

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Aplikace pro diagnostiku poruch barevného vidění**  
Application for Colour Vision Deficiency Diagnostics

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Monika Borová**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: Aplikace pro diagnostiku poruch barevného vidění  
Application for Colour Vision Deficiency Diagnostics

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše a zhodnocení současného stavu dané problematiky.
2. Klinická diagnostika poruch barevného vidění.
3. Návrh a realizace aplikace v programovacím jazyce Java.
4. Implementace podpory tabletů.
5. Testování aplikace v klinické praxi.
6. Objektivní vyhodnocení přínosnosti práce pro klinickou praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ROSENFELD, M., N. LOGAN a K. EDWARDS. *Optometry: science techniques and clinical management*. 2nd ed. New York: Butterworth Heinemann Elsevier, c2009, xi, 555 p. ISBN 978-0-7506-8778-2.
- [2] NEMA, H.V. a Nitin NEMA. *Diagnostic procedures in ophthalmology*. 3rd edition. Jaypee Brothers Medical Publishers, 2014,xxii, 480 p. ISBN 978-9350908525.
- [3] BIRCH, Jennifer. *Diagnosis of defective colour vision*. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 978-0-7506-4174-6.
- [4] CAVONIUS, C.R. (ed.) *Colour Vision Deficiencies XIII: Proceedings Of The Thirteenth Symposium Of The International Research Group On Colour Vision Deficiencies, Held In . S.l.: Springer, 2013*. ISBN 978-94-0106275-6.
- [5] VÁVRŮ, Jiří a Miroslav UJBÁNYAI. *Programujeme pro Android. 2., rozšířené vydání*. Praha: Grada Publishing a.s., 2013, 256 s. ISBN 8024788543.
- [6] PECINOVSKÝ, Rudolf. *Myslíme objektivně v jazyku Java: kompletní učebnice pro začátečníky. 2., aktualiz. a rozš. vyd.* Praha: Grada, 2009, 570 s. ISBN 978-80-247-2653-3.
- [7] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada Publishing a.s., 2004, 104 s. ISBN 8024779528.
- [8] KOLÍN, Jan. *Oční lékařství. 2., přepr. vyd.* Praha: Karolinum, 2007, 109 s. ISBN 978-802-4613-253.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iveta Bryjová**

Konzultant bakalářské práce: Bc. Lukáš Kolarčík, DiS.

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne 7. 5. 2015

  
Monika Borová

*Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí práce paní Ing. Ivetě Bryjové za její cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost po celou dobu vytváření mé bakalářské práce. Panu Bc. Lukáši Kolarčíkovi pak především za teoretickou a klinickou část bakalářské práce. V neposlední řadě pak mé poděkování patří rodině a přátelům za jejich podporu po celou dobu studia.*

## **Abstrakt**

Bakalářská práce Aplikace pro diagnostiku poruch barevného vidění vychází z požadavků klinické praxe ve spolupráci s Oční klinikou FN Ostrava. Bakalářská práce je konceptuálně rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá klinickou diagnostikou poruch barevného vidění, anatomickou a fyziologickou stavbou sítnice, jednotlivými vyšetřovacími metodami pro diagnostiku poruch barevného vidění. Dále se v této části nachází zhodnocení dosavadních možností vyšetření pomocí mobilních aplikací.

Praktická část popisuje vývojové prostředí Android Studio a programovací jazyk Java. Zabývá se samotným vývojem aplikace včetně fotodokumentace jednotlivých kroků.

Druhá část praktické části se zabývá testováním aplikace v praxi a následným zhodnocením přínosu ve srovnání s vyšetřováním standardní metodou Farnsworth-Munsell 100 hue testem.

## **Klíčová slova**

Barvocit, sítnice, fotoreceptory, zraková dráha, Farnsworth-Munsell 100 hue test, Android, Java, Android Studio

## **Abstract**

Bachelor thesis Application for Colour Vision Deficiency Diagnostics is based on requirements of clinical practice in collaboration with Eye Clinic of FN Ostrava. Thesis is conceptually dividend into theoretical and practical part. The theoretical part deals with the clinical diagnostics of color blindness, anatomical and physiological structure of retina, investigative methods for diagnosis of color vision.

The practical part describes Android Studio and programming language Java. It deals with development of applications, including photos.

The second part deals with practical testing of applications in comparison to the standard method Farnsworth-Munsell 100 hue test.

## **Keywords**

Color vision, retina, photoreceptors, visual pathway, Farnsworth-Munsell 100 hue test, Android, Java, Android Studio

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Anatomie a histologie zrakového ústrojí.....	3
2.1 Anatomie.....	3
2.2 Histologie sítnice.....	5
2.2.1 Vrstvy sítnice.....	5
2.2.2 Buňky sítnice.....	6
3. Zraková dráha a vznik vzruchu.....	9
4. Fyziologie barevného vidění.....	10
4.1 Fotochemie zrakových pigmentů.....	10
4.2 Optika.....	10
4.2.1 Elektromagnetické spektrum a světlo.....	10
4.2.2 Fotonová optika.....	13
4.2.3 Adaptace a Purkyňův jev.....	13
4.3 Teorie barev.....	13
4.3.1 Míšení barev.....	13
4.3.2 Metamerie barev.....	15
5. Barvocit.....	16
5.1 Teorie vnímání barev.....	16
5.1.1 Young-Helmholtzova teorie.....	16
5.1.2 Heringova teorie.....	16
5.2 Poruchy barvocitu.....	17
5.3 Vyšetřovací metody.....	19
5.3.1 Pseudoizochromatické tabulky.....	19
5.3.2 Anomaloskop podle Nagela.....	19
5.3.3 Farnwoth-Munsell 100 hue test.....	20
6. Měření kolorimetrem.....	26
7. Aplikace.....	28
7.1 Operační systém Android.....	28
7.2 Doporučené zařízení.....	28

7.3	Základní popis .....	28
7.4	Stavový diagram.....	29
7.5	Průběh aplikace .....	30
8.	Testování v klinické praxi .....	37
8.1	Výsledky testů.....	37
8.2	Zhodnocení výsledků a spolehlivosti aplikace.....	40
9.	Závěr .....	42
10.	Literatura:.....	43
11.	Seznam příloh.....	45



## 1. Úvod

Zrak je pro člověka jeden z nejdůležitějších smyslů. Je hlavním zprostředkovatelem informací okolo nás. Bez zraku bychom nebyli plně samostatní a nemohli tak vést plnohodnotný každodenní život.

Barvocit, tedy vnímání barev, je jednou z nejpodstatnějších složek zraku. Barvy dodávají věcem jejich specifický charakter, ovlivňují lidskou psychiku, mohou vyjadřovat pocity,... Všemi směry tak obohacují životy lidí. Důležitou roli hraje barvocit i v některých profesích, kde uchazeči musí absolvovat vyšetření barvocitu, jako nutnost pro přijetí.

Hlavním cílem této bakalářské práce je představit barvocit, jeho důležitost v našich životech, anatomický a fyziologický princip, histologii sítnice, včetně jednotlivých vrstev a specifických buněk v ní a princip vedení vzruchu do mozku.

Charakterizuje různé poruchy barvocitu, které jsou uvedeny na příkladech pro lepší srovnatelnost s normálním barevným viděním.

Dále se zabývá různými metodami vyšetření, jako pseudoizochromatické tabulky, anomaloskopy a především pak Farnsworth-Munsell 100 hue testem, který je následně v praktické části přepracován do aplikace určené pro tablety s operačním systémem Android, díky které si uživatel může sám vyzkoušet, zda poruchou barvocitu netrpí.

Samotná aplikace je vytvořena ve vývojovém prostředí Android Studia v programovacím jazyce Java.

Aplikací pro vyšetření barvocitu je celá řada, většina dostupných aplikací však využívá princip pseudoizochromatických tabulek, které však neposkytují kvalitní analýzu onemocnění, slouží pouze jako screeningové vyšetření.

Cílem této bakalářské práce je především vyzkoušet, zda je vůbec možné tento test do podoby aplikace zpracovat a ověřit na malé skupince lidí jeho správnost. Vyhodnocení testu a vytvoření skórového grafu je složitý proces a je potřeba speciálního zaškolení pro tuto činnost. V diplomové práci bude aplikace o toto vyhodnocení rozšířena a bude provedena rozsáhlejší klinická studie.

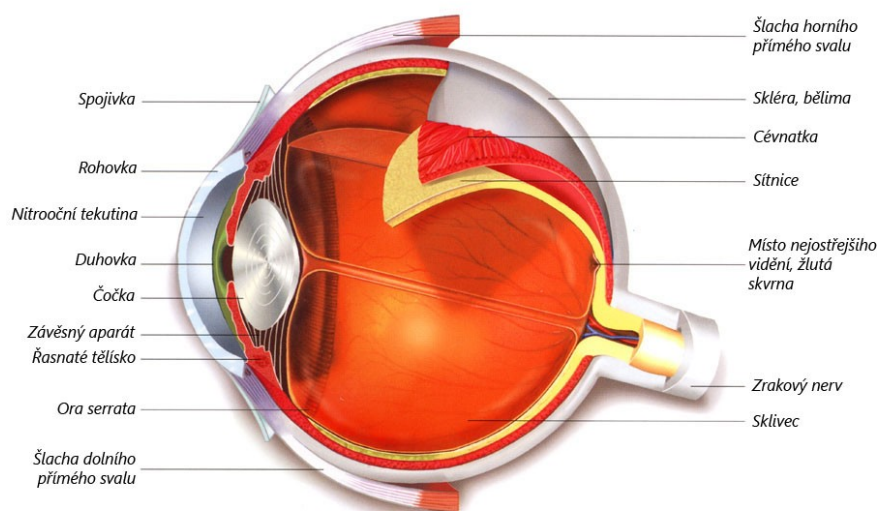
# **TEORETICKÁ ČÁST**

## 2. Anatomie a histologie zrakového ústrojí

Před samotnou definicí oční vady, jejím vyšetřením a případnou korekcí je třeba si nejdříve oko představit z anatomického a fyziologického hlediska, popsat a vysvětlit jednotlivé části, které hrají důležitou roli v lidských životech.

### 2.1 Anatomie

Pokud by se v lidském těle hledal orgán s nejsložitější stavbou, bylo by jedním z nich právě oko. Ve vývoji oka je využita série opakovaných indukcí, kdy vývoj jednotlivé části podmiňuje dobrý vývoj dalších struktur. Na vývoji oka se podílí neuroektoderm, ektoderm a mezoderm.



Obrázek 1 Anatomie oka [3]

Výše uvedený obrázek zobrazuje oko se všemi jeho strukturami. V souvislosti s anomií oka se hovoří o tzv. přídatných orgánech oka, mezi které řadíme okohybné svaly, víčka, spojivku a slzný aparát.

Pohyb oka zajišťuje celkem šest okohybných svalů a oční koule jsou uloženy v očníchích na tukovém polštáři. Z přídatných orgánů jsou velmi důležitá oční víčka, která slouží jako ochrana předního segmentu oka, který je svlažován slzami, produkovanými slznými žlázami do spojivkového vaku.

Bulbus oculi má kulovitý tvar a průměr okolo 24 mm. Jeho stěna se skládá ze tří vrstev:

1. Tunica fibrosa
  - cornea (rohovka)
  - sclera (bělma)

## 2. Tunica vasculosa

- uvea (žilnatka)
  - iris (duhovka)
  - corpus ciliare (řasnaté tělísko)
  - chorioidea (cévnatka)

## 3. Tunica interna

- pigmentový epitel (stratum pigmentosum)
- retina (sítnice)

## **Tunica fibrosa**

Je tuhá vazivová vrstva, která tvoří kostru celého oka. Nitrooční tlak ji neustále udržuje v kulovitém tvaru. Je rozdělena na dvě části – bělimu (tvoří asi 4/5) a rohovku. Bělím je neprůhledná, oproti tomu rohovka, která tvoří podstatně menší část, je čirá a je součástí dioptrického systému oka.

## **Tunica vasculosa**

Je tvořena žilnatkou, což je cévnatá tkáň, která zajišťuje metabolické potřeby oka. Žilnatka je tvořena duhovkou, řasnatým tělískem a cévnatkou. Duhovka rozděluje oko na komory (přední a zadní), které jsou vyplněny komorovou vodou. Asi v centimetrové hloubce duhovky se nachází zornice. Její šíře je určována množstvím světla, které do ní vstupuje. Barva duhovky závisí na množství pigmentu v předním listu. Zadní list je vždy tmavý a tak při nízké pigmentaci předního listu prosvítá modře nebo šedě a při vysoké hnědě.

Druhou částí žilnatky je řasnaté tělísko, které plní řadu důležitých funkcí. Vzniká zde komorová voda, slouží k akomodaci oka a jeho jemná vlákna tvoří závěsný aparát čočky. Poslední částí je cévnatka, která zajišťuje krevní zásobení sítnice.

## **Tunica interna**

Skládá se ze dvou listů – vnějšího (pigmentový epitel) a vnitřního (sítnice).

### **Pigmentový epitel (stratum pigmentosum)**

Hlavní úlohou pigmentového epitelu je zajistit smyslovým buňkám látkovou výměnu, protože ony samy nemají vlastní zásobení. Pigmentové buňky obsahují pigment, který se nazývá fuscín. Tento pigment je velmi podobný melaninu.

Pigmentový epitel hraje v zrakovém ústrojí důležitou roli. Tyčinkám a čípkům zajišťuje fagocytózu a také metabolismus vitamínu A.

### **Sítnice (retina)**

Všechny ostatní části oka slouží k zajištění jejich základních potřeb, k její ochraně, nebo k optickým účelům. Sítnice je velmi tenká křehká průhledná blanka. Je nejcitlivější částí celého zrakového ústrojí. Pevně je uchycena pouze v oblasti papily a v ora serrata. Sítnici od cévnatky

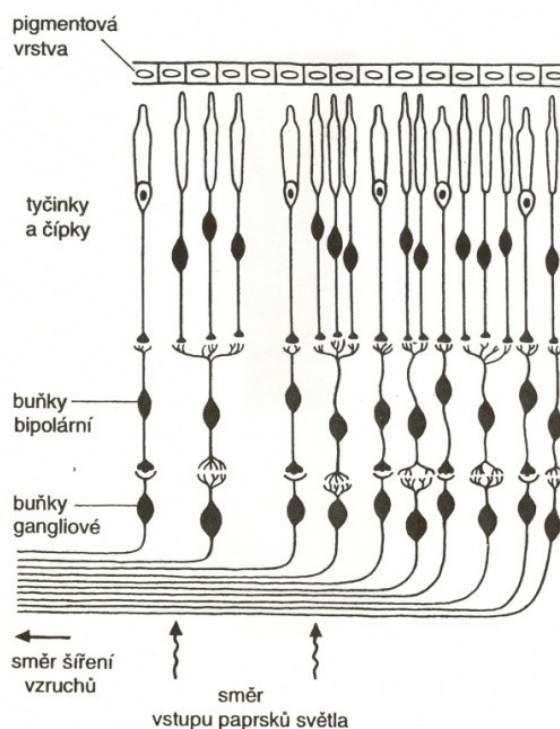
odděluje Bruchova membrána, dále pak na ni naléhá pigmentový list, který vznikl ze zevní stěny očního pohárku. Sítnici tvoří sensorický epitel, bipolární a gangliovními buňkami. V sensorickém epitelu se nachází tyčinky a čípky, kdy tyčinky zajišťují černobílé vidění a čípky barevné [1, 5, 8].

## 2.2 Histologie sítnice

Sítnice (retina) představuje vnitřní vrstvu oční koule a dělí se na dvě části – část optickou (pars optica retinae) a část slepou (pars caeca retinae). Tyto dvě části jsou od sebe odděleny čarou zvanou ora serrata. Optickou částí nazýváme část od ora serrata k papile. Tato část naléhá na prostřední vrstvu oční stěny a na její vnitřní plochu naléhá sklivce. Sítnice pak od ora serrata dále přechází do epitelu řasnatého tělíska a duhovky. V této části se nenacházejí žádné smyslové ani nervové buňky, proto je část nazývaná slepou nebo jako pigmentový list řasnatého tělíska a duhovky.

Sítnice je jemná, průhledná a velmi citlivá blána, jejíž tloušťka je průměrně 120–180  $\mu\text{m}$ . Sítnice je volná, pevně přichycená pouze k papile a k ora serrata. Vývojově vzniká diferenciací očního pohárku, kdy se zevní list přemění ve stratum pigmenti retinae a z vnitřního listu vznikají fotoreceptory, podpurné a asociační buňky.

Jejím hlavním úkolem je příjem světelných paprsků, které na ni dopadají, a jejich následná změna v elektrické impulsy, dále se šířící do mozku. Tento složitý chemický proces zajišťují fotoreceptory – tyčinky a čípky, přijímající světelné impulsy, a bipolární a gangliové buňky, které slouží k vedení vzruchu dále do mozku [5, 6, 7].



Obrázek 2 Struktura sítnice [4]

### 2.2.1 Vrstvy sítnice

Architektura sítnice je rozdělena na 10 vrstev, které naléhají na cévnatku a postupují dále hlouběji do nitra.

1. Vrstva pigmentového epitelu (stratum pigmentosum).
2. Vrstva tyčinek a čípků – nacházejí se zde pouze periferní části těchto receptorových buněk.
3. Zevní hraniční vrstva (stratum limitans externum) – na tuto vrstvu naléhají přichytná vlákna Müllerových podpurných buněk.
4. Zevní granulózní vrstva (stratum nucleare externum) – vrstva 1. neuronu, nacházejí se zde jádra receptorových buněk.

5. Zevní plexiformní vrstva (stratum plexiforme externum) – v této vrstvě dochází k přenosu impulzu mezi 1. a 2. neuronem, spojují se zde vodivé výběžky receptorových buněk s dendrity bipolárních buněk.
6. Vnitřní granulární vrstva (stratum nucleare internum) – zde se nacházejí jádra bipolárních, asociačních a podpůrných buněk.
7. Vnitřní plexiformní vrstva (stratum plexiforme internum) – v této vrstvě dochází k přenosu impulzu mezi 2. a 3. neuronem, tedy dochází ke spojení bipolárních a gangliových buněk.
8. Vrstva gangliových buněk (stratum ganglionicum) – zde se nacházejí těla gangliových buněk.
9. Vrstva neuronových vláken (stratum neurofibrarum) – tuto vrstvu tvoří axony gangliových buněk.
10. Vnitřní hraniční vrstva (stratum limitans internum) – na tuto vrstvu naléhají opět přichytná vlákna Müllerových podpůrných buněk [7, 10].

## 2.2.2 Buňky sítnice

### Smyslové buňky – fotoreceptory

Sítnice obsahuje asi 130 milionů těchto buněk, které podle jejich vzhledu a funkce dělíme na **čípky (coni) a tyčinky (bacilli)**. Dohromady představují 1. neuron zrakové dráhy. Tyto buňky můžeme rozdělit na dvě části – periferní a centrální oddíl. Periferní oddíl má tvar tyčinky nebo čípku a naléhá k pigmentové vrstvě, zatímco centrální část, kterou tvoří buněčná jádra a vodivé výběžky těchto buněk, proniká do hlubších vrstev sítnice. Jejich hlavním úkolem je přijímat světelné impulsy a přeměnit je na elektrický signál.

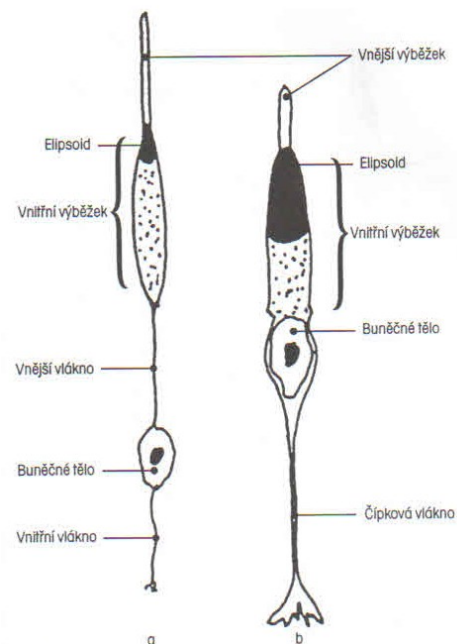
### Tyčinky

Jde o štíhlé buňky, u kterých lze rozeznat vnější (periferní) a vnitřní oddíl (centrální). Vnější úsek obsahuje světločivné elementy a vnitřní jádro a vodivý výběžek, který se dále dělí na vnější a vnitřní.

Vnější výběžek se skládá asi z tisíce lipoproteinových lamel, které vytvářejí kulovité disky kolem osy tyčinky. Tyto disky jsou na sebe hustě natlačeny. Je zde obsažen zrakový purpur – rhodopsin, což je látka velmi citlivá na světlo. Rhodopsin se působením světla rozkládá na aldehyd vitamínu A a proteinovou část a dochází k přeměně světelných impulzů na nervové vzruchy.

Vnitřní výběžek, má strukturu zcela odlišnou. Navazuje na krček tyčinky a je složen z tyčinkovitých mitochondrií, které tvoří tzv. elipsoid. Tato část obsahuje velké množství nervových vláken a glykogenu. Krček tyčinky tvoří přechod mezi vnějším a vnitřním výběžkem.

Centrální oddíl obsahuje oválné jádro, kolem něhož se nacházejí četná nervová vlákna, která se v hlubších vrstvách sítnice spojují i bipolárními buňkami.



**Obrázek 3** Tyčinka (a) a čípek (b) [5]

## Čípky

Podobně jako u stavby tyčinek, i u čípků se stavba rozděluje na vnější a vnitřní oddíl. Čípky vypadají jako láhev, kdy vnější oddíl, který tvoří vlastní čípek, představuje hrdlo láhve a tělo láhve představuje vnitřní úsek.

Stavební struktura vnějšího výběžku je zde podobná jako u tyčinek, jen disky jsou tenčí a jsou v těsnějším uspořádání. Látka citlivá na světlo je v buňkách čípků nazývána rhodopsin.

Vnitřní výběžek obsahuje opět mitochondrie, které jsou však protáhlé a je jich zde asi 15x více než v tyčinkových buňkách.

Centrální oddíl obsahuje jádro, které je větší než u tyčinky a je jen lehce oválné. Zúžení centrálního oddílu přechází ve vodivý výběžek a na konci je rozšířený. Vodivé vlákno spolu s bipolárními buňkami tvoří synapse (spojení dvou neuronů za účelem předání vzruchu).

## Bipolární buňky

Bipolární buňky jsou 2. neuronem zrakové dráhy a jejich hlavním úkolem je přijímat elektrický signál z receptorových buněk a předávat ho dále gangliovým buňkám. Toto předání může proběhnout dvojím způsobem díky difúzním bipolárním buňkám a monosynaptickým bipolárním buňkám.

Monosynaptické propojení funguje pouze v centru fovey (místo nejostřejšího vidění s největší koncentrací čípků). Dochází zde k propojení vždy jen jedné receptorové buňky s jednou buňkou bipolární. Směrem do periferie od fovey pak dochází k propojení jedné bipolární buňky s více receptory.

Difúzní propojení označuje stav, kdy na jednu bipolární buňku je napojených více smyslových buněk anebo několik bipolárních buněk je napojených na jednu gangliovou buňku. Může se také stát, že na jednu bipolární buňku bude napojen čípek i tyčinka.

## Gangliové buňky

Gangliové buňky tvoří 3. neuron zrakové dráhy. Jsou uloženy v nejhlubší vrstvě sítnice, kde se spojují s buňkami bipolárními a amakrinními, ale jejich nervová vlákna vedou až do primárního zrakového centra v mozku. Podobně jako u bipolárních buněk, i gangliové buňky se dělí na difúzní a monosynaptické.

K monosynaptickému spojení dochází, pokud jedna monosynaptická gangliová buňka je spojena s jednou monosynaptickou bipolární buňkou a poskytují tak vedení vzruchu z jednoho čípku na jednu gangliovou buňku. Tyto buňky nalezneme hlavně v oblasti fovey, ale nacházejí se i v jiných periferních částech. U difúzních buněk jsou sbírány informace z více center.

## Asociační buňky

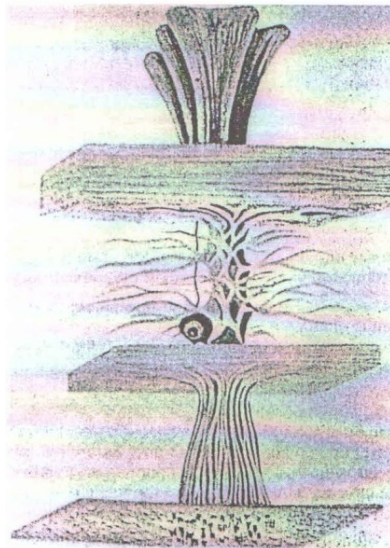
Mezi asociační buňky se řadí horizontální a amakrinní buňky. Nacházejí se ve stejné vrstvě sítnice jako buňky bipolární, tedy ve vnitřní jádrové vrstvě (VI. vrstva sítnice).

Horizontální buňky se nacházejí v horní části vnitřní jádrové vrstvy a jejich hlavním úkolem je propojování několika navzájem vzdálených receptorových buněk. Svůj název získaly buňky podle směru, jakým vedou vzruch, který je veden horizontálně, kolmo na svislé vedení mezi neurony.

Amakrinní buňky slouží k propojení většího množství gangliových buněk. Jejich výběžky však nejsou diferenciovány na dendrity a axony.

### **Podpůrné buňky**

Podpůrné buňky obklopují všechny nervové části sítnice, slouží jako jejich opora a k výživě. Do této skupiny buněk patří především Müllerovy podpůrné buňky, které se rozpínají mezi oběma krajními vrstvami sítnice, ke kterým jsou přichyceny pomocí speciálních roztřepených vláken. Díky jejich rozložení po celé výšce sítnice a vyplnění prostor mezi neurony, umožňují Müllerovy buňky průchod světla všemi jejími vrstvami [5, 7, 10, 11].



**Obrázek 4** Müllerovy podpůrné buňky [5]



### 3. Zraková dráha a vznik vzruchu

Zrakovou dráhu, která vede ze sítnice, až do korového zrakového pole tvoří 4 neurony. Díky této dráze si lidé vidění uvědomují a mohou tak na něj určitými reflexy reagovat.

První neuron je tvořen fotoreceptorovými buňkami – tyčinkami a čípkami, které dohromady tvoří stratum neuroepitheliale retinae. Dochází zde k zachycení světelných paprsků a k poslání signálu druhému neuronu.

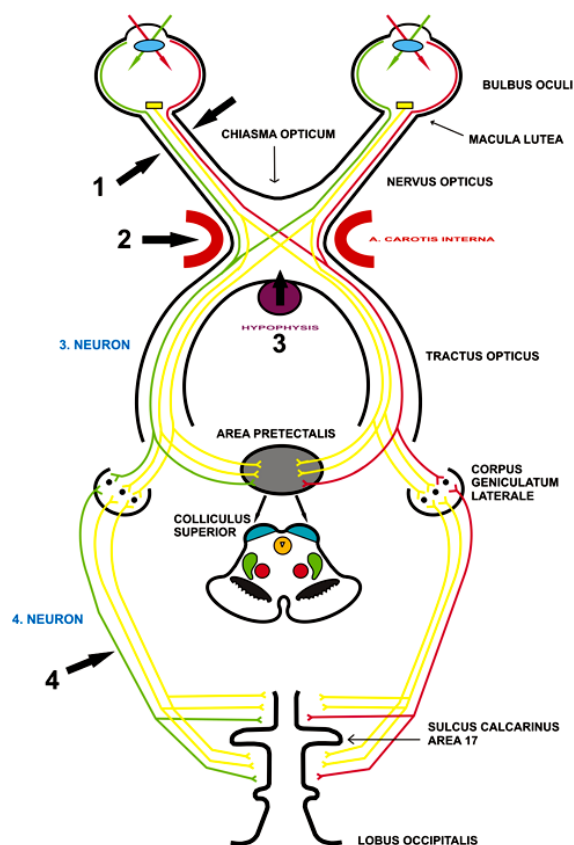
Druhý neuron se skládá z bipolárních neuronů, které se podle funkce dělí na dva druhy. Jeden druh bipolárních neuronů shromažďuje informace z čípků (jeden neuron – jeden čípek) a druhý druh zase z tyčinek (jeden neuron – 3–5 tyčinek). Všechny bipolární neurony v sítnici pak tvoří ganglion retinae.

Třetí neuron představují gangliové buňky, které se shlukují na povrchu sítnice směrem k papile zrakového nervu a dále pronikají oční stěnou, kde vytvoří vlastní zrakový nerv (nervus opticus). Jeden gangliový neuron se může spojit s několika bipolárními neurony a následně vytvoří ganglion nervi optici.

V canalis nervi optici dochází ke křížení zrakových nervů z nazálních částí sítnice. Místo křížení se označuje chiasma opticum a dále se pak rozvětluje na pravý a levý tragus opticus. Tyto části obsahují vlákna ze stejnostranných částí sítnic obou očí, ale z rozlišných úseků zorných polí.

Tractus opticus se následně znovu dělí a to na silnější radix lateralis a radix medialis. Radix lateralis končí v nukleus corporis geniculati lateralis a připojuje se na 4. neuron. Dále se již nepodílí na zpracování signálu. A jeho vlákna vedou na nukleus colliculi superioris středního mozku, v area praetectalis středního mozku nebo v hypotalamu, kde ovlivňují metabolismus lidského organismu vlivem množství dopadajícího světla na sítnici. Vlákna se také dostávají do mezencefala, kde ovlivňují činnost okohybných nervů.

Čtvrtý neuron tvoří neurony v nukleus corporis geniculati lateralis a jejich neurity vedou do kortikálního zrakového pole na mediální straně okcipitálního laloku (area 17, 18, 19). Corpus geniculatum laterale je součástí talamu. Talamus je oddíl diencefala a plní funkci příjmu podnětů z celého těla [6, 11, 23].



Obrázek 5 Zraková dráha [13]

## 4. Fyziologie barevného vidění

Lidské oko je schopno se adaptovat na rozmezí jasů od  $10^{-6}$  do  $10^8$   $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , elektromagnetické záření od 400 do 760 nm, rozeznat 6500 individuálních odstínů a 2–3 miliónů odstínů při srovnání dvou barev.

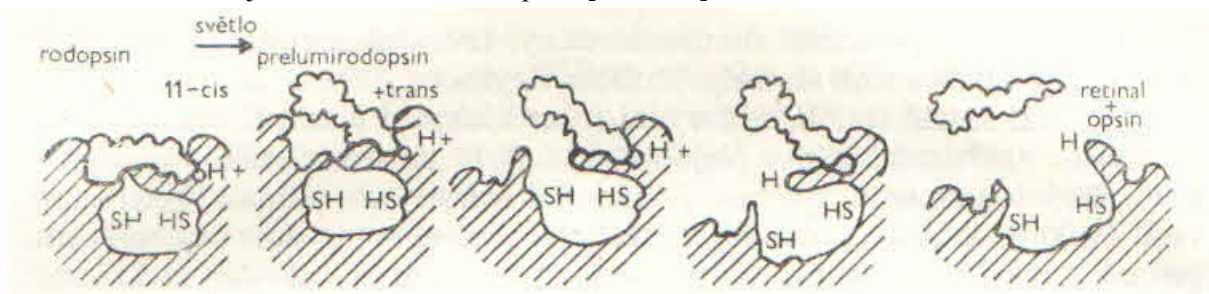
Oční čočkou jsou pak pohlcovány paprsky kratší než 400 nm, paprsky kratší než 315 nm zase rohovkou.

Co se týče barev a jejich spektrálního rozsahu – fialová 400 nm až 420 nm, modrá 420 až 500 nm, zelená 500 až 540 nm, žlutá 560 až 630 nm a červená 650 až 750 nm [11, 18].

### 4.1 Fotochemie zrakových pigmentů

Zrakový pigment se nachází v zevní části tyčinek a čípků. Rhodopsin, pigment tyčinek, obsahuje chromofor, který je schopen absorbovat světlo, a opsin, tzv. bílkovinný nosič. Chromofor je aldehyd vitamínu A, neboli retinaldehyd a tvarem přesně odpovídá opsinové části molekuly. Retinal je v 11-cis formě, ale po ozáření se transformuje na prelumirodopsin, který se dále s přibývajícím teplotou transformuje na lumirodopsin, metarodopsin I a metarodopsin II. Poslední fázi při teplotě nad  $0^\circ\text{C}$  je rozpad na trans-formu retinalu a opsin.

Regenerace rhodopsinu je v podstatě adaptace na tmu. Nejdříve se trans-forma retinalu mění na cis-formu, poté se vitamín A mění na retinal a retinal se pak dále váže na opsin. Bylo prokázáno, že vitamín A se hromadí v pigmentovém epitelu sítnice a snižuje tak práh adaptace na tmu. Dostatek vitamínu A tak snižuje riziko vzniku šeroseposti [6, 11, 31].



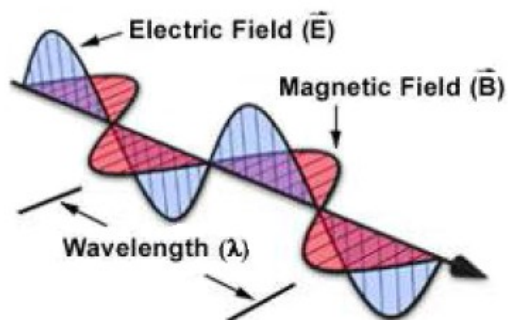
Obrázek 6 Vliv světla na strukturu rhodopsinu [11]

## 4.2 Optika

### 4.2.1 Elektromagnetické spektrum a světlo

Elektromagnetické záření má elektrickou a magnetickou komponentu. Elektromagnetické vlnění je vlnění příčné. Vektory  $\vec{E}$  a  $\vec{H}$  jsou kolmé na směr šíření vlnění (kolmé k  $\vec{v}$ ) a jsou vzájemně kolmé (jejich šíření ve formě elektromagnetické vlny v dielektriku popisují vlnové rovnice). V jeho spektru lze rozlišit různé druhy elektromagnetických vln (dle vlnové délky  $\lambda$ ): rádiové vlny, infračervené a ultrafialové záření, dále také rentgenové nebo gama záření. A právě mezi infračerveným a ultrafialovým zářením se nachází viditelné záření neboli světlo. Světlo je

elektromagnetický vlnový děj (Obrázek 7 **Vlastnosti elektromagnetických vln [38]**), šířící se přímočaře. Je to oblast optického záření, která je schopna vyvolat zrakový vjem. Spektrální rozsah viditelného záření nelze přesně stanovit, protože je závislý na spektrální citlivosti každého pozorovatele, ale pohybuje se zhruba v rozsahu 390–760 nm.

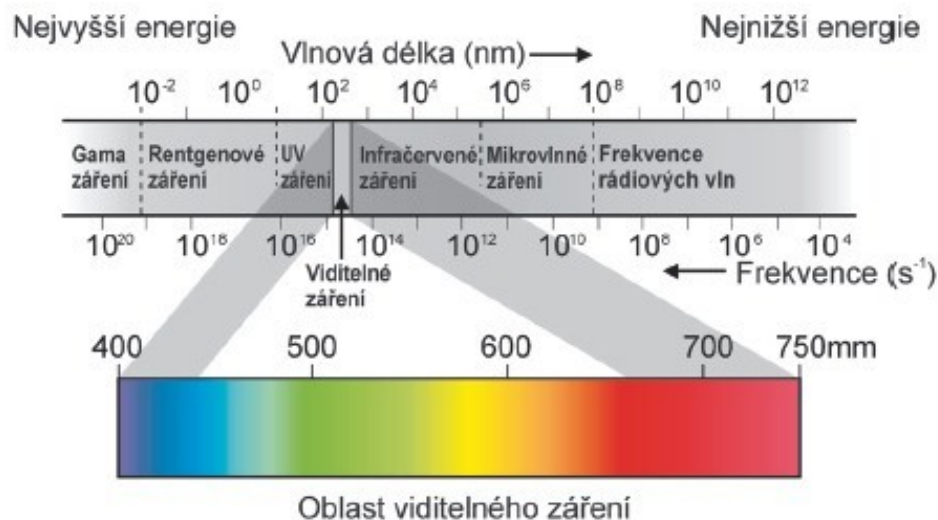


**Obrázek 7** Vlastnosti elektromagnetických vln [38]

Druh záření	Vlnová délka [ $\lambda$ ]
Rádiové vlny	30 km–1 m
Mikrovlny	1 m–0,03 mm
Infračervené záření	0,3 mm–780 nm
Viditelné světlo	760–390 nm
Ultrafialové záření	400–10 nm
Rentgenové záření	10 nm–1 pm
Záření gama	$\lambda < 1$ pm

**Tabulka 1** Druhy záření a vlnové délky

Každý světelný zdroj, ať už slunce nebo žárovka, vysílá světelnou energii na předměty v okolí, které část paprsků pohlcují a část odrážejí zpět. Výsledná barva objektu pak závisí na kombinaci světelných paprsků v odraženém světle [27, 30, 32].



**Obrázek 8** Vlnová délka viditelného světla [36]

Klasická teorie elektromagnetického pole byla popsána v roce 1873 v práci J. C. Maxwella „Pojednání o elektřině a magnetismu“. Svou teorii založil Maxwell na úvahách M. Faradaye. Elektromagnetické pole je popsáno Maxwellovými rovnicemi.

Kolem kmitající částice s nábojem se vytváří periodicky proměnné elektromagnetické pole šířící se prostorem – elektromagnetické vlnění. To však nevzniká jen kolem kmitající částice, ale kolem každého elektricky nabitého objektu s nenulovým zrychlením. Takové objekty vyzařují do prostoru elektromagnetické vlnění, které se proto nazývá také elektromagnetické záření.

Ohyb neboli difrakce světla nastává při průchodu světla kolem překážky. Dojde tak ke změně šíření světla. Jedním z důležitých příkladů je ohyb na optické mřížce. Při osvětlení úzké štěrbině lze na stínítku kromě odrazu štěrbině pozorovat také světlé a tmavé proužky po stranách. Při dopadu světla na mřížku se tak každý bod každé štěrbině stává zdrojem světelného vlnění, které se šíří do všech směrů.

### Vlnová délka

Vlnová délka je vzdálenost, kterou vlna urazí za jednu periodu. Je to vzdálenost dvou sousedících bodů kmitajících se stejnou fází.

Vlnová délka je dána vztahem:

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

kde  $c$  je rychlost světla a  $f$  je frekvence kmitání.

### Polarizace světla

Obecně je světlo považováno za nepolarizované. Polarizovaným se stává např. odrazem, lomem nebo pomocí polaroidů. Vektor intenzity elektrického pole  $E$  je kolmý na směr šíření světla,

a dokud nedojde k polarizaci, mění neustále svůj směr. V případě lineární polarizace kmitá vektor  $E$  v jedné rovině.

Polarizace se využívá například v brýlích, kdy skla tlumí odraz světla od vodorovných ploch. Takovéto brýle ocení především motoristé před oslňujícími odrazy vozovky. Dále se využívá při fotografování, protože polarizační filtr dokáže omezit odraz např. od oken, výloh apod. [35, 37].

#### 4.2.2 Fotonová optika

Fotony jsou částice tvořící světlo. Mají vlastní moment hybnosti neboli spin a nesou elektromagnetickou energii. Foton má vlnový charakter.

Energie fotonu je charakterizována:

$$E = h \cdot \nu,$$

kde  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  je Planckova konstanta a  $\nu$  je frekvence. Vjem, který neobsahuje žádný

foton, má energii  $E_0 = \frac{1}{2} \cdot h \cdot \nu$ , což je energie tzv. nulových kmitů. Celková energie  $n$  fotonů

v jednom modu je:  $E_n = \left( n + \frac{1}{2} \right) \cdot h \cdot \nu$  [34].

#### 4.2.3 Adaptace a Purkyňův jev

Adaptace je schopnost oka ovlivňovat množství světelných paprsků, které vstupují do oka. Zornice je schopna se zúžit nebo naopak rozšířit tak, aby množství vstupujícího světla dostačovalo potřebám vidění. Zornice je schopna měnit průměr od 2–6 mm a reakce na změnu intenzity osvětlení trvá 360–380 ms.

Rozpoznání barev a intenzitou osvětlení se zabýval ve svém objevu Jan Evangelista Purkyně a přišel s tzv. Purkyňovým jevem. Při nízké intenzitě osvětlení není oko schopno rozpoznávat barvy, protože dojde k podráždění pouze tyčinek, které umožňují jen černobílé vidění. Při stoupající intenzitě osvětlení je oko schopno rozeznávat i pestré barvy [27].

### 4.3 Teorie barev

Barevné vidění a jeho důležitost v lidských životech nelze zpochybnit. Barvy mají vliv na celkovou psychiku člověka, dávají věcem jejich specifický charakter, a v řadě profesí hraje barevné vidění nezastupitelnou roli.

Barva je definována jako subjektivní psychofyzilogický vjem zprostředkovaný zrakovým ústrojím.

#### 4.3.1 Míšení barev

Lidské oko není schopno rozlišit ve výsledném vjemu, který vznikl míšením základních barev, jednotlivé barvy. Monochromatické barvy se však prakticky nevyskytují.

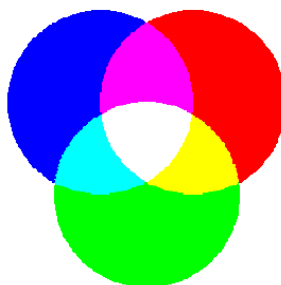
### Aditivní míšení barev

Aditivní míšení barev spočívá v kombinaci tří základních barev, které spolu vytváří různé barevné vjemy. Výsledný vjem je pak charakterizován určitým poměrem těchto tří barev. Pokud jsou všechny tři základní barvy ve stejném poměru, vznikne bílá barva.

Míšení barev vyjadřuje rovnice:

$$B = \alpha \cdot \check{C} + \beta \cdot Z + \gamma \cdot M$$

kdy B je výsledná barva a  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  vyjadřují poměr červené, zelené nebo modré.

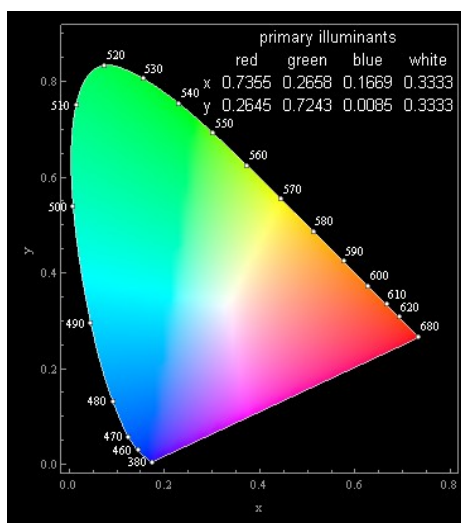


Obrázek 9 Aditivní míšení barev [19]

### Chromatický diagram

Chromatický diagram, také nazýván kolorimetrický trojúhelník, je normalizovaná barevná tabulka CIE (International Commission On Illumination – Mezinárodní komise pro osvětlování).

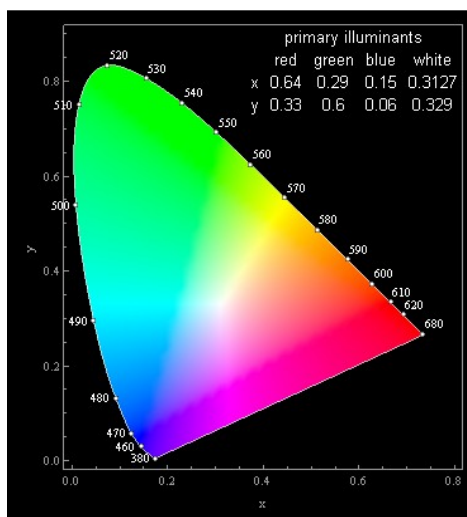
Rohy trojúhelníka jsou tvořeny monochromatickými barvami – červenou, zelenou a modrou. Po obvodu trojúhelníku se pak nacházejí vlnové délky spektrálních barev, které se plynule mísí. Uvnitř trojúhelníku se pak nacházejí jednotlivé odstíny, jejichž pozici lze přesně spočítat pomocí vzorce, kdy dojde k propojení spektrálních barev [11, 19, 20].



Obrázek 10 Chromatický diagram [21]

### Barevný prostor sRGB

Na výše uvedeném chromatickém diagramu jsou znázorněny barvy viditelné lidským okem, je v něm však vymezen prostor sRGB, který udává barvy, které je fotoaparát schopen zaznamenat. Stejný barevný prostor zobrazují monitory, tiskárny a využívá i Windows, aby vytištěné fotografie odpovídaly skutečnosti, kterou fotoaparát zaznamenal [22].



Obrázek 11 sRGB [21]

### 4.3.2 Metamerie barev

Metamerie označuje jev, kdy se dvě barvy jeví při určitých podmínkách, např. osvětlení, jako stejné. Při změně těchto podmínek se však jeví odlišně. Lidské oko není schopno rozlišit spektrální složení barvy, vnímá ji jako celek. K výslednému vjemu dojde podrážděním tří čípků, které jsou citlivé pro různé vlnové délky.

Metamerie může vzniknout buď osvětlením, nebo je dána pozorovatelem. Při jednom druhu osvětlení se barvy dvou předmětů mohou jevit jako shodné, ale při nepatrné změně osvětlení může pozorovatel barevné odstíny rozeznat. Pokud je metamerie dána pozorovatelem, což znamená, že jednomu pozorovateli se budou barvy zdát shodné a druhému naopak rozdílné, značí o to rozdílném barevném vidění těchto dvou pozorovatelů.

**Index metamerie** při odlišných světelných podmínkách:

$$IM = \sqrt{(\Delta L_{Z1} - \Delta L_{Z2})^2 + (\Delta a_{Z1} - \Delta a_{Z2})^2 + (\Delta b_{Z1} - \Delta b_{Z2})^2}$$

kdy  $Z1$  a  $Z2$  jsou různé světelné podmínky,  $\Delta L_{Z1}$ ,  $\Delta a_{Z1}$ ,  $\Delta b_{Z1}$  značí rozdíl souřadnic dvou barev za světelných podmínek  $Z1$  a  $\Delta L_{Z2}$ ,  $\Delta a_{Z2}$ ,  $\Delta b_{Z2}$  při světelných podmínkách  $Z2$  [28, 29].

## 5. Barvocit

Barevné vidění je schopnost oka rozlišit předměty na základě vlnové délky světla, které odrážejí a které tvoří obraz na sítnici. Lidské oko je schopno rozlišit záření v rozsahu 380–760 nm. Pod tuto hranici jsou paprsky pohlcovány čočkou.

Každý barevný vjem je dán barevným tónem, jasnem a sytostí. Každá barva má svou unikátní charakteristiku, a právě díky různým změnám tónu, jasů či sytosti, můžeme vytvářet tisíce barevných odstínů. Barevný tón závisí na vlnové délce záření. Sytost barvy pak na množství bílé. Čím je sytost nižší, tím je výsledná barva bledší. Výsledný jas je dán světelným zdrojem, tedy čím výkonnější zdroj, tím jasnější barva.

Na schopnost oka vnímat barvy má velký vliv okolní osvětlení. Při denním osvětlení pracují čípkové a toto vidění nazýváme fotopické. Čípková citlivost má maximum 555 nm. Při sníženém osvětlení však nedochází k dostatečnému podráždění čípků a dochází k aktivaci tyčinek. Takové vidění se označuje jako skotopické a jeho maximum citlivosti je při 507 nm. Při tomto stavu není oko schopno rozlišovat drobné detaily [1, 2].

### 5.1 Teorie vnímání barev

#### 5.1.1 Young-Helmholtzova teorie

Tato teorie vznikla díky práci tří vědců – T. Younga, M. V. Lomonosova a H. Helmholtze. Tato teorie bývá také označována jako trichromatická teorie, protože je založena na principu míchání tří základních monochromatických barev, čímž dochází ke vzniku různých barevných odstínů. Základní barvy jsou červená, zelená a modrá. Vědci touto teorií potvrdili existenci více druhů čípkových receptorů.

Výsledná vnímaná barva je výsledkem smíchání více barev spektra, záleží na tom, který typ receptoru byl podrážděn. Při rovnoměrném podráždění všech receptorů dojde k vnímání bílé barvy, naopak při podráždění žádného dojde k vnímání černé barvy.

#### 5.1.2 Heringova teorie

Podle této teorie se v sítnici nacházejí hypotetické látky, také nazývané „prabarvami“, které jsou určeny pro vidění určité barvy. První k vidění červené a zelené, druhá k vidění žluté a modré a třetí k vidění bílé a černé. Celá teorie je pak založena na principu rozpadu a sloučení hypotetických látek, kdy červené, žluté a bílé světlo vede k rozpadu a zelené, modré a černé světlo zase naopak ke sloučení. Barevný vjem je pak výsledkem těchto procesů.

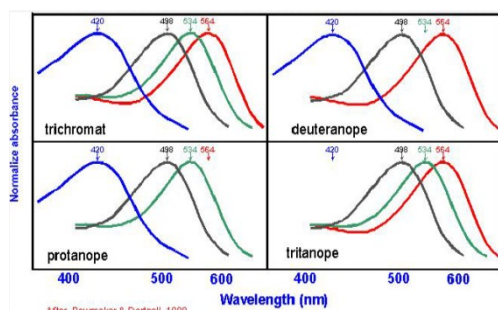
V dnešní době již vědci vědí, že na každé z těchto teorií byl kus pravdy a že dnes se pracuje s kombinací těchto teorií. V receptorech probíhá princip míchání tří základních barev, ale signály z čípků nejspíše pracují s podobným kódovacím mechanismem jako v Heringově teorii [11, 12].



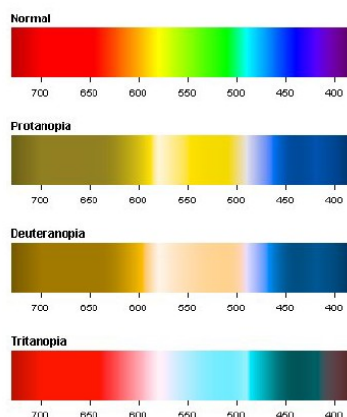
## 5.2 Poruchy barvocitu

Lidské oko je při správném fyziologickém stavu trichromatické, což znamená, že základem jsou tři barvy – modrá, zelená a červená, jejichž poměr se plynule mění. Tím dojde k vytvoření libovolné barvy spektra. Člověk s normálním barvocitem je označován jako normální trichromat.

Podle příčiny můžeme poruchy barvocitu rozdělit na vrozené a získané. Vrozené jsou geneticky dány a jsou nejčastější, co se poruch barvocitu týče. Patří zde anomální trichromasie, dichromasie a monochromasie. Získané vady se objevují v průběhu života a jejich stav se může zlepšit, ale také zhoršovat. Mohou vzniknout v důsledku fyziologického stárnutí organismu nebo jako důsledek nějakého patologického procesu, jako např. katarakta, glaukom, při onemocnění diabetem nebo v důsledku otravy toxickými látkami. Zajímavé je, že poruchou barvocitu trpí až 8 % mužů, ale jen 0,5 % žen.



Obrázek 12 Vlnové délky vnímající pacienti s poruchami barevného vidění [18]



Obrázek 13 Spektrální vnímání barev pacientů s poruchami barevného vidění [18]

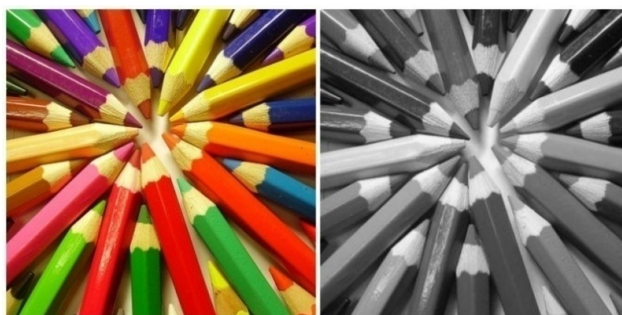
Jednou z nejčastějších poruch je anomální trichromasie. Je to stav, při kterém dochází také k míchání tří barev, nejsou však ve správném poměru. To znamená, že takový člověk má sníženou schopnost vnímat jednu ze tří barev.

- Protanomálie – porucha vnímání červené.
- Deuteranomálie – porucha vnímání zelené.
- Tritanomálie – porucha vnímání modré, tato vada se vyskytuje vzácně.

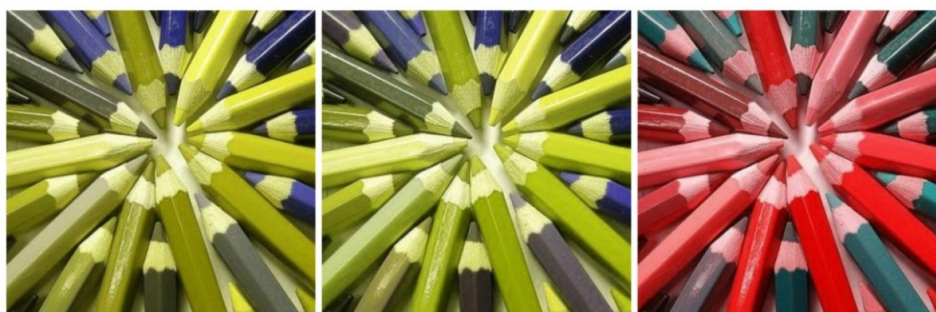
Další poruchou je dichromasie. Při dichromasii je člověk zcela neschopen vnímat jednu ze základních barev. Výslednou barvu spektra pak namíchá z ostatních dvou základních barev.

- Protanopie – neschopnost vnímání červené.
- Deuteranopie – neschopnost vnímání zelené.
- Tritanopie – neschopnost vnímání modrou – žlutou, opět se jedná o vadu velmi vzácnou.

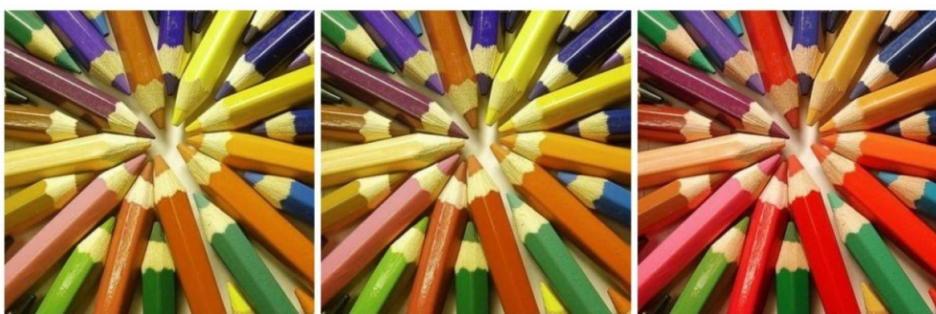
Monochromasie, vzácně se vyskytující porucha, znamená úplnou barvoslepost. Při monochromasii se číčky pro barevné vidění nemusí na sítnici vůbec objevovat. Postižený vidí všechny barvy jako jednu barvu, jen s různými jasy. Jeho obraz je podobný černobílé fotografii. Monochromasie je velmi často doprovázená dalšími vadami jako nystagmus (rychlé a trhavé pohyby očí), astigmatismus (nepravidelné zakřivení rohovky), či snížením zrakové ostrosti [1, 2, 8].



**Obrázek 14** Trichromatické vidění (vlevo), monochromatické vidění [15, 24]



**Obrázek 15** Protanopie, deuteranopie, tritanopie (zleva) [15, 24]



**Obrázek 16** Protanomálie, deuteranomálie, tritanomálie (zleva) [15, 24]

### 5.3 Vyšetřovací metody

Vyšetření barvocitu je jedním ze základních očních vyšetření. Správné barevné vidění je nezbytné pro vykonávání mnoha profesí či udělení řidičského oprávnění, takže je možné se s tímto vyšetřením setkat právě při vyřizování některého z osvědčení. Při vyšetření je nutné dbát na správnou intenzitu osvětlení, ale také je důležité, aby vyšetřující netrpěl některou z uvedených poruch barvocitu. K vyšetření se používá několik základních metod a přístrojů.

#### 5.3.1 Pseudoizochromatické tabulky

Užití pseudoizochromatických tabulek patří k nejčastějším vyšetřovacím metodám barvocitu. Je to však pouze screeningové vyšetření, které upozorňuje, na nějakou poruchu barvocitu, nedovoluje ale bližší specifikaci poruchy. S takovým vyšetřením je možné se setkat při běžné preventivní prohlídce u lékaře, nebo při orientačních testech, protože poskytuje prvotní a nejrychlejší možnost jak získat informace o zdravotním stavu vyšetřovaného.

V této metodě se využívá tzv. klamných tabulek. Na obrázku jsou body různých barev a různého jasů. Ale pouze body stejného barevného tónu vytvářejí nějaký tvar, číslo nebo písmeno. Body se stejným jasem však žádný obrazec netvoří. Člověk s normálním trichromatickým viděním se orientuje podle tónu barvy, ale anomální trichromati nebo dichromati se orientují podle jasů, takže při vyšetření na pseudoizochromatických tabulkách nejsou schopni správně identifikovat to, co se na obrázku nachází.

Při samotném vyšetření jsou tabulky umístěny cca 70 cm od vyšetřovaného, který by měl mít v zádech neoslňující zdroj světla, nejlépe denního, ne však přímé sluneční světlo. Pro správné přečtení tabulky by měl stačit čas 15 vteřin [9].



Obrázek 17 Pseudoizochromatické tabulky [9]

#### 5.3.2 Anomaloskop podle Nagela

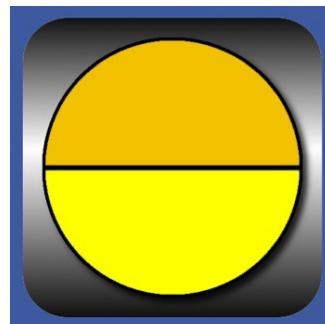
Zařízení pracující na principu míchání spektrálních barev. V tomto vyšetření dochází k rozdělení zorného pole na dvě poloviny. V jedné polovině je směs červené (671 nm – červená čára lithia) a zelené (546,1 nm – zelená čára rtuti). Poměr těchto barev lze libovolně měnit, tak aby dosáhl odstínu čisté žluté (589,3 nm střed obou čar sodíku) v druhé části pole. Vyšetřovaný s protanomálií

potřebuje z vytvoření požadovaného odstínu více červené, vyšetřovaný s deuteranomálií zase více zelené.

Tato metoda vyšetření je v současné době nejpoužívanější, především díky tomu, že anomaloskop je plně automatický a k vyhodnocení tak není nutný proškolený personál [2, 8].



**Obrázek 18** Anomaloskop podle Nagela [33]



**Obrázek 19** Vyšetřovací pole [14]

### 5.3.3 Farnwoth-Munsell 100 hue test

100-hue-test je mezinárodně uznávaný standard ve vyšetření barvocitu. Poskytuje kvalitní a hloubkovou analýzu jednotlivých poruch barvocitu. Tento test je nejvhodnější k diagnostikování jak vrozených, tak získaných poruch barvocitu, jeho nevýhodou je časová náročnost.

Metoda spočívá v řazení barevných terčů s co nejmenším barevným rozdílem. Terčíky se liší odstínem, jejich jas i sytost je však stejný. Úkolem pacienta je seřadit tyto terčíky podle pořadí v barevném spektru. Pro vyhodnocení vyšetřující používá číselné označení určující pořadí ve spektru, které je na spodní straně každého terčíku (viz Obrázek 21).

Terčíky jsou uspořádány do 4 řad a celkový počet je 93. První má odstíny oranžové až purpurové, druhý žluté až zelené, třetí modré až fialové a čtvrtý odstíny purpurové. Krajiní terčíky jsou vždy fixní.

Je důležité, aby byl test prováděn při správné intenzitě osvětlení. Vyšetření by mělo probíhat při běžném denním osvětlení, nejlépe ze severní strany. Ne však při přímém slunečním záření.

V praxi se používají zjednodušené 40-hue-testy nebo 20-hue-testy, které nejsou tak časově náročné, neposkytují však tak kvalitní výsledky.

Je méně používaný než anomaloskop, především pro svou složitost ve vyhodnocování, které musí provádět pouze proškolený personál a na základě výsledného grafu lékař vyhodnotí, zda pacient nějakou poruchou trpí. Výsledky zaznamenává do připravené skórové tabulky (Obrázek 23).

Na obrázcích 24–25 můžeme vidět příklady výsledného grafu v případě, kdy pacient žádnou poruchou barvocitu netrpí, v případě, kdy má jen mírné odchylky od normálního barevného vidění a pak v případech, kdy pacient trpí buď poruchou nebo úplnou neschopností vnímat červenou (Obrázek 25), zelenou (Obrázek 28) nebo modrou barvu (Obrázek 26).

V současné době se prodejem standardizovaného Farnwoth-Munsell 100-hue-testu zabývá řada firem a jeho prodejní cena se pohybuje okolo 17 000 Kč. V případě, že je test v počítačové verzi, je jeho cena okolo 6 000 Kč [16, 17].





**Obrázek 20** Farnsworth-Munsell 100 hue test



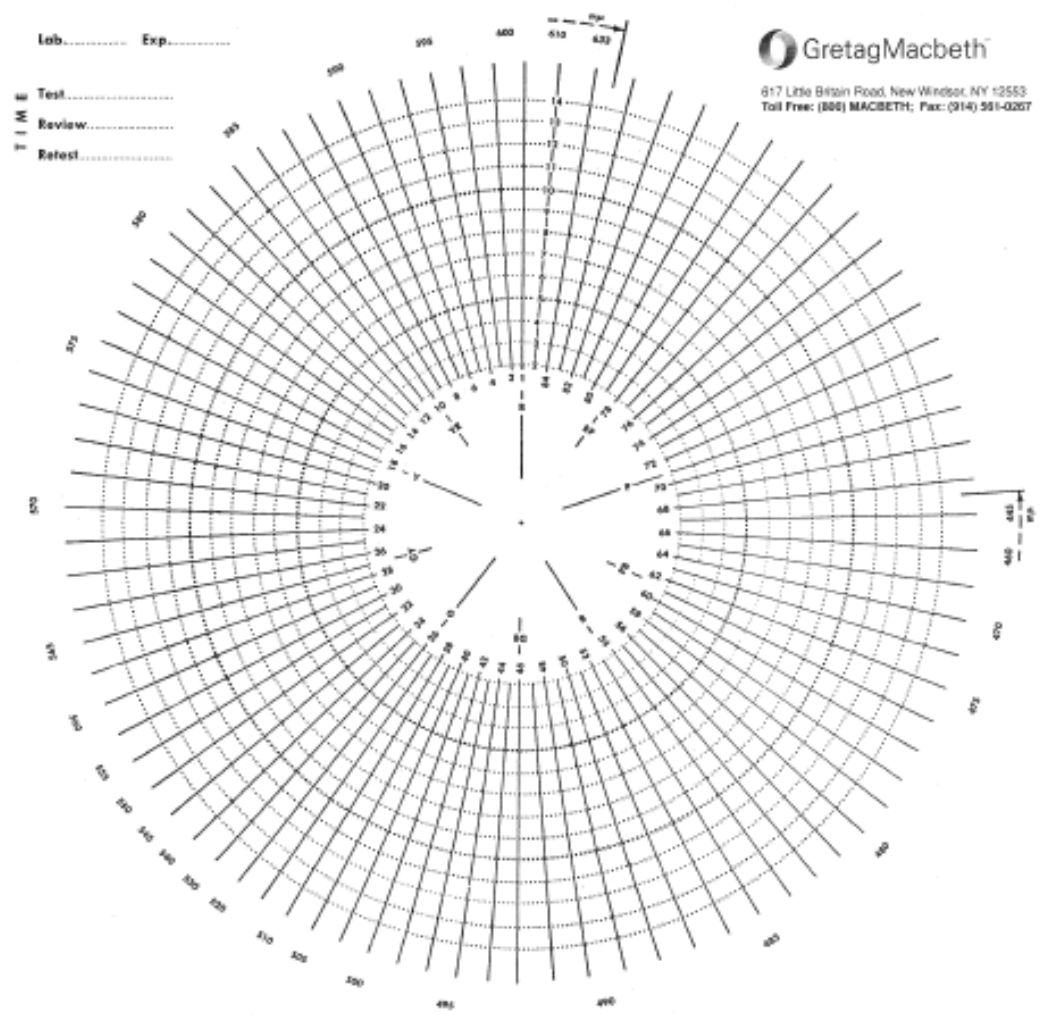
**Obrázek 21** Číselné označení testu



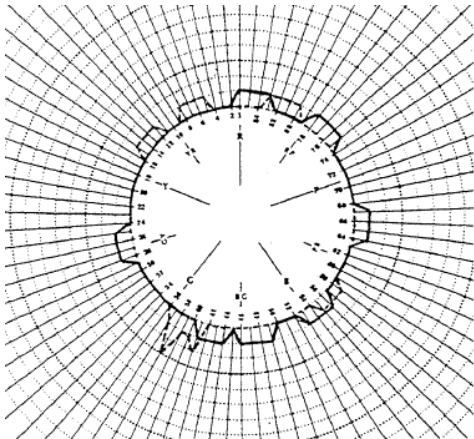
**Obrázek 22** Farnsworth-Munsell 100 hue test

Name..... Age..... Date...../...../.....

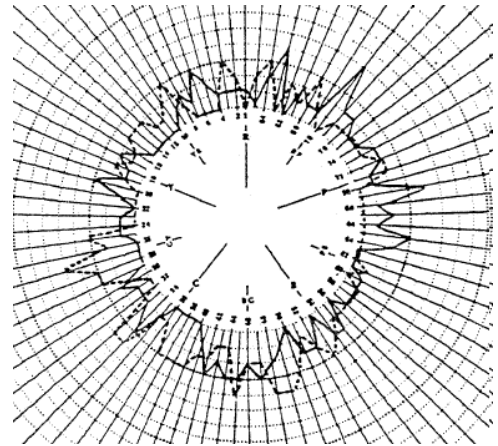
85	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	



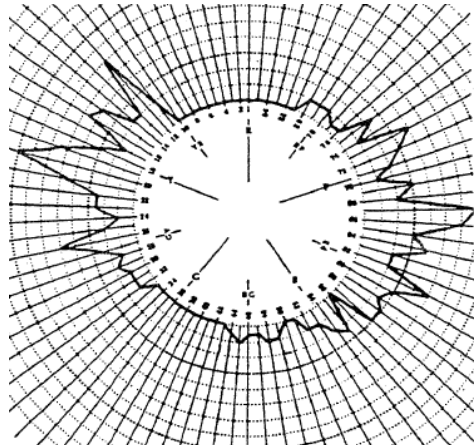
Obrázek 23 Skórová tabulka [16]



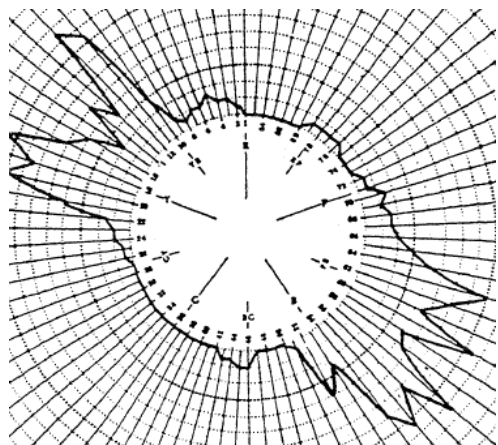
**Obrázek 24** Výsledný graf pacienta bez poruchy barevného vidění [16]



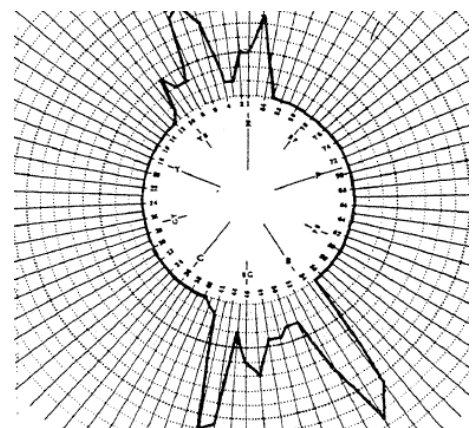
**Obrázek 27** Výsledný graf pacienta s mírnou poruchou barevného vidění [16]



**Obrázek 25** Výsledný graf pacienta s poruchou/neschopností vnímání červené [16]



**Obrázek 28** Výsledný graf pacienta s poruchou/neschopností vnímání zelené [16]



**Obrázek 26** Výsledný graf pacienta s poruchou/neschopností vnímání modré [16]

# **PRAKTICKÁ ČÁST**



Praktická část se zabývá samotným vývojem aplikace pro konkrétní zařízení, popisuje vývojové prostředí, implementaci jednotlivých částí aplikace ve vývojovém prostředí Android Studio, v programovacím jazyce Java. V případě této bakalářské práce je doporučeným zařízením Samsung GALAXY Tab 2 10.0.

Dále se zabývá testováním aplikace v klinické praxi, přímo na Oční klinice FN Ostrava. Testování je provedeno jak pomocí standardizovaného 100-hue-testu, tak pomocí aplikace. Na konci práce je objektivní zhodnocení a posouzení dalšího přínosu pro klinickou praxi.

Cílem aplikace je nahradit standardní řazení jednotlivých terčů zjednodušenou verzí pro tablet. Otestovat, zda je vůbec možné dosáhnout při vyšetření tabletovou verzí takové přesnosti jako u standardizované metody. Po vyhodnocení testu se na obrazovce objeví, kde pacient chyboval. V případě potřeby bude dále na vyšetřujícím, zda si graf nakreslí, pokud na to má potřebnou kvalifikaci, či nikoliv.

## 6. Měření kolorimetrem

Před samotným vývojem aplikace bylo potřeba přesně změřit odstíny barev, použité ve standardizovaném 100-hue-testu. K měření byl použit kolorimetr, který umožňuje přesné změření odstínu barev. Výsledné barvy pak popisuje podle systému RGB, ale také pomocí mezinárodního měrného systému CIE XYZ. Následně jsou změřené barvy pomocí převodníku převedeny na hexadecimální soustavu a zpracovány do aplikace.

Po zapnutí kolorimetru bylo nutné provést kalibraci pro bílou a černou barvu. Následně byl kolorimetr přikládán ke všem 93 vzorkům, které byly několikrát přeměřeny, aby byla zajištěna přesnost měření. Každý vzorek byl změřen při stejných podmínkách, tedy při denním světle a položen na tmavém podkladu (viz Obrázek 31).

Na měření byl zapůjčen kolorimetr SC 80 od pana Ing. Vladimíra Gajdečky, který se zabývá prodejem a půjčováním průmyslové techniky a byl ochoten kolorimetr zapůjčit pro účely této bakalářské práce.



Obrázek 29 Kolorimetr SC 80



Obrázek 30 Zobrazení výsledků



**Obrázek 31** Vzorek na tmavém podkladu

Model	SC 80
Výrobní číslo	220273
Přesnost	0,08 (průměrná hodnota 30 měření a standardní bílá destička)
Osvícení/měřicí systém	8/d (8° úpadek/rozšířený odraz) SCI (zahrnuje světlo rovného zrcadla) SCE (eliminuje světlo rovného zrcadla)
Zdroj světla	Zdroj bílého světla
Měřicí úhel	10° úhel v CIE
Měřicí podmínky	D65, D50, F11
Přenastavení	Přenastavení na bílou Přenastavení na černou
Uskladnění	12 skupin standardních vzorků, 30 skupin hodnot pro každý vzorek
Displej	$L^*a^*B^*$ , $L^*c^*h$ sytost $\Delta E^*ab$ $\Delta(L^*C^*H^*)$ diference barev
Jazyk	Angličtina/Čínština
Otvor (mm)	Ø 8
Napájení	4 ks alkalická baterie nebo niklový speciální adaptér (DC, 5 V)
Váha (g)	550 g
Rozměry (mm)	77x86x210

**Tabulka 2** Technické parametry zařízení

## 7. Aplikace

### 7.1 Operační systém Android

Android je operační systém vyvinutý společností Google. Jeho základem je open source platforma.

Android se využívá především v tabletech a smartphonech, neboť umožňuje vytvářet aplikace, které využívají vlastností a prvků, která tyto zařízení mají (fotoaparát, zasílání SMS, Bluetooth).

Android je nejmladším operačním systémem, vytvořený v roce 2003 v USA a od té doby prošel řadou změn, což samozřejmě souvisí s neustále se zdokonalující jak počítačovou, tak i mobilní technikou [25, 26].

### 7.2 Doporučené zařízení

Doporučeným zařízením je Samsung Galaxy Tab. 2 s displejem o velikosti 10". Toto zařízení je velmi rozšířené, neboť představuje standard ve své cenové kategorii.

Konstrukce	257 x 175 x 9,7 mm, 587 g, klasická
Displej	10" (1280 x 800 px), dotykový: kapacitní
Fotoaparát	Ano, 3 Mpx (2048 x 1536)
Chipset	ARM Cortex A9, 1 Ghz
Paměť	RAM: 1 GB, vnitřní paměť 16 GB
Operační systém	Android 4.0

Tabulka 3 Technické parametry zařízení

### 7.3 Základní popis

Aplikace má název ColorVisio Test, z latinského color – barva a visio – vidět. Je to první zpracování aplikace, proto byla označena verzí 1.0. Je vyvinutá pro systémy s operačním systémem Android 4.0. a vyšší.

Logo aplikace spolu s ikonou lze vidět na obrázcích 32 a 33. Obojí bylo vytvořeno pomocí programu Adobe Photoshop CS5.

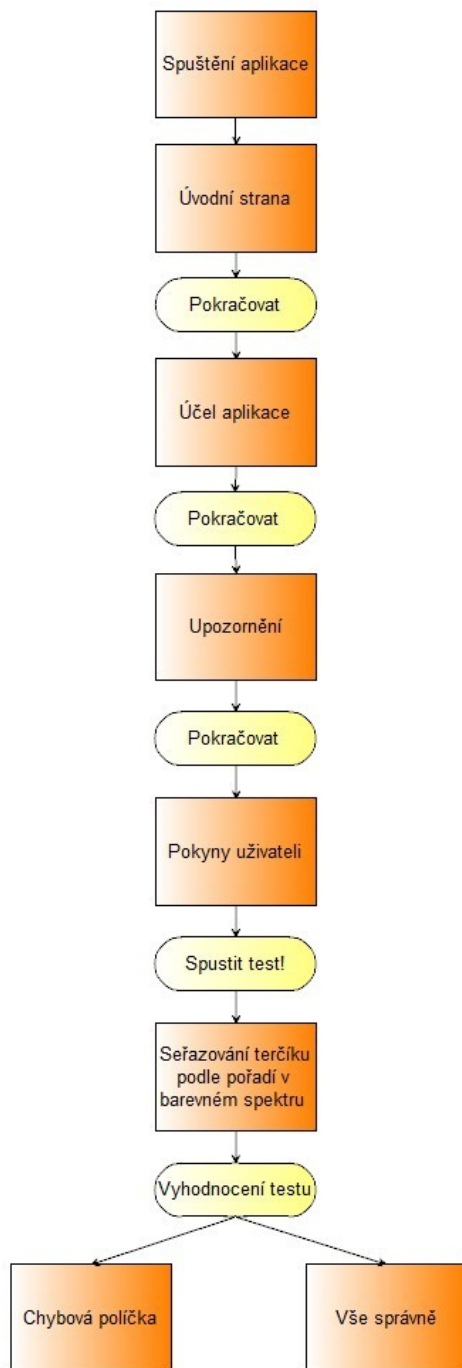


Obrázek 32 Ikona aplikace



Obrázek 33 Logo aplikace

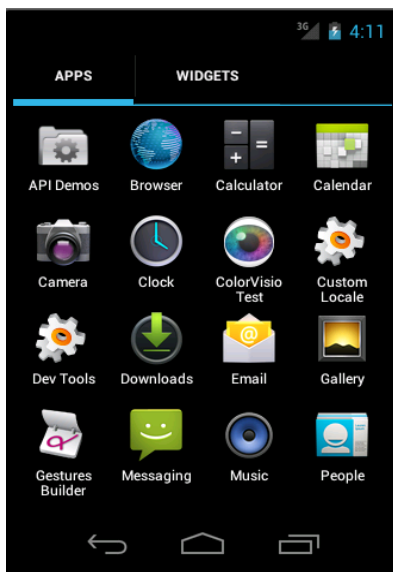
## 7.4 Stavový diagram



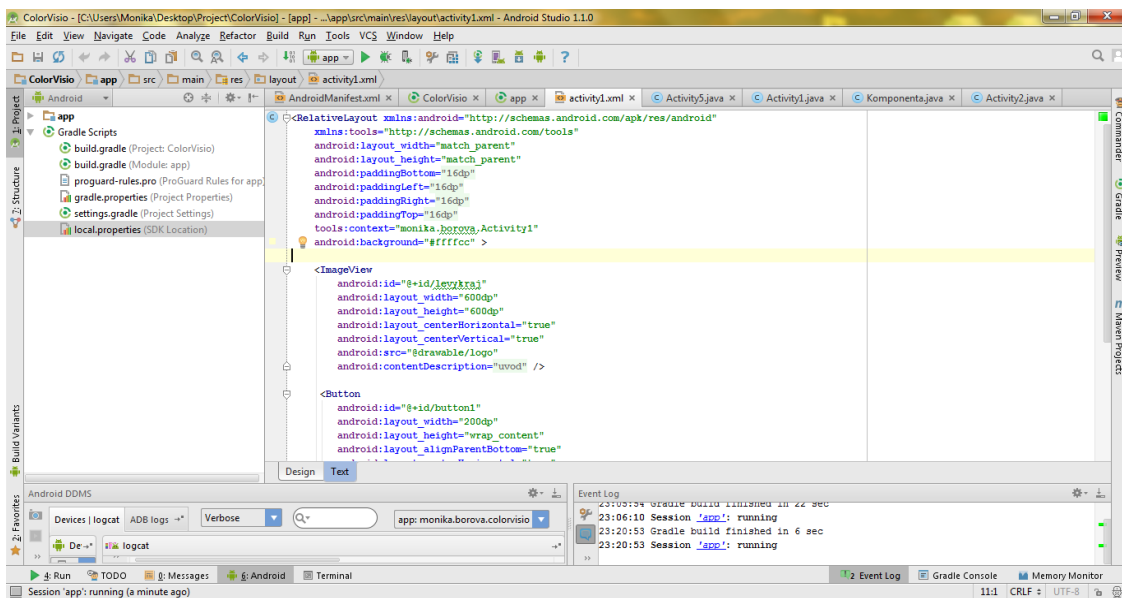
Obrázek 34 Stavový diagram aplikace

## 7.5 Průběh aplikace

Spuštění aplikace začíná v uživatelském menu. Zde je zobrazena ikona spolu s názvem. Po spuštění se obrazovka automaticky nastaví do vertikální polohy a dojde k automatickému nastavení jasu. Každý layout je definovaný pomocí atributů v souboru XML. Můžeme tak nastavit veškeré parametry vzhledu jako barva pozadí, styl a velikost písma, nebo velikosti obrázků.



Obrázek 35 Ikona aplikace v menu tabletu



Obrázek 36 Popis layoutu v XML souboru

Po spuštění aplikace se na obrazovce zobrazí úvodní strana aplikace, na které je její logo. Uživatel pak pomocí tlačítka “Pokračovat” vyvolá

```
Button button = (Button) findViewById(R.id.button1);
    button.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        public void onClick(View arg0) {
            Intent myIntent = new Intent(Activity1.this,
                Activity2.class);
            startActivity(myIntent);
        }
    })
```

díky které dojde k přepnutí na další stranu aplikace (Activity2).

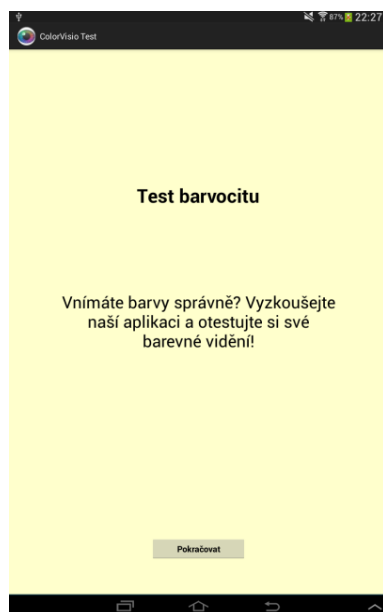


**Obrázek 37** Úvodní strana aplikace (Activity1)

Na další straně je krátké vysvětlení, komu je aplikace určena. Měla by sloužit nejen pacientům, ale i široké veřejnosti, která si může své barevné vidění otestovat před návštěvou očního lékaře. Pomocí tlačítka “Pokračovat” se vyvolá

```
Button button = (Button) findViewById(R.id.button1);
    button.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        public void onClick(View arg0) {
            Intent myIntent = new Intent(Activity1.this,
                Activity3.class);
            startActivity(myIntent);
        }
    })
```

čímž uživatelé přepne na další stranu (Activity3).



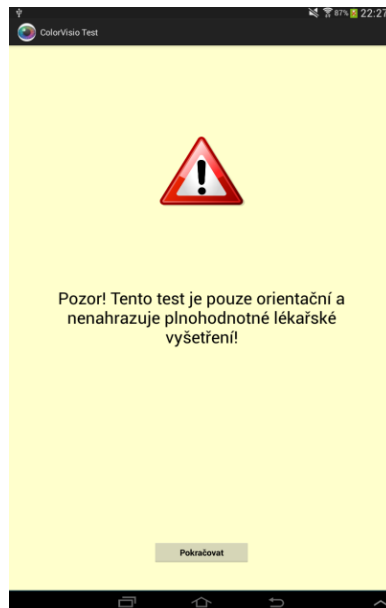
**Obrázek 38** Účel aplikace (Activity2)

Poté se uživateli zobrazí upozornění, které uvádí, že tato aplikace je pouze orientační a nenahrazuje plnohodnotné lékařské vyšetření. Uživatel je tedy upozorněn, že v případě, kdy mu bude vyhodnocen nějaký negativní výsledek, nemusí to nutně znamenat nějaké onemocnění, ale měl by navštívit svého očního lékaře, který provede podrobnější vyšetření. Stiskem tlačítka “Pokračovat”, se vyvolá

```
Button button = (Button) findViewById(R.id.button1);
    button.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        public void onClick(View arg0) {
            Intent myIntent = new Intent(Activity1.this,
                Activity4.class);
            startActivity(myIntent);
        }
    })
```

a dojde k přepnutí na Activity4, a testovaný tak potvrzuje, že upozornění bere na vědomí.



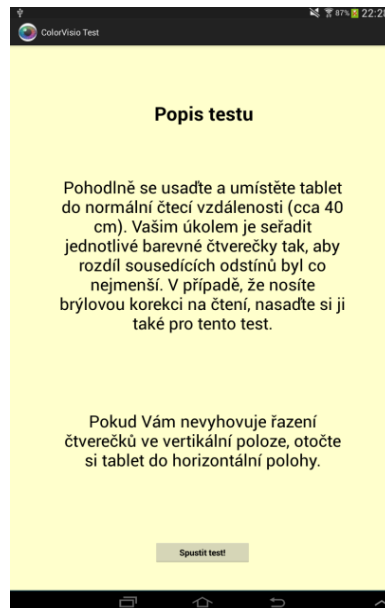


**Obrázek 39** Upozornění (Activity3)

Poslední strana před spuštěním samotného testu udává pokyny k samotnému průběhu testování. Nastavuje pacientovi podmínky, které je potřeba, aby dodržel ke správnému vykonání testu. Tlačítkem “Spustit test!”, se pomocí

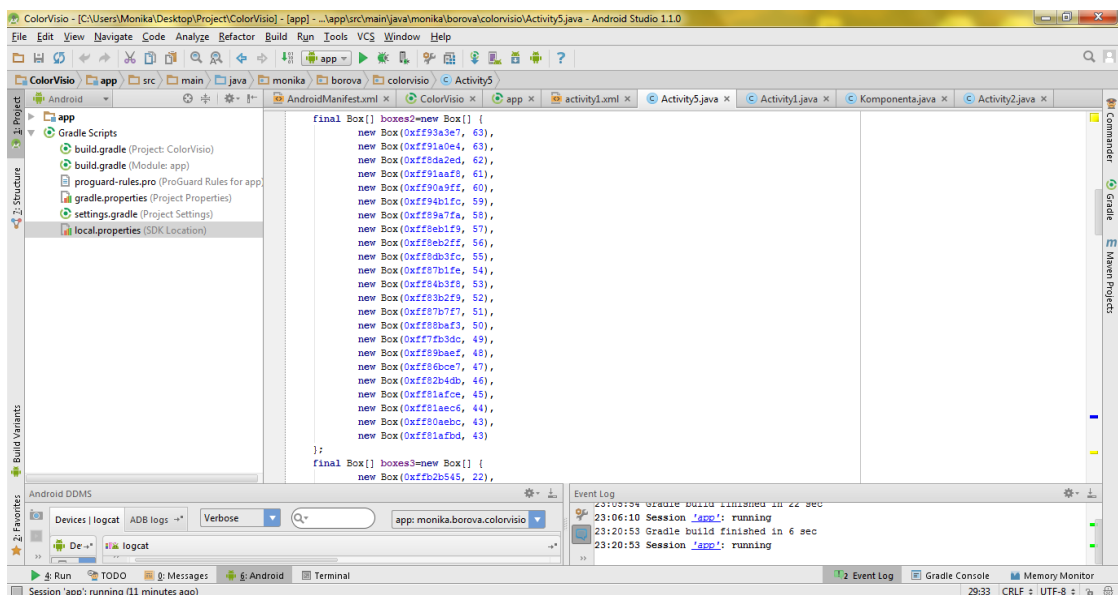
```
Button button = (Button) findViewById(R.id.button1);
    button.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
        public void onClick(View arg0) {
            Intent myIntent = new Intent(Activity1.this,
                Activity5.class);
            startActivity(myIntent);
        }
    })
```

přepne na poslední Activity5 a vyvolá spuštění testu.

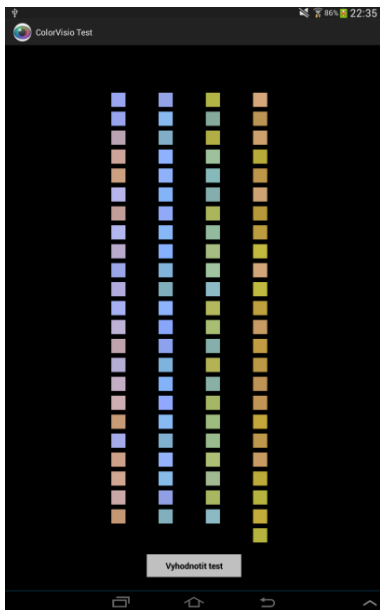


Obrázek 40 Pokyny uživateli (Activity4)

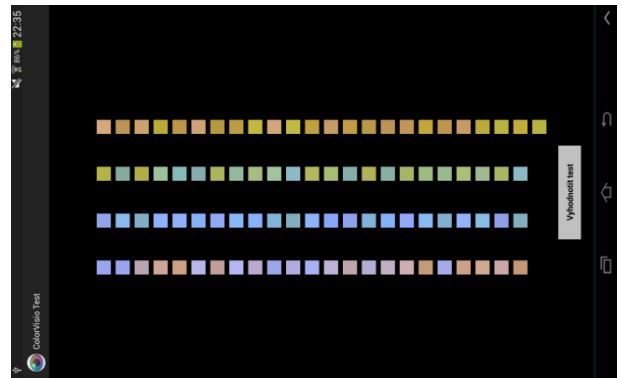
Vyšetřovaný byl pomocí předchozí stránky aplikace poučen o průběhu testu a o možnostech jeho vykonání. Na obrázcích níže je ukázáno jak řazení v horizontální, tak vertikální poloze (Obrázky 42 a 43). Pro samotné programování bylo potřeba do projektu nainportovat externí knihovnu definující linearlayout spolu s funkcí drag and drop, díky které bylo umožněno řazení čtverečků v rámci jedné řady uchopením čtverečku a posouvání pomocí táhnutí po displeji. Dále byly definovány barvy v kódech hexadecimální soustavy. Řazení čtverečků po spuštění testu je zcela náhodné a při každém spuštění jiné.



Obrázek 41 Definování barev v hexadecimální soustavě

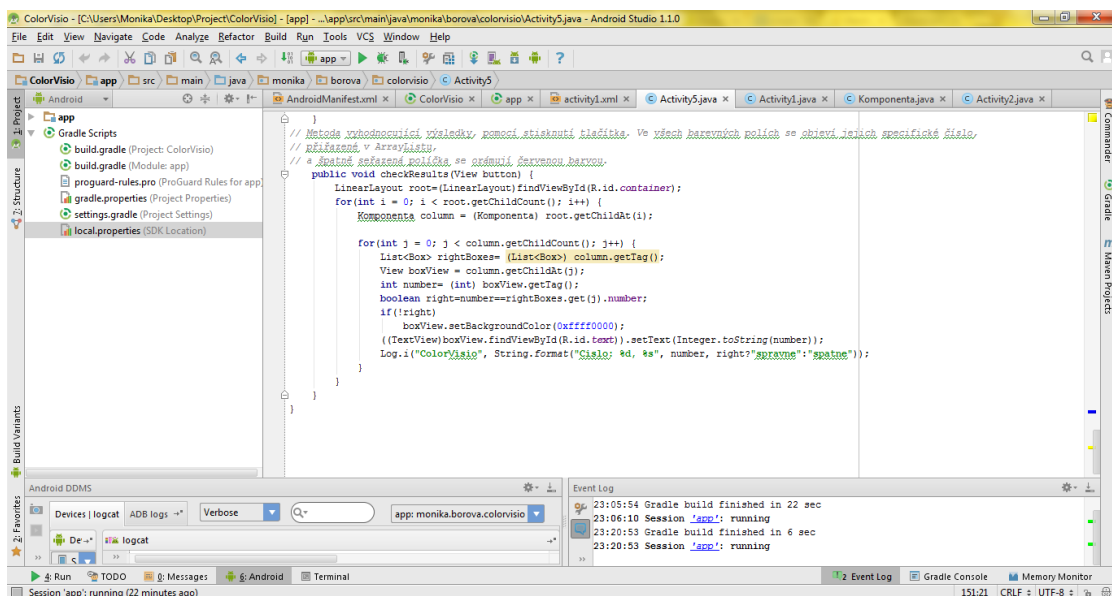


**Obrázek 42** Řazení čtverečků ve vertikální poloze

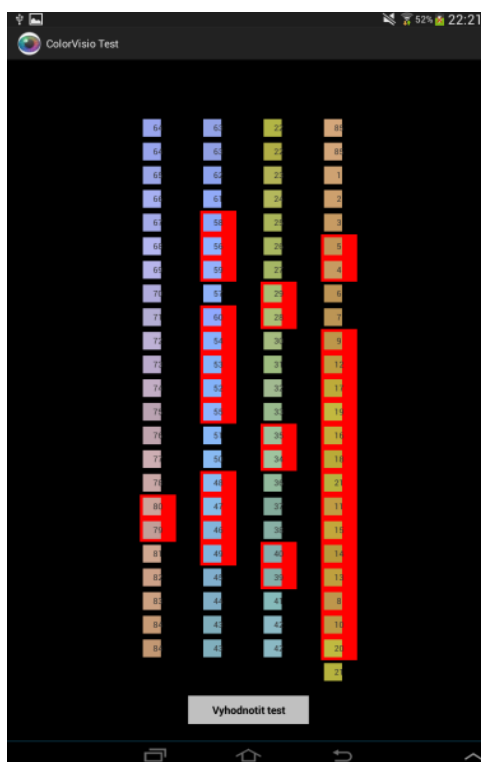


**Obrázek 43** Řazení čtverečků ve vertikální poloze

Po seřazení čtverečků stiskne vyšetřovaný tlačítko “Vyhodnotit test” a na displeji se objeví jeho výsledné skóre (Obrázek 45). Každému barevnému čtverečku je přiděleno jeho specifické číslo. V případě, že je seřazení chybné, nesprávné pozice se orámují červeně. Na základě tohoto chybového skóre si pak vyšetřující může a nemusí nakreslit příslušný graf. Pokud vyhodnotí, že chyby jsou zcela náhodné a není tak žádné podezření na poruchu barevného vidění, není potřeba graf vykreslovat.



**Obrázek 44** Část zdrojového kódu sloužící k vyhodnocení testu



**Obrázek 45** Vyhodnocení testu

Celý zdrojový kód aplikace je přiložen v **Příloze č. 1**.

## **8. Testování v klinické praxi**

Testování aplikace je důležitý výstup této bakalářské práce, protože dojde k ověření její funkčnosti v klinické praxi. Testování probíhalo u všech dobrovolníků při stejných podmínkách, tedy při denním světle, ne však při přímém slunečním svitu. Pokud dobrovolníci nosí brýlovou korekci na čtení, byli vyzváni k jejímu použití.

### **8.1 Výsledky testů**

#### **Test č. 1**

První vyšetřovanou byla 22letá žena, studentka vysoké školy. Má pouze brýlovou korekci do dálky. Při vyšetření standardní metodou udělala chyby pouze v číslech 19, které zaměnila za číslo 20, dále v čísle 30 přehozením s číslem 31, a v číslech 76 a 77.

Při vyšetření pomocí aplikace udělala chyby v číslech 13 a 14 v první barevné řadě, v číslech 28 a 29 v druhé barevné řadě a v číslech 51 a 52 v řadě třetí.

Výsledky vyšetření pomocí standardizované metody a také výsledky vyšetření pomocí aplikace, lze považovat za normální, bez podezření na některou z výše uvedených poruch barvocitu.

#### **Test č. 2**

Druhým vyšetřovaným byl 27letý muž. Běžně nosí brýlovou korekci do dálky. Při vyšetření standardní metodou udělal muž chybu pouze v čísle 82, které zaměnil s číslem 83.

Při vyšetření pomocí aplikace chyboval v třetí barevné škále v číslech 47, 48, která zaměnil a také v číslech 54 a 55.

Také výsledky tohoto testování, jak standardní metodou, tak pomocí aplikace, lze považovat za normální a není u vyšetřovaného podezření na poruchu barvocitu.

#### **Test č. 3**

Třetí vyšetřovanou byla 49letá žena, která nosí brýlovou korekci na čtení. Měla ji tedy také pro toto vyšetření. Při vyšetření standardní metodou chybovala v třetí řadě, kdy zaměnila čísla 45 a 46, a také 60 a 61.

Při testování na tabletu chybovala taktéž ve třetí řadě, v číslech 43 a 44 a také v řadě čtvrté v číslech 69 a 70.

Také její výsledky lze považovat za normální a neodhalily žádnou z uvedených poruch barevného vidění.

#### **Test č. 4**

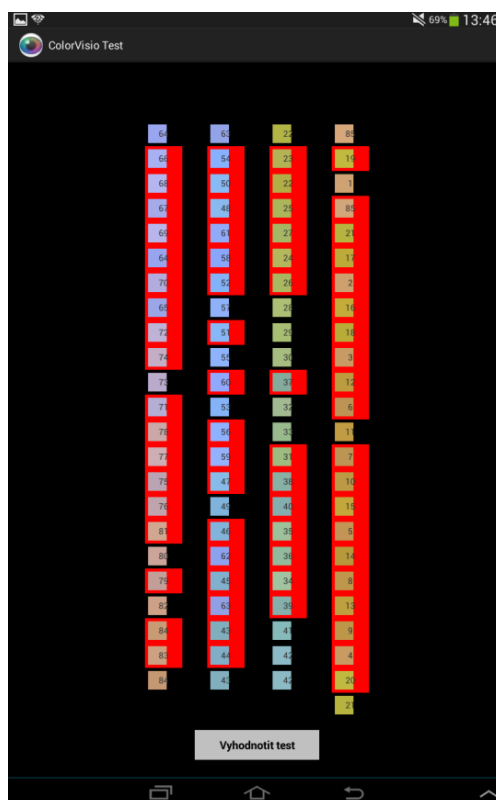
Třetí vyšetřovanou osobou byla 21letá žena, studentka vysoké školy. Má brýlovou korekci na čtení a také poruchu barevného vidění. Není pod trvalým dohledem lékaře, ale dle jejích slov trpí poruchou vnímání barev v celém rozsahu spektra.

Při vyšetření standardní metodou její výsledky potvrdily její tvrzení. Vzhledem k tomu, že se pacient s poruchou barvocitu orientuje podle jasu barev, který je u tohoto testu u všech barev stejný,

byly ve všech řadách znatelné odchylky. Dle vyhodnocování pomocí čísel na spodní straně každé barvy, lze říci, že nejvíce chyb (až 90 %) bylo v řadách s odstíny oranžové až purpurové (1. řada) a s odstíny modré až fialové (3. řada). V řadě s odstíny purpurové (4. řada) byla chybovost zhruba 60 %. Nejlépe byla seřazena řada s odstíny žluté až zelené, kde byla chybovost zhruba 40 %.

Poté byl test proveden také pomocí aplikace. Výsledky byly srovnatelné s vyšetřením pomocí standardní metody. Nejlépe byla opět seřazena řada s odstíny žluté až zelené. V ostatních řadách došlo opět k záměně velkého množství odstínů.

Sama vyšetřovaná žena přiznala, že jí většina odstínů připadala úplně stejných a není je schopna je s jistotou odlišit. Bylo jí doporučeno podrobnější vyšetření oftalmologem.



**Obrázek 46** Vyhodnocení pomocí aplikace v testu č. 4

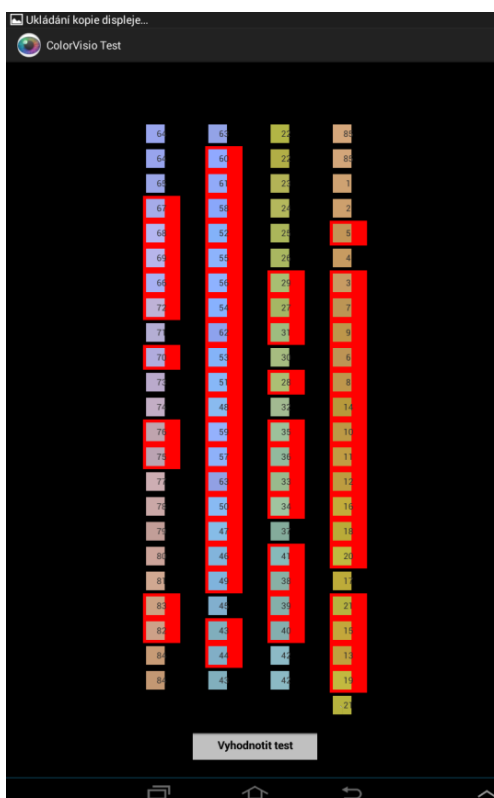
### Test č. 5

Pátým vyšetřovaným byl 22letý muž, student vysoké školy. Ví, že trpí poruchou barvocitu, byl několikrát vyšetřován pomocí pseudoizochromatických tabulek. Popsal, že je pro něj obtížné rozeznat odstíny oranžové, hnědé a modré.

Vyšetření standardizovanou metodou opravdu odpovídalo jeho popisu. V první řadě, tedy v odstínech oranžové až purpurové, chyboval spolu s třetí řadou nejčastěji. Většinou se jednalo o záměnu jen dvou sousedících terčičků, nebyly tam tak viditelné změny jako u vyšetřované v testu č. 4. V řadě s odstíny žluté až zelené udělal chyby pouze v číslech 22 a 23, dále pak zaměnil čísla 32

a 34, a číslo 38 s číslem 40. V poslední barevné škále umístil špatně pouze číslo 70, které umístil mezi čísla 66 a 67. Jinak byla celá řada seřazena správně.

Při vyšetření pomocí aplikace bylo dosaženo podobných výsledků. Nejčastěji vyšetřovaný chyboval v první a třetí řadě. Podobně jako u vyšetření standardní metodou se jednalo o chyby, kdy došlo k záměně pouze sousedících odstínů, ale v celé délce řady. V druhé řadě s odstíny zelené a žluté zaměnil čísla 27, 28, 29 a 30, pak také 33, 34, 35 a 36 a také 38 a 39 s číslem 40. V poslední řadě umístil špatně čísla 66, 67, 68, 69 a 70. Pak také 76 a 75.



**Obrázek 47** Vyhodnocení pomocí aplikace v testu č. 5

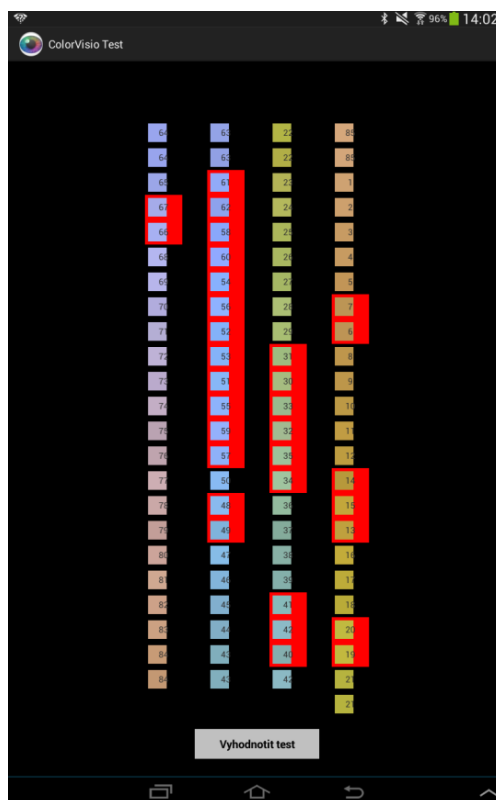
### Test č. 6

Poslední vyšetřovanou byla 40letá žena. Má cylindrickou brýlovou korekci, která ji poskytuje korekci astigmatismu.

Standardní metoda testování byla chybovost zhruba 60 % v řadě modrých odstínů. V ostatních řadách šlo vždy pouze o záměnu sousedících odstínů.

Při testování pomocí aplikace měla také nejvíce chyb v modré barvě, podobně jako při testování standardní metodou. V ostatních řadách došlo vždy k záměně jen několika sousedících odstínů.

U této ženy je zřejmě tato chybovost zapříčiněná astigmatismem, který může ovlivňovat ostrost vidění, vymění barev, může být příčinou bolestí hlavy, ale také únavy.



Obrázek 48 Vyhodnocení pomocí aplikace v testu č. 6

## 8.2 Zhodnocení výsledků a spolehlivosti aplikace

Testování bylo provedeno vždy jak pomocí standardizované metody 100-hue-testu, tak pomocí aplikace. U člověka bez poruchy barevného vidění, nelze správnost aplikace oproti standardní metodě posoudit, protože chyby, které udělá, jsou většinou pouze náhodné a při opakování testu se většinou chyby nevyskytují. To je vidět u prvních třech testů, kdy vyšetřovaní vždy chybovali v záměně pouze dvou odstínů mezi sebou a četnost chyb byla velice malá. Takto tomu bylo u obou metod vyšetření.

Správnost aplikace bylo tedy třeba ověřit na člověku, který má některou z uvedených poruch. Cílem testování bylo, zda výsledky standardní metody a aplikace budou srovnatelné. Toto lze dokázat pomocí testování č. 4, č. 5 a č. 6.

V případě testování téměř barvoslepé ženy byly výsledky srovnatelné, neboť v obou případech byla velmi vysoká chybovost, kromě řady v odstínech zelené až žluté. Stejně dopadl test i ve vyšetření pomocí aplikace. Vysoká chybovost v totožných řadách byla prokázána a v řadě v odstínech zelené pak zase prokazatelné zlepšení.

Totéž se prokázalo i u muže v pátém případě testování. Chyboval v přibližně stejných číslech a řady, které seřadil správně pomocí standardní metody, seřadil správně i pomocí aplikace.

Samozřejmě i v případě aplikace je potřeba zajistit dostatečné světlo, nastavit jas displeje a dát vyšetřovanému potřebné instrukce.



Celkově lze z výsledku testování vyhodnotit, že aplikace je po dodržení instrukcí schopna zastoupit standardní vyšetřovací metodu. V diplomové práci však bude potřeba provést rozsáhlejší studii, která ověří správnost aplikace na větší skupince lidí, a aplikaci rozšířit o vyhodnocení testu pomocí grafu.

## 9. Závěr

Tato bakalářská práce byla rozdělena do dvou částí. Na část teoretickou a praktickou. V teoretické části bylo potřeba přiblížit klinickou diagnostiku poruch barevného vidění, a tak je zde popsána jak anatomická, tak také histologická a fyziologická stavba sítnice. V anatomické části jsou popsány stavby jednotlivých vrstev oka a v histologické části pak všechny jednotlivé vrstvy sítnice včetně jejích buněk a specifických funkcí. V závislosti na popisu funkcí jednotlivých buněk je v teoretické části popsána také zraková dráha a celkový princip vzniku vjemu.

Kapitola fyziologie barevného vidění vysvětluje chemické reakce doprovázející vznik barevného vjemu, ale také obsahuje část zabývající se fyziologickou optikou, kde jsou vysvětleny pojmy jako viditelné světlo, Purkyňův jev, či různé teorie barevného vidění. Dále bylo potřeba popsat jednotlivé poruchy barevného vidění a jejich princip vyšetřování. Především jsem se pak zaměřila na Farnworth-Munsellův 100-hue-test, které bylo za cíl přepracovat do aplikace určené pro tablety s operačním systémem Android.

Důležitým úkolem bylo především zjistit, zda je možné standardizovaný test do podoby aplikace převést a zda bude při vyšetřování dosaženo srovnatelných výsledků. Pro změření barev standardního 100-hue-testu bylo zapotřebí použít kolorimetr, který barvy změřil v RGB soustavě a následně byly převedeny do hexadecimální soustavy a zakomponovány do aplikace. Samozřejmě je zde třeba zmínit, že každý tablet bude barvy zobrazovat jinak a může tak dojít k jistým odchýlkám, ale právě proto jsem vývoj zaměřila na jedno konkrétní zařízení, tedy Samsung GALAXY Tab. 2 a na něm také provedla potřebné testování o ověření spolehlivosti.

Aplikaci je implementována v programovacím jazyce Java a vytvořena ve vývojovém prostředí Android Studia. V tomto vývojovém prostředí se mi pracovalo velmi dobře, neboť se soustředí na vývoj pouze pro operační systém Android na rozdíl od jiných běžně dostupných prostředí.

Pro ověření správnosti aplikace bylo třeba provést testování na lidech, kteří nějakou poruchou barevného vidění trpí. Celkem bylo provedeno pět testování, kdy ve třech případech byli vyšetřovaní bez poruchy barevného vidění a ve dvou případech s poruchou. Oba testování s poruchou prokazovali podobné výsledky jak při vyšetření pomocí standardní metody, tak při vyšetření pomocí aplikace. Podrobné výsledky testování můžeme vidět v kapitole 8. Testování v klinické praxi.

Celkově bych přínos aplikace zhodnotila pozitivně. Dle výsledků je schopna konkurovat standardnímu vyšetřovacímu testu. Její přínos bych viděla především v tabletové podobě, která je oproti klasické dřevěné krabici určitě pozitivním zjednodušením. Lze ji použít v podstatě kdykoliv a kdekoliv.

V diplomové práci bych ráda aplikaci rozšířila o vyhodnocení testu pomocí speciálního grafu, k jehož vytvoření je potřeba absolvovat speciální kurz pro oční specialisty. Mohl by tak na očních odděleních používat test kdokoliv z vyšetřujících a ne jen proškolený personál. Bude také provedena rozsáhlá klinická studie ve spolupráci s Oční klinikou FNO.

## 10. Literatura:

- [1] KOLÍN, Jan. *Oční lékařství*. 2., přepr. vyd. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 9788024613253.
- [2] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 8024612135
- [3] Dar zraku. [online]. [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://www.darzraku.cz/oko/cs\\_CZ-38911.html](http://www.darzraku.cz/oko/cs_CZ-38911.html)
- [4] Anatomie sítnice. [online]. [cit. 2014-10-12]. Dostupné z: <http://www.optikmatuskova.cz/poruchy-barvocitu/>
- [5] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000, 206 s. ISBN 80-701-3313-9.
- [6] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 1. vyd. Praha: Grada, 2004, 93 s., [8] s. obr. příl. ISBN 80-247-0786-1.
- [7] HORKÝ, Drahomír. *Mikroskopická anatomie*. 3., přeprac. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2011, 203 s. ISBN 978-802-1055-506.
- [8] VLKOVÁ, Eva a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2008, 607 s. ISBN 978-802-3989-069.
- [9] VELHAGEN, Karl a Dieter BROSCHEMANN. *Tabulky k vyšetření barvocitu*. Překlad Jiří Cendelín. Praha: Aventinum, 1995, 15 s., [24] s. il. ISBN 80-852-7724-7.
- [10] LÜLLMANN-RAUCH, Renate. *Histologie*. 1. české vyd. Překlad Radomír Čihák. Praha: Grada, 2012, xx, 556 s. ISBN 978-802-4737-294.
- [11] SYKA, J., L. VOLDŘICH a F. VRABEC. *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*. 1. vyd. Praha: AVICENUM, 1981.
- [12] ŠANOVCOVÁ, Petra. *Barvocit, poruchy, profesní požadavky*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně, Lékařská fakulta, Optometrie.
- [13] Zraková dráha. [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Zrakovadraha.png>
- [14] Anomaloskop-Untersuchung. [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.augenhanuschik.de/Augen-Diagnostik/Augen-Diagnostik/anomaloskop.html>
- [15] Barevné pastelky. [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://4profil.cz/wp-content/bareve-pastelky.jpg>
- [16] The Farnsworth-Munsell 100-Hue-test for examination of Color Discrimination. [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: [http://qcqa.com/docs/doc2\\_2552.pdf](http://qcqa.com/docs/doc2_2552.pdf)
- [17] HYCL, Josef a Lucie TRYBUČKOVÁ. *Atlas oftalmologie*. 2. vyd. Praha: Triton, 2008, 239 s. ISBN 978-807-3871-604.
- [18] VIK, Michal a Martina VIKOVÁ. *Fyziologie vnímání barev* [prezentace]. Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/sk/document/view/30274823/4-mereni-barev/13>
- [19] Geometrická optika. [prezentace]. ČVUT. Dostupné z: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/kolorimetrie.pdf>
- [20] Anton, M.: Co je barva?. Česká oční optika, Praha : Společenstvo českých optiků a optometristů, 47, 1, od s. 28-30, 3 s. ISSN 1211-233X. 2006.

- [21] CIE Chromaticity Diagram. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://demonstrations.wolfram.com/CIEChromaticityDiagram/>
- [22] KRÁL, Mojmir a Tomáš FLÍDR. *Adobe Photoshop CS6*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 352 s. Průvodce (Grada). ISBN 978-80-247-4481-0.
- [23] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 6. přeprac. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2004, XII, 435 s. ISBN 80-247-0630-X.
- [24] Coblis — ColorBlindness Simulator. [online]. [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <http://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/>
- [25] UJBÁNYAI, Miroslav. *Programujeme pro Android*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2012, 187 s. Průvodce (Grada). ISBN 978-80-247-3995-3.
- [26] ALLEN, Grant. *Android 4: průvodce programováním mobilních aplikací*. 1. vyd. Překlad Jakub Mužík. Brno: ComputerPress, 2013, 656 s. ISBN 978-80-251-3782-6.
- [27] DANNHOFEROVÁ, Jana. *Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2012, 352 s. ISBN 978-80-251-3785-7.
- [28] Technická univerzita v Liberci. *Metamerie* [online]. [cit. 2015-01-13]. Dostupné z: [http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/include/osobni\\_stranky/vik.michal/papers/par98s.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/include/osobni_stranky/vik.michal/papers/par98s.pdf)
- [29] Metamerie. *AZ Reprodukce barev* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.reprodukce-barev.org/?menu=3&hlav=2>
- [30] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [31] DUKE-ELDER, Stewart. *System of ophthalmology*. London: Kimpton, 1968, v. ISBN 085113755211.
- [32] *Světlo a barva: (barevnost prostředí)*. Praha: Dům techniky [Praha], 1980, 173 s.
- [33] Anomaloskop. *Neuhann* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.neuhann.de/assets/Diagnostik/Anomaloskop.jpg>
- [34] SALEH, Bahaa E. 1995. *Základy fotoniky 3: fundamentals of photonics*. 1. vyd. Praha: Matfyzpress, xxii, 778 s. ISBN 80-858-6305-7.
- [35] SALEH, Bahaa E. 1994. *Základy fotoniky 1: fundamentals of photonics*. Vyd. 1. Praha: Matfyzpress, 228 s. ISBN 80-85863-01-41.
- [36] *Elektromagnetické spektrum* [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/docu/clanky/0058/005802o10.jpg>
- [37] TEPLÍČKA, Ivan a Petr PUDIVÍTR. 2008. *Fyzika*. Nitra: Enigma. ISBN 978-80-89132-67-6.
- [38] *Elektromagnetické pole* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [apfyz.upol.cz/ucebnice/down/elmag.pdf](http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/elmag.pdf)

## **11. Seznam příloh**

Příloha č. 1 – CD se zdrojovým kódem a samotnou aplikací