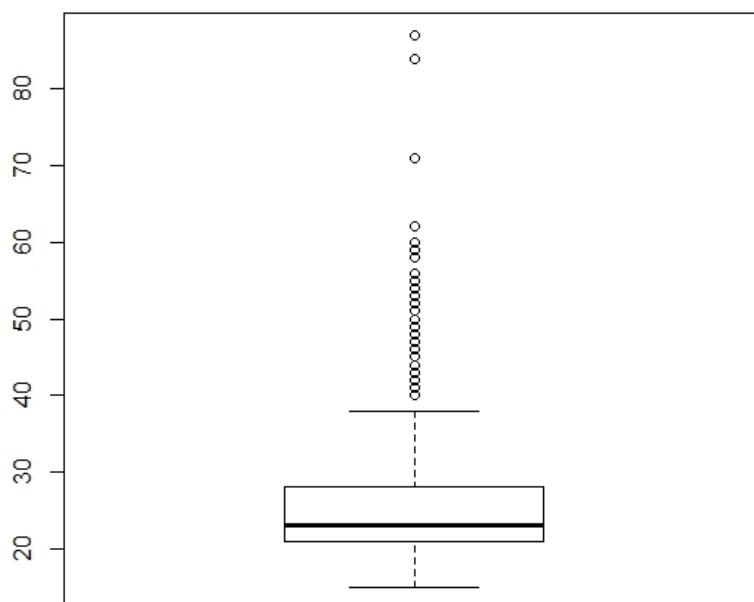
Na pravém obrázku 3.1b je fotka upravená do barevných kombinací obsahující modrou. Ze shora jsou to kombinace: modrožlutá, modrooranžová a modrorůžová.

Dotazník obsahoval 20 otázek, jelikož jsme každou fotku porovnávali ve dvou barevných skupinách 3.1. Respondenti měli za úkol vybrat z každé trojice tu barevnou úpravu, která se jim zdála nejzajímavější, nejatraktivnější nebo na ně

nejlépe zapůsobila. Fotky byly v dotazníku náhodně rozmístěny, aby si respondenti nebyli vědomi, že se barevné kombinace opakují a nevolili stejnou možnost stále dokola.

Ve snaze dosáhnout co největšího počtu odpovědí a získat tak co nejvíce dat, jsme k tvorbě dotazníku využili webovou aplikaci Google Documents a dotazník jsme sdíleli přes sociální sítě a mail. Sběr dat trval od 1.3. 2019 do 18.3. 2019 a získali jsme 666 odpovědí, ze kterých jsme museli dvě vyřadit na základě nesmyslných odpovědí.

Věkovou strukturu respondentů nám zobrazuje obrázek 3.2, kde vidíme, že nám odpověděli lidé ve věku od 15 do 87 let. Polovina respondentů byla mladší 23 let. Dolní kvartil je 21 let, tudíž čtvrtina našich dat je získána od lidí ve věkovém rozmezí 21 až 23 let. Horní kvartil odpovídá věku 28 let a můžeme tak říct, že další čtvrtina respondentů byla ve věku od 23 do 28 let. Polovina respondentů (s vyloušením nejmladších a nejstarších) je z věkového rozmezí 21 až 28 let. Je to určitě dané věkovou strukturou lidí na autorčině sociální síti, kde jsme sbírali data.



Obrázek 3.2: Věková struktura respondentů

3.2. Testy hypotéz

Za 19 dní, kdy jsme měli dotazník zveřejněný, nám odpovědělo 666 respondentů. Z konečného počtu odpovědí 664, které můžeme analyzovat, máme data od 470 žen a od 194 mužů. V průměru bylo respondentům kolem 27 let a modrou barvu označilo za svou nejoblíbenější 201 lidí, což je přibližně 30 %.

Počty zvolení jednotlivých barevných kombinací si uvedeme v následujících tabulkách:

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	519	449	463	435	411	495	434	379	327	487
Zelenočervená	91	66	104	155	146	93	77	158	167	64
Fialovožlutá	54	149	97	74	107	76	153	127	170	113

(a) Kombinace obsahující navzájem komplementární barvy

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrožlutá	255	266	182	238	276	159	246	253	221	277
Modrooranžová	305	347	334	309	277	419	289	209	176	328
Modrorůžová	104	51	148	117	111	86	129	202	267	59

(b) Kombinace obsahující modrou barvou

Tabulka 3.1: Počty vybrání jednotlivých barevných kombinací v daných skupinách

Tabulka 3.1a nám udává počty zvolení jednotlivých barevných kombinací u každé fotky v rámci skupiny komplementárních barev. Stejně fotky jsou upravené do barevných kombinací obsahujících modrou barvou a počty zvolení těchto kombinací jsou v tabulce 3.1b.

Naším cílem bylo zjistit, jestli je modrooranžová barevná kombinace preferovanější barevnou úpravou před ostatními variantami, jinak formulováno, jestli je pravděpodobnost jejího vybrání větší než pravděpodobnost vybrání jiných kombinací. Zvolili jsme si nulovou hypotézu H_0 , která tvrdí, že pravděpodobnosti zvolení daných barevných kombinací jsou stejné a tuto hypotézu jsme chtěli zamítnout. Alternativu jsme si zvolili jednostrannou, která tvrdí, že pravděpo-

dobnost p_1 zvolení modrooranžové kombinace je větší než pravděpodobnost p_2 zvolení zelenočervené kombinace, resp. pravděpodobnost p_3 zvolení fialovožluté kombinace. Hypotézy můžeme zapsat následovně:

$$H_0 : p_1 - p_2 = 0 \quad \text{proti} \quad H_A : p_1 - p_2 > 0,$$

resp.

$$H_0 : p_1 - p_3 = 0 \quad \text{proti} \quad H_A : p_1 - p_3 > 0.$$

Tato označení pravděpodobností platí pro první skupinu, ve které porovnáváme barevné kombinace komplementárních barev, jelikož ve druhé skupině, kde porovnáváme kombinace obsahující modrou barvu, jsou data o modrooranžové kombinaci v tabulce na druhém místě a proto jsme při analýze této skupiny pozměnili značení a pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace, o které tvrdíme, že je větší než ostatní, je poté pod označením p_2 . Pravděpodobnost zvolení modrožluté varianty je v této skupině označena p_1 a pravděpodobnost zvolení modrorůžové kombinace je označena p_3 .

Jako hladinu testu jsme si zvolili hodnotu 0,05, která nám zaručí dostatečně nízkou pravděpodobnost chyby 1. druhu. Testovací statistiku jsme si odvodili v předchozí kapitole a má pro první skupinu tvar:

$$T = \sqrt{n} \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}_1 + \hat{p}_2}},$$

resp.

$$T = \sqrt{n} \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_3}{\sqrt{\hat{p}_1 + \hat{p}_3}}.$$

Pro testování hypotéz ve druhé skupině použijeme modifikovaný tvar testovací statistiky podle výše zmíněných popisů pravděpodobností:

$$T = \sqrt{n} \frac{\hat{p}_2 - \hat{p}_1}{\sqrt{\hat{p}_2 + \hat{p}_1}},$$

resp.

$$T = \sqrt{n} \frac{\hat{p}_2 - \hat{p}_3}{\sqrt{\hat{p}_2 + \hat{p}_3}}.$$

Odhady pravděpodobností vypočítáme jako $\hat{\mathbf{p}} = \frac{\mathbf{X}}{n}$ pro každou fotku zvlášť, kde $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3)$ je vektor počtu zvolení daných barevných kombinací a n je počet respondentů, v našem případě $n = 664$.

Hodnoty testovacích statistik jsme vypočítali zvlášť pro všechny fotografie. Výpočet jsme provedli v programu R Studio.

3.2.1. Porovnání kombinací komplementárních barev

Nejprve jsme pracovali pouze s polovinou našich dat a to se skupinou s kombinacemi komplementárních barev. Četnosti zvolení jednotlivých kombinací můžeme najít v tabulce [3.1a](#).

Pro přehlednost si uvedeme popisy jednotlivých pravděpodobností:

p_1 pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace

p_2 pravděpodobnost zvolení zelenočervené kombinace

p_3 pravděpodobnost zvolení fialovožluté kombinace

Při testu hypotéz týkajících se této skupiny fotografií vyšla p-hodnota téměř nulová a to jak v případě porovnání pravděpodobnosti p_1 s pravděpodobností p_2 , tak i v případě porovnání pravděpodobnosti p_1 s pravděpodobností p_3 .

Získali jsme hodnoty, které jsou výrazně menší než je naše hladina testu $\alpha = 0.05$, takže nulovou hypotézu H_0 zamítáme v případě všech fotek a hypotéz a můžeme říct, že pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace je opravdu větší než pravděpodobnost zvolení ostatních variant.

Ženy

Z naší datové sady jsme vybrali jen odpovědi od žen a provedli jsme stejný test. Celkem na dotazník odpovědělo 470 žen. Počty zvolení barevných kombinací si ukážeme v tabulce [3.2](#).

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	371	311	329	301	301	343	317	264	235	343
Zelenočervená	60	47	71	117	100	68	53	113	130	39
Fialovožlutá	39	112	70	52	69	59	100	93	105	88

Tabulka 3.2: Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – ženy

P-hodnoty nám vyšly u všech fotek v obou případech hypotéz velmi blízké nule, takže H_0 zamítáme.

Muži

Stejně jsme testovali hypotézy i na vybraných datech jen s odpověďmi mužů, kterých nám odpovědělo 194. Četnosti zvolení barevných kombinací si uvedeme v tabulce 3.3.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	148	138	134	134	110	152	117	115	92	144
Zelenočervená	31	19	33	38	46	25	24	45	37	25
Fialovožlutá	15	37	27	22	38	17	53	34	65	25

Tabulka 3.3: Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – muži

V tomto testu nám p-hodnoty vyšly téměř nulové a v důsledku našeho zaokrouhlování na 4 desetinná místa můžeme zmínit pouze fotku č. 9, v jejímž případě vyšla p-hodnota přibližně 0.0156 a byla tak nejbližší hodnotě hladiny testu.

Respondenti s oblíbenou barvou modrou

Test jsme udělali i pro výběr odpovědí jen od respondentů, kteří uvedli jako svou nejoblíbenější barvu modrou. Celkem nám odpovědělo 201 lidí a počty zvolení barevných kombinací jsou uvedeny v tabulce 3.4.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	163	127	147	134	134	162	136	125	105	156
Zelenočervená	27	21	23	45	36	18	15	41	50	14
Fialovožlutá	11	53	31	22	31	21	50	35	46	31

Tabulka 3.4: Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – nejoblíbenější barva modrá

P-hodnoty nám vyšly jako v předchozích testech téměř nulové nebo výrazně menší než naše hladina testu, takže je v tabulce ani nebudeme uvádět.

Respondenti s oblíbenou barvou jinou než modrou

Následně jsme testovali i námi uvažované hypotézy na datech od respondentů, kteří jako svou oblíbenou barvu zvolili jinou než modrou. Těchto respondentů bylo 463 a četnosti zvolení barevných kombinací si můžeme prohlédnout v tabulce 3.5.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	356	322	316	301	277	333	298	254	222	331
Zelenočervená	64	45	81	110	110	75	62	117	117	50
Fialovožlutá	43	96	66	52	76	55	103	92	124	82

Tabulka 3.5: Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – nejoblíbenější barva jiná než modrá

I v tomto případě jsme ovšem nulovou hypotézu zamítli u všech fotek a u obou hypotéz, jelikož nám p-hodnoty vyšly téměř nulové.

Respondenti mladší 26 let

Z dat jsme následně vybrali odpovědi od lidí mladších než 26 let. Tuto hranici jsme si zvolili, protože se většinou jako vrchol lidského vývinu uvádí 25. rok. [6] Lidé mladší než 26 let tak mohou teoreticky smýšlet jinak než starší jedinci. Respondentů mladších 26 let nám odpovědělo 448 a počty zvolení barevných kombinací si ukážeme v tabulce 3.6.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	359	307	328	290	281	337	313	261	215	326
Zelenočervená	58	37	55	102	93	56	43	95	122	47
Fialovožlutá	31	104	65	56	74	55	92	92	111	75

Tabulka 3.6: Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – mladší 26 let

P-hodnoty testovaných hypotéz nám vyšly taktéž téměř nulové.

Respondenti staří 26 let a starší

Respondentů ve věku 26 let a starších nám na dotazník odpovědělo 216.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrooranžová	160	142	135	145	130	158	121	118	112	161
Zelenočervená	33	29	49	53	53	37	34	63	45	17
Fialovožlutá	23	45	32	18	33	21	61	35	59	38

Tabulka 3.7: Počty zvolení kombinací, skupina doplňkových kombinací – ve věku 26 let a starší

Testování obou hypotéz skončilo jejich zamítnutím, jelikož všechny p-hodnoty vyšly velmi blízké nule.

3.2.2. Porovnávání kombinací obsahujících modrou barvu

Druhou část našeho souboru - skupinu kombinací obsahujících modrou barvu - jsme podrobili stejným testům jako předchozí skupinu. Jak jsme zmiňovali již výše, pozměnili jsme si značení pravděpodobností a pro větší přehlednost si je zde shrneme:

p_1 pravděpodobnost zvolení modrožluté kombinace

p_2 pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace

p_3 pravděpodobnost zvolení modrorůžové kombinace

Počty zvolení jednotlivých kombinací jsme si uváděli v tabulce 3.1b. P-hodnoty pro jednotlivé fotky a hypotézy můžeme vidět v tabulce 3.8.

$H_0 :$	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.0173	0.0005	0	0.0012	0.483	0	0.0315	0.98	0.988	0.0191
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0.365	0.999	0

Tabulka 3.8: Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: p-hodnoty

Políčka v tabulce vyznačená červeně obsahují p-hodnoty větší než je naše hladina testu $\alpha = 0.05$ a proto v těchto případech nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Nemůžeme tak tvrdit, že je u těchto fotek modrooranžová kombinace vybírána s větší pravděpodobností než ostatní kombinace.

Test jsme se rozhodli udělat i bez rozlišování typu jednotlivých fotek. Sečetli jsme si počty zvolení jednotlivých barevných kombinací u všech fotek a získali tak hodnoty:

$$X_1 = 2373$$

$$X_2 = 2993$$

$$X_3 = 1274,$$

přičemž rozsah souboru je tentokrát 6640, protože máme 664 odpovědí na každou z deseti fotek. Pravděpodobnosti zvolení jednotlivých barevných kombinací si vypočítáme stejně, jako když jsme testovali jednotlivé fotky.

Při tomto testu nám p-hodnota vyšla velmi malé číslo u obou možností nulové hypotézy, takže bychom mohli říct, že pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace je větší než pravděpodobnost zvolení ostatních možností. Viděli jsme však, že tento předpoklad nemusí pro některé typy fotografií platit.

Ženy

Opakovali jsme postup jako při testu první skupiny kombinací komplementárních barev (3.2.1) a z dat jsme vybrali pouze odpovědi žen a jejich počty zvolení kombinací můžeme najít v tabulce 3.9.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrožlutá	174	186	118	168	198	108	171	174	146	190
Modrooranžová	216	243	235	208	185	300	209	130	114	232
Modrorůžová	80	41	117	94	87	62	90	166	210	48

Tabulka 3.9: Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: počty zvolení kombinací – ženy

Kritické hodnoty se vyskytují u stejných fotek a hypotéz jako při testování celého souboru.

H_0 :	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.0167	0.003	0	0.0196	0.7467	0	0.0256	0.9942	0.9764	0.0205
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0.9818	1	0

Tabulka 3.10: Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: p-hodnoty – ženy

Muži

Následně jsme zkoumali jen odpovědi mužů.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrožlutá	81	80	64	70	78	51	75	79	75	87
Modrooranžová	89	104	99	101	92	119	80	79	62	96
Modrorůžová	24	10	31	23	24	24	39	36	57	11

Tabulka 3.11: Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: počty zvolení kombinací – muži

$H_0 :$	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.27	0.0384	0.0031	0.0089	0.141	0	0.344	0.5	0.867	0.2529
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.323	0

Tabulka 3.12: Skupina kombinací obsahujících modrou barvu: p-hodnoty – muži

Kritické hodnoty jsme v tomto případě zaznamenali u více fotek než při testování celého souboru.

Respondenti s oblíbenou barvou modrou

Dále jsme z našich dat vybrali pouze odpovědi od respondentů, kteří jako svou oblíbenou barvu označili modrou. Odpovědi jsme podle tohoto kritéria získali 201 pro každou fotku.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrozlutá	76	74	62	70	78	53	76	76	62	78
Modrooranžová	100	111	106	102	96	130	90	71	63	109
Modrorůžová	25	16	33	29	27	18	35	54	76	14

Tabulka 3.13: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kombinací – nejoblíbenější barva modrá

P-hodnoty, které jsou větší než je hladina našeho testu vyšly víceméně u stejných fotek a hypotéz jako při testování celého souboru a můžeme si je prohlédnout v tabulce 3.14:

$H_0 :$	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.0352	0.0033	0.0003	0.0073	0.0862	0	0.1386	0.6600	0.4644	0.0117
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0.0642	0.8649	0

Tabulka 3.14: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – nejoblíbenější modrá

Respondenti s oblíbenou barvou jinou než modrou

Test jsme provedli i na vybraná data respondentů, kteří uvedli jako svou oblíbenou barvu jinou než modrou a kterých bylo 463.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrožlutá	179	192	120	168	198	106	170	177	159	199
Modrooranžová	205	236	228	207	181	289	199	138	113	219
Modrorůžová	79	35	115	88	84	68	94	148	191	45

Tabulka 3.15: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kombinací – nejoblíbenější barva jiná než modrá

P-hodnot větších než hladina našeho testu $\alpha = 0.05$ jsme při testování této části respondentů získali více než při testování celého souboru, jak můžeme vidět v tabulce 3.16.

H_0 :	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.0923	0.0167	0	0.0220	0.8087	0	0.0656	0.9860	0.9974	0.1640
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0.7228	1	0

Tabulka 3.16: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – nejoblíbenější barva jiná než modrá

Respondenti mladší 26 let

Test jsme provedli i s daty respondentů mladších 26 let, kterých nám odpovědělo 448.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrožlutá	166	166	113	168	202	95	159	176	143	179
Modrooranžová	210	242	230	185	173	293	199	135	113	225
Modrorůžová	72	40	105	95	73	60	90	137	192	44

Tabulka 3.17: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kombinací – mladší 26 let

$H_0 :$	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.0116	0.0001	0	0.1828	0.9329	0	0.0173	0.99	0.9696	0.0111
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0.5483	1	0

Tabulka 3.18: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – respondenti mladší 26 let

Respondenti ve věku 26 let a starší

Respondentů starých 26 let a starších nám odpovědělo na dotazník 216.

	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
Modrožlutá	89	100	69	70	74	64	87	77	78	98
Modrooranžová	95	105	104	124	104	126	90	74	63	103
Modrorůžová	32	11	43	22	38	26	39	65	75	15

Tabulka 3.19: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: počty zvolení kombinací – věk 26 let a starší

P-hodnoty nám v tomto případě vyšly:

$H_0 :$	Fotka									
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10
$p_2 - p_1 = 0$	0.3291	0.3635	0.0039	0.0001	0.0123	0	0.4108	0.5964	0.8967	0.3622
$p_2 - p_3 = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0.2226	0.8465	0

Tabulka 3.20: Skupina kombinací obsahující modrou barvu: p-hodnoty – respondenti ve věku 26 let a starší

3.3. Výsledky výzkumu

Nejprve jsme testovali hypotézy týkajících se doplňkových barev. Nulová hypotéza tvrdila, že pravděpodobnost zvolení modrooranžové varianty je stejná jako pravděpodobnost zvolení zelenočervené resp. fialovožluté kombinace. Alternativní hypotéza tvrdila, že modrooranžová kombinace je volena častěji než ostatní barevné úpravy. Obě nulové hypotézy jsme zamítli u všech fotek. Mohli bychom tedy tvrdit, že pokud by si měl člověk vybrat mezi těmito třemi harmonickými kombinacemi, s největší pravděpodobností by si vybral modrooranžovou variantu.

Následně jsme testovali hypotézy týkající se barevných kombinací obsahujících modrou barvu. Nulová hypotéza tentokrát tvrdila, že pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace je stejná jako pravděpodobnost zvolení modrožluté resp. modrorůžové kombinace. Alternativní hypotéza měla podobu, že nejčastěji je volena modrooranžová kombinace oproti ostatním možnostem.

Nulové hypotézy jsme v rámci této skupiny nemohli vždy zamítnout. Při pohledu na tabulky s p-hodnotami si můžeme povšimnout, že šlo hlavně o fotografie č. 8 a fotografii č. 9, u nichž jsme nemohli zamítnout ani jednu nulovou hypotézu. Tyto dvě fotografie jsou minimalistické a jsou na nich vyobrazeny věci, které nemají žádné své přirozené barvy (pastelka i mašlička mohou mít jakoukoliv barvu), takže nám nevadí změna barevné kombinace a fotka na nás působí stále přirozeně. Hypotézu o větší pravděpodobnosti zvolení modrooranžové kombinace jsme ověřovali jednak proto, že obsahuje modrou barvu, která je obecně nejoblíbenější barvou, a taky proto, že obsahuje oranžovou, která je k modré komplementární a zároveň podporuje barvu pleti. Tyto dvě fotky neobsahují nic, co by mělo mít barvu lidské pleti a to je možným důvodem, proč jsme nulovou hypotézu nemohli zamítnout. Lidé pravděpodobně pozitivně reagovali na modrobarevné ladění fotek a když měli porovnávat fotky ve druhé skupině, kde byly fotky upravené do barevných kombinací obsahujících modrou, jejich preference se často rozptýlili mezi všechny tři možnosti.

Další fotografie, u které jsme nulovou hypotézu týkající se barevných kombinací obsahujících modrou barvu nezamítli, byla fotografie č. 5. Ačkoliv je na této fotce člověk, je vidět, že změna barev se v tomto případě tolik netýkala pleťové barvy, takže lidé vnímali hlavně barevnost pozadí, které může být různě barevné. U této fotky jsme nemohli zamítnout nulovou hypotézu, která tvrdila, že pravděpodobnost zvolení modrooranžové kombinace je stejná jako pravděpodobnost zvolení modrožluté kombinace.

V případě vybraných částí souboru nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o rovnosti pravděpodobností zvolení modrooranžové a modrožluté kombinace i u dalších fotek. Ve většině testovaných částí souboru jsme tuto nulovou hypotézu

nemohli zamítnout u fotografií č. 1, č. 7 a č. 10. Nulovou hypotézu o rovnosti pravděpodobností zvolení modrooranžové a modrorůžové kombinace jsme nemohli zamítnout vždy jen u fotografií č. 8 a č. 9.

Při testování hypotéz týkajících se kombinací obsahujících modrou barvu jsme také zkusili testovat hypotézu o tom, že modrooranžová kombinace je nejčastěji volena i na sloučeném datovém souboru, který nerozlišuje jednotlivé typy fotek. Chtěli jsme tak potlačit informaci o tom, o jaký typ fotografie se jedná a tím zobecnit naše hypotézy na všechny typy fotografií. V tomto případě jsme nulové hypotézy zamítli, ale jelikož jsme nemohli nulové hypotézy zamítnout při testování hypotéz u jednotlivých fotografií, má pravděpodobně typ fotografie vliv na vnímání barev.

Závěrem bychom mohli říct, že líbivost určité barevnosti fotografií závisí na typu fotografie a také na tom, co je na fotografii zachyceno. Obecně bychom mohli říct, že modrá barva je na fotografii oblíbená, ale už nemůžeme tvrdit, že je pro lidi vždy atraktivnější modrooranžová kombinace než ostatní kombinace s modrou barvou.

Závěr

Bakalářská práce měla za úkol zjistit, jestli je určitá barevná kombinace na fotografiích pro diváka atraktivnější. Tato kombinace – modrooranžová – byla porovnávána v rámci dvou skupin, jednou v porovnání s kombinacemi komplementárních barev a podruhé byla porovnávána s kombinacemi obsahujícími modrou barvu. Tyto skupiny byly zvoleny na základě poznatků z teorie barev, které jsme si popsali v první kapitole. Doplnkové barvy jsou vůči sobě nejvíce harmonické ze všech možných barevných kombinací a mají mezi sebou největší barevný kontrast, který je lidskému oku příjemný. Modrá barva je zase mnoha marketingovými a statistickými instituty uváděna jako nejoblíbenější barva.

Ve druhé kapitole byly popsány statistické metody, které se využily k testování hypotéz a také k odvozování testovací statistiky potřebné k našemu testování.

V poslední kapitole byla představena data, která jsme získali pomocí dotazníkového šetření a která byla následně využita k testování hypotéz pomocí statistických metod vysvětlených ve druhé kapitole. Data potřebná k této práci byla získána přes sociální sítě a mail na internetu. Z tohoto důvodu musíme počítat i s drobnými nepřesnostmi ovlivněnými prohlížením fotografií na rozdílných monitorech nebo obrazovkách s odlišnou kalibrací barev. Nakonec jsme interpretovali výsledky a zamysleli se nad nimi.

Tento výzkum měl zjistit, jestli jsme schopni označit modrooranžovou barevnou kombinaci za obecně atraktivnější než jiné barevné kombinace. V rámci první skupiny kombinací jsme tuto hypotézu potvrdili, ale u druhé skupiny barevných kombinací jsem tak nemohli učinit. Je tedy pravděpodobné, že lidem přijde na fotkách atraktivnější modrá barva, ale zjistili jsme, že na oblíbenosti určitých ba-

revných kombinací s modrou má vliv typ fotografie a také to, co je na fotografii zachyceno.

Literatura

- [1] Goethe, J. W.: *Smyslově-morální účinek barev (2. vyd.)*. Přeložil Jan Dostal, Fabula, Hranice, 2011.
- [2] Peterson, B. L.: *Naučte se vidět kreativně: design, barva a kompozice ve fotografii*. Zoner, Brno, 2004.
- [3] Chorý, T.: *Barva a design*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 2014.
- [4] Bajer, J.: *Optika 1*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 2015.
- [5] Pohribný, J.: *Kreativní světlo ve fotografii*. Zoner Press, Brno, 2011.
- [6] Langmeier, J., Krejčířová, D.: *Vývojová psychologie*. Grada Publishing, Praha, 1998.
- [7] *Nejoblíbenější barvou Čechů je modrá*. STEM/MARK [online]. 2018 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.stemmark.cz/nejoblibenejsi-barvou-cechu-je-modra/>
- [8] Paďour, J.: *Barvy*. Dobré světlo: Stránky o fotografii [online]. 2016 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.dobre-svetlo.cz/barvy.php>
- [9] William, J.: *Why is blue the world's favorite color?* YouGov: What the world thinks [online], 2015. Dostupné z: <https://today.yougov.com/topics/international/articles-reports/2015/05/12/why-blue-worlds-favorite-color>
- [10] Mojr, V.: *Barva, energie a světlo: Pohled na svět očima fotochemika*. VŠCHT [online]. 2016 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/mojr>
- [11] *Co je barevný kruh pro kombinaci barev – systém RYB*. Sibera servis [online]. 2016 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.sibera-servis.cz/co-je-barevny-kruh-pro-kombinaci-barev/>
- [12] *What Are the Differences Between Pantone®, CMYK and RGB?* LCI Paper [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.lcipaper.com/kb/what-are-the-differences-between-pantone-cmyk-rgb.html>

- [13] Hron, K., Kunderová P.: *Základy počtu pravděpodobnosti a metod matematické statistiky (2. dopl. vydání)*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 2015
- [14] Anděl, J.: *Základy matematické statistiky*. Matfyzpress, Praha, 2005