

**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Tomáš Kopřiva

**Vývoj experimentálních stanovišť pro novou koncepci  
tématu Optika v Interaktivní fyzikální laboratoři I**

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Petr Kácovský, Ph.D.

Studijní program: Učitelství fyziky pro střední školy

Studijní obor: Učitelství fyziky pro střední školy se sdruženým studiem

Učitelství matematiky pro střední školy

Praha 2022

Mé velké díky patří vedoucímu práce RNDr. Petru Kácovskému, Ph.D. za jeho rady, pomoc, podporu a trpělivost při tvorbě a psaní práce. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Marii Snětinové, Ph.D. za naše konzultace, díky kterým jsme získali mnoho námětů na zlepšení pracovních listů. Velice děkuji RNDr. Stanislavovi Gottwaldovi, který nám přivedl do Interaktivní fyzikální laboratoře nemalé množství studentů, na kterých jsme mohli pracovní listy otestovat.

Také bych chtěl poděkovat Bc. Lydii Cehákové za její asistenci a spolupráci při vývoji této práce a RNDr. Ireně Dvořákové, Ph.D. za její rady ohledně používaných pomůcek na stanovišti Složení oka.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 27. 4. 2022

Tomáš Kopřiva

Název práce: Vývoj experimentálních stanovišť pro novou koncepci tématu Optika v Interaktivní fyzikální laboratoři I

Autor: Tomáš Kopřiva

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Petr Kácovský Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: Hlavním cílem této diplomové práce je vytvořit pět experimentálních stanovišť a pracovních listů pro experimentální celek s názvem **Optika: kvalitativní pojetí** v Interaktivní fyzikální laboratoři – projektu Katedry didaktiky fyziky. V první kapitole je krátce popsána Interaktivní fyzikální laboratoř, to, jak v ní probíhá experimentování a jakou zpětnou vazbu dostáváme od žáků. Ve druhé kapitole se práce věnuje teoretickému podkladu, na kterém byla vystavěna stanoviště. Tento teoretický podklad se věnuje geometrické optice, lidskému oku, zraku a vybraným miskoncepším v oblasti optiky a zraku u žáků. Ve třetí kapitole je představen vývoj (včetně zpětné vazby od žáků) a finální podoba stanovišť a pracovních listů.

Klíčová slova: fyzikální experimenty, interaktivní fyzikální laboratoř, optika, střední škola

Title: Development of experimental sets for a new conception of Optics in the Interactive Physics Laboratory I

Author: Tomáš Kopřiva

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Petr Kácovský, Ph.D., Department of Physics Education

Abstract: The main goal of this thesis is to create five experimental units and worksheets for an experimental set called **Optics: Qualitative approach** in the Interactive Physics Laboratory – a project of the Department of Physics Education. The Interactive Physics Laboratory is shortly described in the first chapter, along with information about the course of experimenting in it and feedback we receive from attendees. The second chapter is focused on theoretical background about geometrical optics, the human eye, the sight and selected misconceptions about optics and sight. The experimental units were based on this theoretical background. The development (including feedback from students) of the experimental units and related worksheets as well as the final form of the experimental units and their worksheets can be found in the third chapter.

Keywords: physics experiments, Interactive Physics Laboratory, optics, high school

# Obsah

Úvod a struktura práce .....	3
1. Interaktivní fyzikální laboratoř .....	4
1.1. Technické informace o experimentování v IFL .....	4
1.2. Průběh experimentování v IFL .....	5
1.3. Zpětná vazba.....	5
2. Teoretický podklad pro experimentální celek Optika: kvalitativní pojetí .....	8
2.1. Geometrická optika .....	8
2.2. Lidské oko .....	12
2.3. Zrak .....	20
2.4. Vybrané žákovské prekoncepce a miskoncepce v oblasti optiky a zraku ...	28
3. Optika: kvalitativní pojetí .....	30
3.1. Vlnová optika .....	31
3.2. Geometrická optika .....	31
3.3. Spektrum .....	31
3.4. Barvy .....	32
3.5. Skládání barev .....	32
3.6. Barvy předmětů .....	34
3.7. Složení oka .....	35
3.8. Vidění okem .....	37
3.9. Vady ostrého vidění.....	37
3.10. Vady barevného vidění .....	39
3.11. Testování stanovišť .....	41
Závěr .....	48
Seznam použité literatury.....	49
Seznam tabulek .....	55
Seznam použitých zkratk.....	56

Přílohy .....	57
Příloha 1A: Pracovní list stanoviště Skládání barev .....	57
Příloha 2A: Pracovní list stanoviště Barvy předmětů .....	61
Příloha 3A: Pracovní list stanoviště Složení oka .....	65
Příloha 3B: Schéma lidského oka s popisky a vysvětlivkami.....	70
Příloha 4A: Pracovní list stanoviště Vady ostrého vidění.....	71
Příloha 5A: Pracovní list stanoviště Vady barevného vidění.....	78

## Úvod a struktura práce

Interaktivní fyzikální laboratoř poskytuje už přes 10 let středoškolským studentům možnost samostatně experimentovat, potvrzovat fyzikální zákonitosti a bádát. Pevně věřím, že právě tyto zkušenosti s laboratorní prací a zážitky z provádění pokusů pomohou překonat žakovský „strach ze vzorečků“ a odpor vůči fyzice jako vědnímu oboru i jako školnímu předmětu.

Cílem této práce se proto stalo vytvořit nový experimentální celek, který se přidá mezi nabízená témata a bude obsahovat pět stanovišť, na kterých budou žáci vedeni pracovními listy.

V první kapitole je představena Interaktivní fyzikální laboratoř, kde se může čtenář dozvědět informace o laboratoři samotné, o průběhu experimentování i o zpětné vazbě, kterou dostáváme.

Ve druhé kapitole jsou shrnuty teoretické poznatky, o které se experimentální celek **Optika: kvalitativní pojetí** opírá. Jsou zde popsány jednak základní principy geometrické optiky, informace o biologické a biofyzikální stránce lidského oka a zraku, ale i miskoncepce týkající se optiky a zraku.

Ve třetí kapitole je představen vývoj jednotlivých stanovišť a je zde ukázána i finální podoba experimentálního celku. Také zde lze nalézt zpětnou vazbu od žáků, kterou jsme dostali během pilotáže pracovních listů.

Autorské řešení pracovních listů je možné najít v přílohách.



# 1. Interaktivní fyzikální laboratoř

Interaktivní fyzikální laboratoř (IFL) je projekt Katedry didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Jeho cílem je pomoci žákům (primárně) středních škol lépe pochopit různé fyzikální jevy skrze předpovídání, experimentování a ověřování. Informace o IFL lze nalézt na webových stránkách [1].

## 1.1. Technické informace o experimentování v IFL

### 1.1.1. Základní informace

IFL se nachází v oddělení těžkých laboratoří budovy Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Troji.

Experimentování v IFL probíhá v bězích. Každý běh trvá 120 minut a má horní hranici šestnácti žáků (+ pedagogický dozor a asistenti pedagoga). V rámci jednoho dne se odehrají dva běhy stejného experimentálního celku začínající v 8:30 a 11:00.

Návštěva IFL je zdarma, učitelé se mohou přihlašovat na začátku každého pololetí na vyhlášené termíny a vybírají si témata sami (pokud nebyl už na daný den experimentální celek stanoven jiným přihlášeným učitelem).

### 1.1.2. Experimentální celky

IFL nabízí dohromady 10 experimentálních celků, každý celek (krom jednoho) se skládá ze 4 až 6 stanovišť. Tyto celky jsou **Elektrostatika**, **Kmitání a mechanika tuhého tělesa**, **Kvantování v mikrosvětě** (spíše pro zájemce o fyziku a seminaristy), **Magnetické pole solenoidu** (celek neprobíhá ve stanovištích, ale po časových blocích, ve kterých všechny skupinky provádějí stejné aktivity), **Rotující soustavy**, **Termodynamika I – kvantitativní pojetí**, **Termodynamika II – kvalitativní pojetí** a **Vrhy**.

K nim vznikly další dva nové celky **Optika: kvalitativní pojetí** (výsledek této diplomové práce) a **Optika: kvantitativní pojetí** (výsledek diplomové práce Bc. Lydie Cehákové), které nahradí aktuálně nenabízené téma **Optika**, které se nahrazuje z toho důvodu, že jsme chtěli rozšířit množství nabízených experimentů a zkoumaných jevů.

## 1.2. Průběh experimentování v IFL

### 1.2.1. Úvod

První věc, která se při běhu v IFL děje, je seznamovací „kolečko“. Při něm lektori i žáci usednou do kruhu, ve kterém jim jsou představeni lektori, IFL a ten experimentální celek, na který žáci přišli.

Následně se žáci sami rozdělí do několika skupin (dvojic až čtveřic) a usednou k jednomu jimi vybranému stanovišti.

### 1.2.2. Experimentování

Na každém stanovišti jsou připraveny pracovní listy, které žáky celým stanovištěm provádí.

V úvodní teoretické části pracovní listy žáky seznámí s teoretickým pozadím zkoumaných jevů. V pracovní části jsou žáci vybízeni předpovídat na základě svých znalostí výsledky experimentů, které na stanovištích budou provádět, a následně tyto předpovědi experimentálně ověřit. Sem si také mohou zaznamenávat zjištěné výsledky. V závěrečné části pracovních listů dojde ke shrnutí informací, které na stanovišti zjistili.

Po celou dobu běhu jsou pro studenty dostupní alespoň dva lektori, kteří zajišťují plynulý průběh experimentování, spravují nefunkční aparaturu, pomáhají žákům při nejasnostech a případně kladou rozvíjející otázky k tématu.

Každé stanoviště zabere žákům přibližně 20–40 minut. Po jeho dokončení lektor se žáky diskutuje výsledky experimentů, žáci se přesouvají na nové stanoviště a lektor připraví to dokončené pro další skupinu.

### 1.2.3. Závěr

Přibližně 10 minut před koncem běhu žáci s lektory opět utvoří kruh a každá skupina představí jedno stanoviště a jimi zjištěné výsledky z něj.

Před odchodem prosíme žáky o dotazník se zpětnou vazbou.

## 1.3. Zpětná vazba

Do IFL přijde ročně přibližně 1000 žáků [2]. Na základě zpětné vazby, kterou žáci poskytují na konci každého běhu, byly zjištěny statistiky popsané ve článku [3]. Zpětnou vazbu žáci poskytují tak, že vyplňují dotazník (upravený inventář vnitřní motivace), ve kterém se jich nejdříve ptáme na základní otázky o nich samotných

(věk, pohlaví, známka z fyziky, jejich zájem o fyziku, atd.) a poté přiřazují pravdivostní hodnotu 1 až 7 (kde 1 znamená „zcela pravdivý“ a 7 znamená „zcela nepravdivý“) různým tvrzením (např.: „Myslím si, že takovéto experimentování by mi mohlo pomoci při porozumění fyzikálním principům.“ nebo „Při experimentování jsem nebyl/a vůbec nervózní.“ [4]).

Dotazník měří následujících 5 škál: zájem/požitek (tato škála měří přímo vnitřní motivaci), vnímaná kompetence, píle/význam, pociťovaný tlak/pociťované napětí, hodnota/užitečnost (tyto čtyři škály slouží jako pozitivní/negativní prediktory vnitřní motivace, nebo vyjadřují jiné motivační aspekty přístupu žáků k vykonávané aktivitě) [3].

Na vzorku 303 středoškolských žáků věku 15 až 19 let bylo zjištěno, že na škále zájmu/požitku dosahuje experimentování v IFL hodnoty 5,54 ze 7 (kde 7 znamená nejsilnější prožitek), hodnota/užitečnost dosahuje hodnoty 5,58 ze 7 a pociťovaný tlak/pociťované napětí dosahuje hodnoty pouhých 2,45 ze 7.

Dá se tedy říci, že experimentování v IFL je pro žáky pozitivní činnost, která je baví. Otázkou nyní zůstává, jestli je pro žáky experimentování přínosné v porozumění fyzice.

Porozumění konceptům ve fyzice se věnoval výzkum popsán podrobněji v [3]. Při něm se skupina 46 žáků ve věku 16–17 let účastnila běhu nyní nenabízené **Optiky** (se stanovišti týkajícími se odrazu a lomu světla, totálnímu odrazu, interferenci a odrazu a polarizaci světla) na jaře roku 2017. Tuto skupinu lze rozdělit do dvou podskupin – první podskupina čítající 22 žáků prošla stanovišti týkajícími se geometrické optiky, druhá podskupina čítající 17 žáků prošla stanovišti týkajícími se vlnové optiky. Díky tomuto rozdělení bylo možné porovnat porozumění žáků jedné podskupiny se žáky druhé podskupiny a se žáky, kteří se tohoto běhu vůbec neúčastnili. Porozumění žáků bylo testováno tři týdny po návštěvě IFL. Žákům byl dán dotazník, ve kterém měli co nejpřesněji popsat následující koncepty:

1. fyzikální jevy, které se odehrávají v kapce vody, když vzniká duha
2. princip optického vlákna a průchodu světla optickým vláknem
3. co je pozorováno na stínítku při dvouštěrbinovém experimentu a proč se to děje
4. co se stane s lineárně polarizovaným světlem při průchodu opticky aktivním roztokem s různými koncentracemi roztoku

Ze získaných výsledků nebyly pozorovány rozdíly ve vysvětlení prvního konceptu mezi podskupinami ani žáky, kteří IFL nenavštívili. Žáci, kteří prošli stanovištěm týkajícím se totálního odrazu, byli daleko úspěšnější v popisu druhého konceptu (optického vlákna) než ostatní žáci. Třetí koncept (dvoušterbinový experiment) dopadl lépe u podskupiny, která prošla odpovídajícím stanovištěm v IFL. Vysvětlení posledního konceptu (optické aktivity) se setkala s problémem, že první podskupina, která prošla stanovištěm soustředícím se na geometrickou optiku, pravděpodobně zaměnila koncept opticky aktivního prostředí s konceptem prostředí s rovnoměrně se měnícím indexem lomu.

Z těchto dat i vlastních zkušeností z IFL se domnívám, že experimentování v IFL napomáhá žákům lépe pochopit a upevnit koncepty fyziky, nemůže však nahradit plnohodnotnou výuku ve škole.

## 2. Teoretický podklad pro experimentální celek Optika: kvalitativní pojetí

Jelikož má tato diplomová práce za cíl vytvořit experimentální celky z optiky, je vhodné zde představit teoretický fyzikální podklad pro pracovní listy. V první podkapitole si představíme základní prvky geometrické optiky a z nich vyplývající fyziku čoček a rozkladných hranolů. V druhé podkapitole se pak budeme zabývat lidským okem. Ve třetí podkapitole si představíme principy zraku a upozorníme na několik miskoncepcí, které jsou mezi žáky časté a inspirovaly vznik některých stanovišť.

### 2.1. Geometrická optika

Prof. RNDr. Petr Malý, DrSc. ve své učebnici [5] definuje optiku následovně: „Optika se zabývá světlem: jeho vznikem, šířením, detekcí a interakcí s látkami.“ V pracovních listech si postačíme s jednodušším modelem, než s jakým se běžně pracuje na univerzitách a jaký se běžně představuje v pozdějších etapách výuky optiky na středních školách. Tímto jednodušším modelem je geometrická optika, ve které pracujeme s paprsky světla [5], které můžeme podle [6] definovat jako úzké svazky záření. Paprsky budeme symbolizovat přímkami, polopřímkami nebo úsečkami.

V případě, že světlo dopadá na nějaké prostředí, budeme rozlišovat tři významné úhly, jejichž definice převezmeme z [6]. Těmito úhly jsou

- úhel dopadu, což je úhel mezi paprskem dopadajícího světla a kolmicí k rozhraní prostředí,
- úhel odrazu, což je úhel mezi paprskem odraženého světla a kolmicí k rozhraní prostředí,
- úhel lomu, což je úhel mezi paprskem světla, které prošlo do opticky odlišného prostředí, a kolmicí k rozhraní prostředí.

Užitečnou fyzikální veličinou nám bude index lomu  $n$ . Ten se podle [5] definuje jako podíl rychlosti světla ve vakuu  $c$  a rychlosti světla v daném prostředí  $v$ ;  $n = \frac{c}{v}$ . Rychlost světla v daném prostředí  $v$  závisí mimo jiné na frekvenci světla (tj. na barvě světla);  $v = v(\omega)$  [5].

V zápisu budeme dále používat následující indexy:

- Index  $i$  se vztahuje k přicházejícímu paprsku či jeho prostředí (z ang. incident),
- index  $r$  se vztahuje k odraženému paprsku či jeho prostředí (z ang. reflected),
- index  $t$  se vztahuje k prošlému paprsku či jeho prostředí (z ang. transmitted).

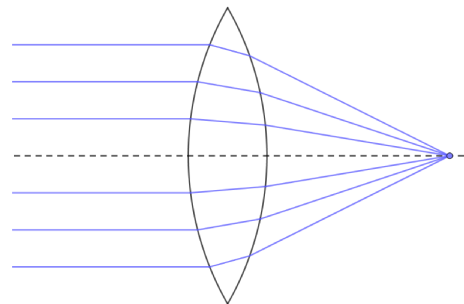
Podle [6] v geometrické optice využíváme předpokladu, že se světlo šíří po přímkách a řídí se zákonem odrazu (tj. úhel odrazu je roven úhlu dopadu) a Snellovým zákonem lomu (tj.  $n_i \sin \alpha = n_t \sin \beta$ , kde  $\alpha$  je úhel dopadu a  $\beta$  je úhel lomu).

Konkrétně Snellův zákon je z těchto podmínek zajímavý pro další pozorování. Dostáváme zde 3 možnosti pro indexy lomu:

1.  $n_i = n_t$   
V tomto případě dostáváme  $\sin \alpha = \sin \beta$ , světlo se tedy neláme a pokračuje dále v přímočarém pohybu.
2.  $n_i < n_t$   
V tomto případě musí platit, že  $\sin \alpha > \sin \beta$  (pokud jsou oba úhly nenulové, jinak by se jednalo o triviální případ  $0 = 0$ ) a z toho  $\alpha > \beta$ . Úhel dopadu je tedy větší než úhel lomu. V takovémto případě budeme říkat, že se světlo láme ke kolmici.
3.  $n_i > n_t$   
V tomto případě musí platit, že  $\sin \alpha < \sin \beta$  (pokud jsou oba úhly nenulové, jinak by se jednalo o triviální případ  $0 = 0$ ) a z toho  $\alpha < \beta$ . Úhel dopadu je tedy menší než úhel lomu. V takovémto případě budeme říkat, že se světlo láme od kolmice.

### 2.1.1. Čočky

Jedním optickým zařízením, které využívá lom světla, jsou čočky. Čočky jsou obecně zaoblené, vybroušené a vyleštěné předměty ze skla, plastu, či jiného průhledného materiálu [6] (pokud by čočka měla jednu stranu rovnou, pak můžeme tuto rovinu považovat za oblou plochu s nekonečným poloměrem křivosti). Středem křivosti těchto ploch pak spojuje optická osa (v případě nekonečného poloměru křivosti je optická osa kolmá na plochu



Obrázek 2.1: Paprsky procházející spojnou čočkou

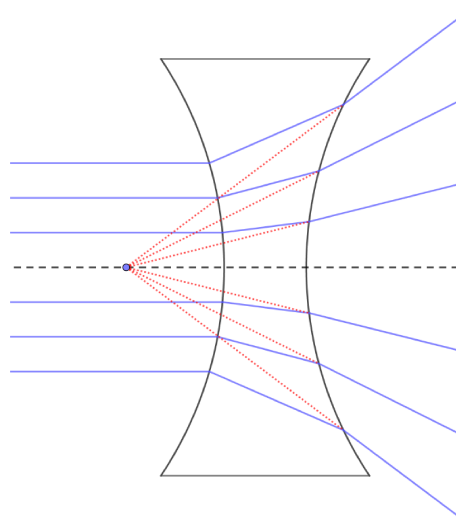
s nekonečným poloměrem křivosti) [6]. Ve středu mezi vrcholem čočky (tj. bod průniku čočky s optickou osou) a středem křivosti leží ohnisko čočky.

Čočky dělíme na dva typy – spojné a rozptylné – podle toho, co udělají se svazkem rovnoběžných paprsků.

Spojné čočky jsou konstruovány tak, že jsou nejširší u optické osy a nejužší u okraje. Svazek paprsků, které jsou rovnoběžné s optickou osou a dopadají na čočku v blízkosti optické osy (tzv. paraxiální paprsky), se láme do ohniska čočky.

Rozptylné čočky jsou konstruovány tak, že jsou nejužší u optické osy a nejširší u okraje.

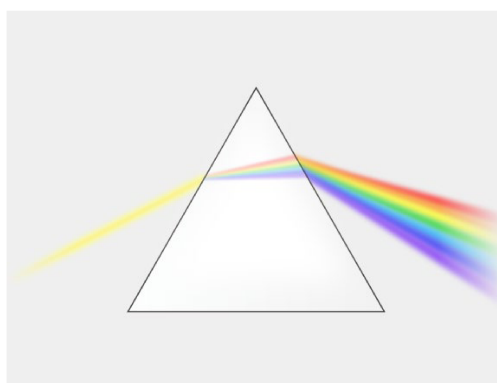
Paraxiální paprsky se lámou tak, že se prodloužené přímky paprsků protínají v ohnisku.



Obrázek 2.2: Paprsky procházející rozptylnou čočkou

### 2.1.2. Rozklad světla

Ze Snellova zákona lomu  $n_i \sin \alpha = n_t \sin \beta$  víme, že se světlo láme při průchodu do opticky odlišného prostředí a víme také, že indexy lomu závisí na frekvenci světla. Optický hranol je optický přístroj ze skla, či jiného průhledného materiálu, typicky tvaru pravidelného trojbokého hranolu [6], který dokáže právě na tomto principu rozložit světlo na jednotlivé vlnové délky.



Obrázek 2.3: Bílé světlo (na obrázku značené žlutou barvou) přichází do optického hranolu, kde dochází k rozštěpení barev a následně ven z hranolu vychází každá vlnová délka pod jiným úhlem, převzato z [7]

### 2.1.3. Barvy předmětů

Barva předmětu je komplikovaný koncept, se kterým se pojí mnoho miskoncepcí (více v podkapitole 2.4). Například [8] se pokouší vysvětlit barvu předmětu tak, že „The ‘colour’ of an object is the wavelengths of light that it reflects.“ („‘barva‘ předmětu jsou vlnové délky světla, které odráží,“ přeloženo z angličtiny). Zdroj [9] vysvětluje, že „Objects don't have a color, they give off light that appears to be a color“ („objekty nemají barvu, vydávají světlo, které se jeví být barvou,“ přeloženo z angličtiny).

Podle [10] je pro studenty srozumitelné a přijatelné vysvětlení, které říká, že „The kind of light we perceive from an object depends on two main conditions: firstly, on the kind of light we illuminate the object with (=quality of illuminant) and secondly, the kind of light the object sends off again (=emission characteristics of body). Each body is characterised by the different colours it is able to (re-)emit.“ („Druh světla, které vnímáme z objektu, závisí na dvou hlavních podmínkách: jednak na druhu světla, kterým předmět osvětlujeme (=vlastnost zdroje světla), a jednak na druhu světla, které objekt opět vysílá (=emisní charakteristika tělesa). Každé těleso je charakterizováno různými barvami, které je schopno (re-)emitovat.“ přeloženo z angličtiny).



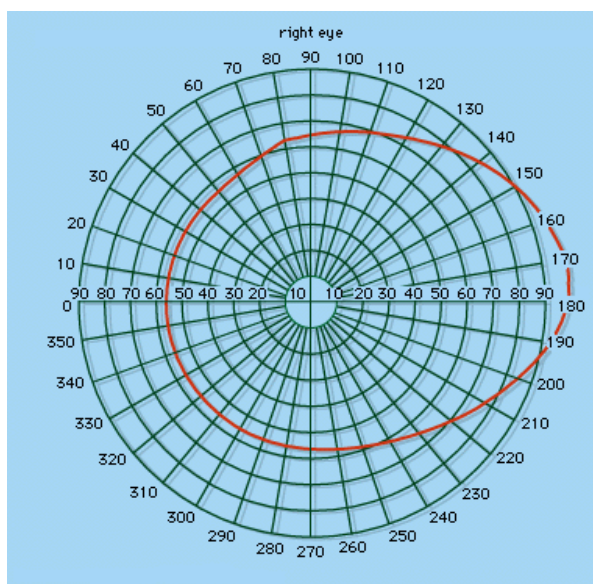
## 2.2. Lidské oko

Všechny pracovní listy se do určité míry opírají o lidské oko, jeho funkci, způsob jeho fungování, nebo jeho části. V této kapitole si ho představíme blíže. Dominantní většina této kapitoly byla sepsána na základě zdrojů [11], [12], [13] a [14].

Lidské oko je párový orgán nacházející se v přední části hlavy. Každé oko je zasazené do dutiny v lebce, které se říká očníce.

Funkcí oka je smysl zrak. Když světlo přijde z vnějšku k oku, projde skrze něj a absorbuje se na vnitřní stěně oka, která následně vyšle do mozku nervový signál, který mozek vyhodnotí.

Oko je schopné přijímat světelné signály přicházející pod úhly až 60° od nasální strany (kvůli stínění nosem) a více než 90° na vnější straně.



Obrázek 2.4.: Rozsah vidění pravého oka ve stupních od osy oka, převzato z [11]

### 2.1.1. Popis vnějších částí oka

#### Očníce

Každé oko je zasazené do dutiny v lebce jménem očníce, která je vystlaná tukem. Očníce je tvořena čtyřmi kostmi, které dohromady tvoří hranol. Spodní oporu tvoří část horní čelisti (*maxilla*), kost lící (*os zygomaticum*) a patrová kost (*os palatinum*). Strop očníce tvoří kost čelní (*os frontale*) a kost klínová (*os sphenoidale*).

Vrchol tohoto hranolu je blíže k nasální straně a je dutinou, které se říká optický kanál (*canalis opticus*). Prochází tudy zrakový nerv (*nervus opticus*) a oční tepna. Další ještě větší dutinou jménem *fissura orbitalis superior* se do očnice dostávají další cévy a nervy, které nesou nezrakové informace (např. bolest či pohyb svalů). Stěny obsahují i další štěrbinu, kterými vedou další nervy a cévy.

### Oční svalstvo

Na oko je napojeno šest okohybných příčně pruhovaných svalů, které umožňují pohyb oka. Jména a funkce těchto svalů popisuje tabulka 2.1.

Český název	Latinský název	Funkce
Horní přímý sval	<i>Musculus rectus superior</i>	Otáčení oka vertikálně vzhůru
Dolní přímý sval	<i>Musculus rectus inferior</i>	Otáčení oka vertikálně dolu
Vnitřní přímý sval	<i>Musculus rectus medialis</i>	Otáčení oka horizontálně k nosu
Zevní přímý sval	<i>Musculus rectus lateralis</i>	Otáčení oka horizontálně od nosu
Horní šikmý sval	<i>Musculus obliquus superior</i>	Rotuje oko kolem jeho osy směrem k nosu
Dolní šikmý sval	<i>Musculus obliquus inferior</i>	Rotuje oko kolem jeho osy směrem od nosu

Tabulka 2.1: Okohybné svaly a jejich funkce

Pohyb vyvolaný těmito svaly můžeme rozdělit do čtyř typů. První typ pohybu jsou sakadické pohyby (také sakády). Sakadické pohyby jsou rychlé trhavé pohyby okem, kterými běžně střídáme pozorované objekty. Během sakád je zrak potlačen, takže vidíme pouze původní a konečný obraz. Tyto pohyby sleduje oční kamera a vyhodnocuje tak bod pozorování [15]. Sakadické pohyby se dějí i při pohledu na jeden bod a zajišťují tak, že je zrakový vjem vždy „čerstvý“, neboť objekty v zorném poli přestanou stimulovat mozek a zůstanou nevnímané, dokud nedojde k jejich pohybu nebo k pohybu oka. K tomuto dochází proto, aby mozek nebyl přehlcován informacemi.

Další typ pohybu jsou vestibulookulomotorické reflexy, ke kterým dochází při otáčení hlavou. Oči se přitom pohybují opačným směrem, aby se vždy alespoň chvíli soustředily na jeden objekt a poté sakadickým pohybem přeskočí na další.

Třetí typ pohybu jsou pomalé klouzavé pohyby, při kterých se každé oko jemně odchýlí od sledovaného objektu a rychlé trhavé pohyby následně navrátí oko zpět do původní polohy.

Hladký sledovací pohyb je jediný vědomý pohyb, který je plynulý. Pokud oko pozoruje pohybující se předmět, je na něj schopno udržovat pozornost, aniž by došlo k trhavému sakadickému pohybu.

Šikmé svaly mají jednu zajímavou roli v tom, že pokud dojde k rotaci hlavy (například položení hlavy na rameno), šikmé svaly rotují očima tak, aby vertikální směr byl stále vertikální i přes rotaci hlavy.

### **Oční víčka**

Část oka, která vyčnívá mimo očnici, je chráněna očním víčkem před vnějšími vlivy, jako jsou cizí tělíska, a před vysušováním oka.

Oční víčka jsou zavřena kontrakcí svalu *musculus orbicularis oculi* a otevřena kontrakcí svalu *levator palpebrae superioris*.

U novorozeňat je znatelný epikantus, což je kožní záhyb, který překrývá oční víčko a chrání oko před prachem. Tento epikantus vymizí s vyvinutím nosního kořene (*radix nasi*). U určitých populací (např. Američtí původní obyvatelé, mongoloidní rasa, Inuité, atd.) nebo specifických syndromů (jako je Turnerův nebo Downův syndrom) epikantus přetrvává i do dospělosti a stáří.

### **Bělima**

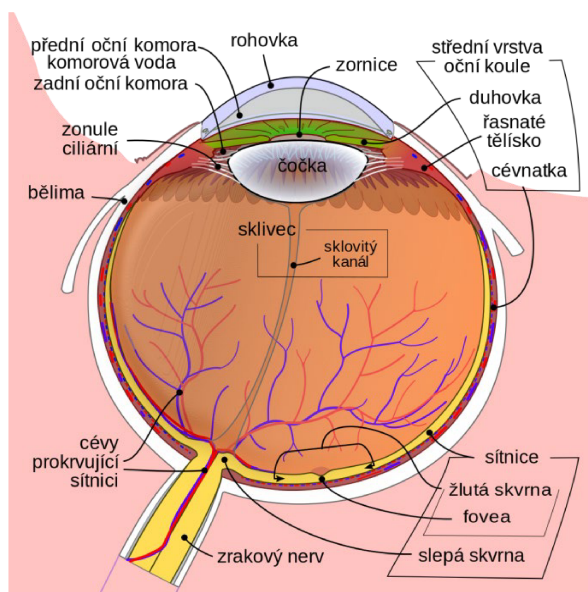
Vnější vrstva oka se nazývá bělima (*sclera*). U člověka je celá bílá, avšak u novorozeňat může být tak tenká, že se jeví být namodralou, a u starších lidí se může jevit být žlutá kvůli tukové vrstvičce, která se na ní vytvoří. Její role je chránit oko před vnějšími vlivy a pojí se na ni okohybné svaly.

### **Rohovka**

Pokud dopadne světlo na oko, projde nejdříve skrze rohovku. Rohovka je více zakřivená část oka v jeho přední části. Je zcela průhledná a neobsahuje žádné cévy, proto musí být vyživována komorovou vodou. Optická mohutnost rohovky se uvádí jako přibližně 43 dioptrií a činí tak asi dvě třetiny optické mohutnosti celého oka [16]. Index lomu rohovky se uvádí na 1,377.

## 2.2.1. Popis vnitřních částí oka

Vnitřní části oka budeme popisovat od předních po zadní.



Obrázek 2.5: Složení pravého oka a popis jeho jednotlivých částí, převzato ze [17]

### Přední oční komora

Jakmile světlo projde rohovkou, dostane se do přední oční komory. Ta je zcela vyplněná komorovou vodou o indexu lomu 1,336. Komorová voda vyživuje rohovku a čočku a udržuje nitrooční tlak.

### Duhovka a zornice

Aby světlo mohlo pokračovat hlouběji do oka, musí projít zornicí (*pupila*), což je otvor v duhovce (*iris*). Duhovka je neprůhledná tkáň, u člověka nejčastěji zbarvená do hněda (asi 45% populace), modra (asi 27% populace), lisky (asi 18% populace), nebo zelena (asi 9% populace) [18]. Výjimečná mutace jménem heterochromie způsobí u člověka různé zbarvení každé duhovky.

Duhovka obsahuje dva hladké svaly – *musculus dilatator pupillae*, který radiálně pokrývá duhovku a jeho sympatickou inervací dojde k rozšíření zornice (neboli ke stažení duhovky). Protichůdným

V pracovním listu **Složení oka** v **Úkolu 1: Ověření funkce zornice** zkoumají žáci funkci duhovky.

svalem je *musculus constrictor pupillae*, který pokrývá duhovku cirkulárně a jeho parasympatickou inervací dojde k zúžení zornice (neboli roztažení duhovky). Tato

reakce je reflexem a tudíž ovlivňuje obě duhovky současně, i když je jen jedno oko vystaveno intenzivnímu světlu.

Velikost zornice nezůstává při stálém osvětlení stejná, protože dochází k mírné oscilaci poloměru zornice, které se říká *hippus*. Při změně pozorovaného objektu na blízký objekt dojde k zúžení zornice, pravděpodobně pro snížení aberace optické soustavy oka a zostření obrazu.

*Synechia* je fyziologická vada, při které duhovka přilne k čočce (*posterior synechia*) nebo rohovce (*anterior synechia*). Pokud přilne k čočce, znemožní se tak komorové vodě přetékat ze zadní oční komory do přední oční komory a zvýší se nitrooční tlak. Pokud přilne duhovka k rohovce, znemožní se komorové vodě vytékat ven a také se zvýší nitrooční tlak.

### **Zadní oční komora**

Jakmile projde světlo skrze zornici, dostane se do zadní oční komory, která je taktéž vyplněná komorovou vodou.

### **Čočka**

Dále se světlo dostává do čočky, která je tvořená podlouhlými buňkami. Ty jsou opět vyživovány komorovou vodou, jsou téměř zcela průhledné, takže světlo čočkou může projít, a obalené kolagenovou vrstvou, která udržuje čočku ve svém tvaru a vrací ji do něj při jeho změně. Index lomu čočky je 1,42 a její optická mohutnost tvoří třetinu optické mohutnosti oka (asi 18 dioptrií). Tvar této čočky je dvojvypuklý, čočka je tedy spojná. Není však symetrická, jelikož její vnější stěna je plošší než její vnitřní stěna.

### **Řasnaté tělísko a ciliární svaly**

Čočka je upevněna řasnatým tělískem (též Zinnova zonula), což jsou asi mikrometrové buňky tvořené fibrilinem – pojivou bílkovinou. Řasnaté tělísko je také zodpovědné za tvorbu komorové vody, jejíž primární role je výživa oka a udržení nitroočního tlaku. Řasnaté tělísko je napojené na hladké ciliární svaly (klasifikované jako hladké svalstvo, nicméně mají vlastnosti všech tří typů svalstev [19]).

V pracovním listu **Složení oka** v **Úkolu 2: Ověření funkce ciliárních svalů** zkoumají žáci vliv čočky a ciliárních svalů na zrak.

Ciliární svaly mají tkáň ve třech tvarech – radiální, podélné a kruhové. Podíl těchto tří tkání se mění s věkem (radiální se zvětšuje, podélné zmenšuje a kruhové mírně roste) [19]. Pokud jsou ciliární svaly inervovány, dojde ke stlačení čočky a tím se zvýší její optická mohutnost. Opačně při uvolnění ciliárních svalů dojde k napnutí čočky vlivem kolagenového obalu, čímž se její optická mohutnost sníží. Tomuto procesu se říká akomodace. Při akomodaci dochází ke změně tvaru hlavně vnější stěny čočky.

Rychlost akomodace se mění s věkem. U mladších lidí je rychlejší akomodace z blízka na dálku, u starších obráceně. Důvod tohoto je ten, že s věkem ztrácí čočka elasticitu a řasnaté tělísko a ciliární svaly podstupují degeneraci [20]. Navracení do původního tvaru je tak pomalejší.

Meze, před které a za které nejsou schopny ciliární svaly zaostřit čočku, se nazývají blízký bod (*punctum proximum*) a daleký bod (*punctum remotum*). Optický rozsah mezi blízkým a dalekým bodem se nazývá akomodační rozsah.

Blízký bod je u desetiletých dětí asi 7 cm vzdálený od oka, což odpovídá akomodačnímu rozsahu 15 D. S věkem se tento bod vzdaluje, u dvacetiletých lidí je tento bod asi 10 cm od oka (akomodační rozsah 10 D), u čtyřicetiletých lidí je vzdálený asi 16 cm od oka a u šedesátiletých asi metr. V asi sedmdesáti letech ztrácí čočka elasticitu a rozsah akomodace je 0 D. Daleký bod je v nekonečnu.

### **Sklivec**

Za čočkou pokračuje světlo skrze sklivec, což je převážně vodnatá rosolovitá tekutina vyplňující většinu prostoru oka. V případě ztráty se neregeneruje a nahrazuje se komorovou vodou. Hlavní funkcí sklivce je udržení nitroočního tlaku a tím pádem hladké vnitřní stěny oka. Při stárnutí dochází ke změně tekutosti sklivce, což vede ke shlukování bílkovin uvnitř něj [21]. Tyto bílkovinné shluky se nazývají *floaters*. Pokud by jejich množství příliš narostlo, může dojít ke zhoršené schopnosti vidět a musí být chirurgicky vysáty.

### **Sítnice**

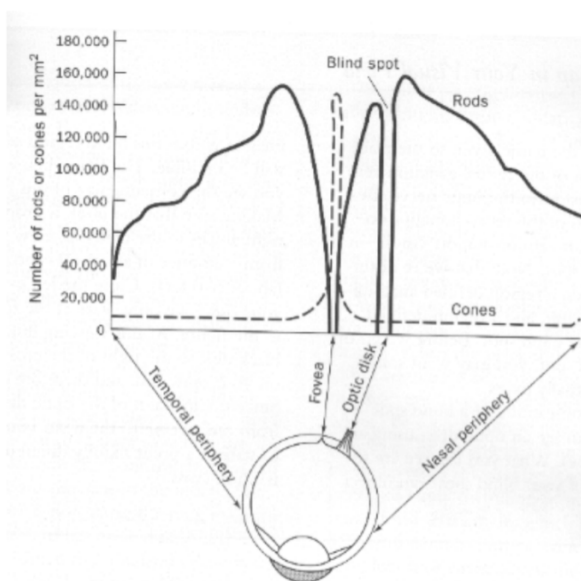
Vnitřní vrstva stěny oka se nazývá sítnice (*retina*). Pohledem mikroskopem lze sítnici rozdělit do 9 vrstev,

V pracovním listu **Složení oka** v **Úkolu 3: Hledání částí sítnice** zkoumají žáci části sítnice.

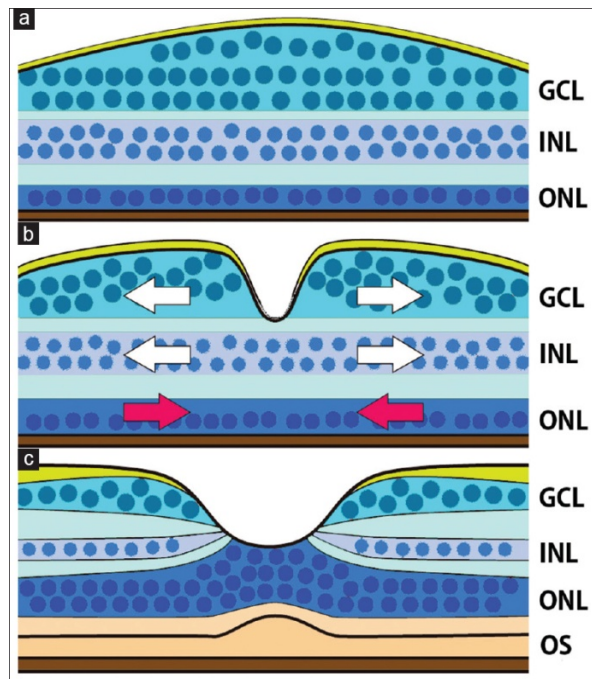
nicméně pro nás budou hlavní tři sdružení těchto vrstev (řazené podle toho, jak jimi prochází světlo): vrstva gangliových buněk, vrstva bipolárních buněk a vrstva světločivných buněk (tyčinek a čípků). Bipolární buňky spojují světločivné buňky s gangliovými buňkami.

Gangliové buňky přenáší informace k optickému nervu a přes něj do mozku. Nervových buněk se na sítnici vyskytuje asi milion, takže každá buňka dostává kumulativně informace od mnoha světločivných buněk (na každou nervovou buňku připadá přibližně 5 světločivných buněk v oblasti žluté skvrny, či tisíce světločivných buněk v oblasti periférií sítnice). Zároveň se vlivem intenzivního světla nebo tmy mění schopnost nervových buněk sbírat signály ze světločivných buněk (ve tmě schopnost roste) a to má za následek krátkodobou světloplachost při náhlém intenzivním světle po dlouhé expozici tmě.

Dvě mimořádná místa na sítnici jsou slepá skvrna (*punctum caecum*) a žlutá skvrna (*fovea*). Slepá skvrna je místo, kde se oční nerv napojuje na nervovou soustavu sítnice. V tomto místě se nenachází světločivné buňky a mozek si vyplňuje chybějící informace o světle, které na toto místo dopadá. Žlutá skvrna je místo, kam dopadá světlo z bodu, na který se díváme. Na tomto místě je extrémně vysoká koncentrace čípků a naopak velmi malá koncentrace tyčinek a vyšších vrstev (nervových buněk, viz obrázek 2.6 a 2.7).



Obrázek 2.6: Přibližná koncentrace čípků a tyčinek na sítnici, převzato z [22]



Obrázek 2.7: Proces vzniku fovea centralis, neboli prohlubně žluté skvrny: bipolární a gangliové buňky se rozestoupí a naopak dojde ke zvýšení koncentrace světločivných buněk, převzato z [23]

Pokud je čočka zaostřena na bod, všechny světelné paprsky z něj vycházející a čočkou procházející se spojí v jednom bodě na sítnici. Toto světlo je pak absorbováno tyčinkami a čípkami, které následně vyšlou informaci do mozku, nebo vrstvou pigmentu, která se nachází pod světločivnými buňkami a má za úkol zajistit, že se světlo neodrazí od vnitřní stěny oka do světločivných buněk.

### Tyčinky

Tyčinky jsou tenké buňky přibližně 50  $\mu\text{m}$  dlouhé a na sítnici se jich vyskytuje přibližně 120 milionů. Dělíme je na vnější segment a vnitřní segment. Vnější segment obsahuje opsin – na světlo reagující bílkovinu. Vnitřní část funguje jako propojení vnějšího segmentu s optickým nervem.

### Čípky

Čípky jsou světločivné buňky o něco širší než tyčinky, asi poloviční délky a na sítnici se jich vyskytuje asi 8 milionů [22]. Dělí se na dvě části – vnější segment a vnitřní segment. Vnější segment obsahuje opsin, který je citlivý na určitou vlnovou délku dopadajícího světla. Vnitřní segment slouží jako spojení vnějšího segmentu a optického nervu. Čípky dělíme na tři druhy podle toho, jaký opsin obsahují (LWS



opsin v L-čípkách, MWS opsin v M-čípkách a SWS opsin v S-čípkách). Zastoupení těchto čípků se liší mezi jedinci.

### **Cévnatka**

Prostřední vrstva oka (mezi sítnicí a bělimou) je cévnatka (*choroidea*). Její rolí je vyživovat oko.

## **2.3. Zrak**

### **2.3.1. Zrakový vjem a barevné vidění**

Zrakový vjem je způsoben, pokud je světelný foton absorbován na tyčince nebo čípku. Ty obsahují na světlo reagující bílkovinu ze skupiny opsinů. Opsinu v tyčinkách se říká rodopsin, opsinům v čípkách se říká fotopsiny.

#### **Vidění tyčinkami**

Rodopsin absorbuje nejvíce světlo o vlnové délce asi 500 nm. Při absorpci se rodopsin rozkládá na retinal a skotopsin. Tato reakce vybudí nervový impuls, který je optickým nervem poslán do mozku. Retinal a skotopsin následně za podpory vitamínu A přecházejí zpátky na rodopsin. Pokud je tyčinka vystavena příliš intenzivnímu světlu, retinal se změní na retinol, který na rodopsin přechází velmi pomalu a tím pádem je vidění omezené. Zrak je proto tyčinkami zprostředkovávaný primárně za šera. Pokud by jedinec neměl dostatek vitamínu A, dojde k přeměně retinalu a skotopsinu na rodopsin pomaleji, což může mít za následek zhoršený zrak za šera až šeroslepost.

#### **Vidění čípkky**

Čípkky obsahují 3 (případně 4, více níže) různé fotopsiny, u kterých reakce probíhá obdobně jako u tyčinek, nicméně nedochází k přeměně na retinol a tím pádem není vidění za jasného světla omezeno. LWS (*long wave sensitive*) opsin je nejvíce citlivý na světlo vlnové délky asi 563 nm, MWS (*medium wave sensitive*) opsin je nejvíce citlivý na světlo vlnové délky asi 534 nm a SWS (*short wave sensitive*) opsin je nejvíce citlivý na světlo vlnové délky asi 420 nm [24].

Fotopsiny jsou kódovány geny OPN1SW na 7. chromozomu [25], OPN1MW a OPN1LW na chromozomu X [26], [27]. Vlivem rekombinací chromozomu X nejspíše došlo k oběma následně popisovaným mutacím [28].

Jedna mutace způsobila, že opsin MWS přešel v opsin LWS a díky tomu se u člověka vyvinulo trichromatické vidění. U některých primátů tato mutace není natolik dominantní jako u člověka a trichromaty jsou tak převážně samice, zatímco samci jsou převážně dichromati.

Druhá změna změnila gen OPN1MW1 na OPN1MW2. Jelikož se tyto geny vyskytují po jednom na chromozomu X, jsou muži neovlivněni, nicméně asi 12% žen má oba geny, což způsobuje, že některé M-čípky obsahují MWS opsin odlišný od výše popsaného a jsou tak tetrachromaty.

### **2.3.2. Rozlišovací schopnosti oka**

#### ***Rozlišení jednolitého prostředí od pruhovaného***

Ostrost oka se definuje jako převrácená hodnota úhlu v úhlových minutách, pod kterým musíme sledovat periodický povrch, aby se jevil jako jednolitý (tj. např. převrácená hodnota úhlu, pod kterým se bude černobíle proužkovaný papír jevit jako jednolitý šedý). Ostrost oka závisí na světelných podmínkách. Při dobrém osvětlení je ostrost oka až 2 (tj. oko je schopné rozlišit proužky, kde každý proužek zaujímá 30 úhlových sekund, což odpovídá proužku o šířce asi 0,15 mm ve vzdálenosti 1 m), zatímco při horších světelných podmínkách dosahuje hodnoty až 0,04 (tj. oko je schopné rozlišit proužky, kde každý proužek zaujímá 25 úhlových minut, což odpovídá proužku o šířce asi 7,3 mm ve vzdálenosti 1 m).

#### ***Rozlišení intenzit světla***

Citlivost tyčinek je relativně vysoká. Bylo experimentálně zjištěno, že nervová buňka musí přijmout informaci o světle od 11 tyčinek (tj. 11 fotonů musí být absorbováno na tyčinkách připojených k jedné nervové buňce), aby se vyvolal zrakový vjem světla. Díky tomuto propojení více tyčinek je dosažena vyšší citlivost na slabé světelné impulzy, nicméně je snížena rozlišovací schopnost oka.

#### ***Rozlišení vlnové délky světla***

Rozsah vlnových délek, které čípky jsou schopny detekovat, je asi 1050 nm – 350 nm, nicméně vlnové délky pod asi 400 nm a nad asi 760 nm jsou absorbovány před dopadem na sítnici (rohovkou, komorovou vodou, čočkou nebo sklivcem). Schopnost rozlišit dvě barvy od sebe (tj. schopnost rozpoznat rozdíl vlnových délek světla pocházející ze dvou zdrojů) se liší napříč spektrem. Pro světla barev zelenomodré a žluté je oko schopné rozeznat rozdíl dvou barev lišících se o 1 nm,

zatímco v okrajích spektra (červená a fialová) je oko schopné rozeznat rozdíl dvou barev lišících se o asi 10 nm.

### **Rozlišení frekvence blikání**

Podle světelných podmínek se rozlišuje kritická frekvence blikajícího světla, u které se blikající světlo zdá být spojitě zářícím zdrojem. Při vysoké úrovni intenzity okolního světla je potřeba až 60 záblesků za vteřinu, aby se zdroj jevil být spojitě svítícím. Při menší intenzitě okolního světla stačí 4 záblesky za vteřinu.

### **2.3.3. Vady zraku**

Se zrakem se pojí i vady, které způsobují zhoršenou schopnost vidění. Tyto vady zde rozdělíme do čtyř kategorií.

#### **Refrakční vady**

Člověk postižený refrakční vadou má problém zaostřit na předmět oběma očima.

Příčinou těchto vad je nejčastěji odlišná axiální délka oka, neobvyklý tvar rohovky, jiný optická mohutnost rohovky, čočky nebo sklivce nebo věk [19], se kterým dochází k mírnému posunu čočky do přední části oka [19] (vlivem změny velikosti radiální, podélné a kruhové tkáně ciliárních svalů) a ztrátě její elasticity.

Mezi refrakční vady patří krátkozrakost (*myopie*), při které se paprsky protínají před sítnicí pro daleké předměty a obraz tak není ostrý. Krátkozrakost se

V pracovním listu **Vady** ostrého vidění žáci zkoumají dalekozrakost a krátkozrakost.

nejčastěji koriguje rozptylnými čočkami. Stupeň krátkozrakosti se určuje podle optické mohutnosti korigující čočky na lehkou krátkozrakost (*myopia simplex*), která je od -0,5 D do -3 D, druhý stupeň je střední krátkozrakost (*myopia modica*) mezi -3 D a -5 D, nebo -6 D [29] (záleží na zdroji), a třetí stupeň je těžká krátkozrakost (*myopia gravis*). Střední krátkozrakost postihuje přibližně 2–2,5 miliardy lidí, těžká krátkozrakost asi 250 milionů lidí, čelí se tak největší epidemii krátkozrakosti, kterou lidstvo zažilo [29].

Opakem je dalekozrakost (*hypermetropie*), při které se paprsky protínají za sítnicí a obraz tak není ostrý pro blízké předměty. Postižení jedinci často trpí (bez korigujících čoček) bolestmi hlavy a únavou z nadměrného namáhání ciliárních

svalů. Dalekozrakost se nejčastěji koriguje spojnými čočkami. Stupeň dalekozrakosti se určuje podle optické mohutnosti korigující čočky na lehkou dalekozrakost (*hypermetropia levis*), která je do +2 D, druhý stupeň je střední dalekozrakost (*hypermetropia modica*) mezi +2 D a +6 D a třetí stupeň je těžká dalekozrakost (*hypermetropia gravis*) nad +6 D [30]. Podle [31] je lehká dalekozrakost přirozeným stavem člověka. Problémy spojené s dalekozrakostí lidé nevnímají pravděpodobně proto, že ciliární svaly jsou schopné mírnou dalekozrakost kompenzovat.

Astigmatismus je refrakční vada, kdy se paprsky horizontální a vertikální neprotínají v jednom bodě, ale v různých bodech. Tato vada je způsobená tvarem rohovky nebo čočky, takže se koriguje laserovou operací rohovky, nebo výměnou čočky.

Do refrakčních vad patří i mnoho dalších, které už nebudeme dále zmiňovat.

Speciální místo zde drží tupozrakost (*amblyopie*), která je způsobená tím, že mozek začne zrakový vjem z jednoho oka potlačovat, nebo zcela ignorovat. Vlivem toho není oko schopné správně zaostřit a tato vada se koriguje individuálně.

Studie z 60. let 20. století spojovaly refrakční vady s genetikou [32], protože se u dvojčat často vyvinuly stejné vady. Studie z roku 1969 [32] na Aljašských Inuitech však spojení s genetikou vyvrátily. V uzavřené komunitě 131 dospělých, ze kterých byly pouze 2 lidé krátkozrací, mělo přes polovinu dětí a vnoučat krátkozrakost. Takováto změna je pro genetické procesy až příliš rychlá.

V 90. letech 20. století převažoval nový názor na původ refrakčních vad [32]. V průběhu prvních několika let vývoje dítěte dochází k prodlužování axiální délky oka [33], během kterého jsou děti převážně krátkozraké. Zmíněný názor tvrdil, že prodlužování axiální délky oka přestává později, protože je pro děti přirozenější dívat se na kratší vzdálenosti. Krátkozraké oko je tak lépe adaptováno na život takového jedince, protože se méně namáhají ciliární svaly.

Další nové studie, podle kterých Světová zdravotnická organizace vydala zprávu [29], ukázaly silnou vazbu mezi krátkozrakostí u dětí a časem stráveným venku (dětí, které trávily více času venku, nebývaly krátkozraké).

Nejnovější studie (např. [32], [34] a [35]) ukazují, že intenzita světla je podstatná pro správný vývoj oka. Prodlužování axiální délky oka je zastavováno dopaminem, který

se uvolňuje v případě, že na sítnici dopadá světlo. Děti, které trávily více času venku, byly více vystavovány intenzivnímu světlu a byly proto méně často krátkozraké. Děti, které naopak nebyly vystavovány intenzivnímu světlu (často doma četly, trávily čas na počítači, mobilním zařízení či televizi, hrály si doma, atd.), byly daleko častěji krátkozraké, protože nedocházelo k zastavení prodlužování axiální délky oka.

### **Vady barevného vidění**

Zde rozlišujeme poruchu barvocitu, kdy je postižený jedinec schopný rozlišovat barvy za správných světelných podmínek, a barvoslepost, kdy postižený jedinec nerozezná určité barvy za libovolných podmínek [36].

Barvoslepost se pojí s recesivním pohlavním genem X. Postižení tak jsou převážně muži, kterým stačí jeden postižený pohlavní gen X. Aby se u žen projevila barvoslepost, musí mít postižené oba pohlavní geny X.

Barvoslepost můžeme rozdělit na 7 typů podle toho, které čípkové receptory jsou zasaženy. Podle toho, jestli je postižen čípek typu L, M nebo S se rozlišuje prot-, deuter- respektive trit-. Podle toho, co je „špatně“ s čípkem, rozlišujeme -anomálii, při které je čípek citlivý na jinou vlnovou délku, než by měl, a -anopii, při které čípek naprosto chybí (např. protanopie je vada, kdy jedinec postrádá L-čípkové receptory, deuteranomálie je vada, při které je M-čípek citlivý na jiný odstín zelenožluté, atd.). Posledním typem je achromatopsie, při které jedinec nerozeznává žádné barvy a vidí černobíle.

V pracovním listu **Vady barevného vidění** žáci zkoumají typy barvosleposti.

### **Vady průhlednosti oka**

Sem patří například šedý zákal (katarakta), který se nejčastěji projevuje u novorozenců a starších lidí a neschopnost vidět na jedno oko (či obě) pak způsobuje tupozrakost, proto byl zaveden celoplošný screening v porodnicích. U postiženého jedince je čočka zakalena do šeda vlivem chemické změny bílkovin čočky (ke které dojde kvůli onemocnění, užívání určitých léků, apod.), což znemožňuje světlu projít skrze ni, nebo průchod světla omezuje. Katarakta může být způsobena genetickou vadou či virovou, parazitární, či jinou infekcí v prenatálním období. Dále může být způsobena příliš intenzivním zářením ultrafialového světla [37].

Další poruchou průhlednosti je zelený zákal (glaukom). Jeho příčinou je zvýšený nitrooční tlak (a další faktory), které následně způsobí poruchy nervů na sítnici.

### *Ostatní vady*

Čtvrtou kategorií jsou ostatní vady, jako například nádory, poruchy nervového centra na mozku, poruchy nervového spojení oka a mozku, absence oka, atd.

## **2.3.4. Další procesy v těle spojené se zrakem**

### *Cirkadiánní rytmus*

Lidské tělo operuje na cyklu, kterému se říká cirkadiánní rytmus. Tento rytmus ovlivňuje tělesnou teplotu, sekreci hormonů, krevní tlak, atd. Jeden z hormonů, který je cirkadiánním rytmem řízen, je melatonin, který hraje hlavní roli v cyklu spánku-bdělosti [38].

Ukazuje se, že modré světlo (vlnové délky mezi 459 a 485 nm) má velký vliv na tvorbu (přesněji řečeno inhibici tvorby) melatoninu. Studie na zvířatech a lidech ukázaly, že svit těchto vlnových délek nejvíce oddálil REM spánek a u bdělých povzbudil aktivitu [38].

Dnešní displeje u počítačů, mobilů, televizí, atd. používají pixelovou síť, která svítí mimo jiné i modrou barvou. Pozorování těchto displejů před spánkem může ovlivnit rychlost nástupu REM spánku a tak i kvalitu spánku. Toto negativum do určité míry řeší noční režim displejů, které snižuje intenzitu modré barvy.

V pracovním listu **Skládání barev** žáci zkoumají efekt nočního režimu displeje počítače.

### *Energetický výdej [38]*

Zrak se považuje za nejdůležitější zdroj informací o okolním světě. Některé zdroje uvádějí, že až 80 % informací vnímáme zrakem.

Tyto informace jsou zpracovány v mozku v zadní části, která se nazývá zrakový kortex. Mozek sám o sobě spotřebovává asi 20 % kyslíku a asi čtvrtinu glukózy, které tělo přijme, a zrakový kortex je ze všech částí mozku jedním z nejvíce náročných na energetické zásobování. Pokud není dostatečně dobře zásobován, dojde dočasně ke zhoršení zraku či jeho ztrátě.

Další tkáň, která je náročná na zásobu kyslíku, je sítnice. Sítnicová tkáň spotřebuje nejvíce kyslíku z celého těla. Zároveň se ukazuje, že vyžaduje více kyslík než glukózu a spotřeba energie ve tmě je vyšší než za světla.

### **Purkyňův jev**

Jelikož jsou tyčinky nejcitlivější na světlo vlnové délky 500 nm, pokud dojde ke snížení intenzity světla (např. soumrakem) a tyčinky přestanou být přesycené, objekty, jejichž barvy odpovídají vlnové délce blízké 500 nm, se budou zdát být jasnější než objekty, jejichž barvy odpovídají vlnovým délkám vzdálenějším od 500 nm (např. červené květy se začnou zdát být tmavší až černé dříve než modré květy).

### **2.3.5. Skládání barev**

Čípky na sítnici jsou schopny reagovat na světlo různých vlnových délek s maximální citlivostí na světla vlnových délek asi 563 nm, 534 nm nebo 420 nm (podle druhu čípku), nicméně žádný čípek není schopný rozlišit, jakou vlnovou délku měl ten foton, který reakci vyvolal. Čípky různých druhů ale nejsou napojeny na jedinou nervovou buňku a mozek je díky tomu schopný rozlišovat celou škálu různých vlnových délek a to tak, že rozlišuje intenzitu signálů pocházející z L-čípků, M-čípků a S-čípků v dané oblasti sítnice. Lidský zrak proto není schopný rozlišit například žluté monochromatické světlo od složeného zeleného a červeného světla, protože dochází k excitaci všech tří druhů čípků v obou případech stejně.

Rozlišujeme dva způsoby skládání barev – aditivní a subtraktivní. Aditivní skládání barev se uplatňuje při skládání světla z různých zdrojů světla.

Z důvodů popsaných v minulém odstavci

rozlišujeme u aditivního skládání barev tři základní barvy, jimiž svítí zdroje světla [39]. Těmito barvami jsou červená, zelená a modrá (anglicky red, green a blue, první písmena těchto tří názvů barev dohromady tvoří zkratku RGB, která se často vyskytuje v souvislosti s aditivním skládáním barev). Různé výrobky používají různé vlnové délky pro červenou, zelenou a modrou barvu (např. monitor Dell™ 3007WFP-HC používá podle [40] diody s maximy přibližně 450 nm, 521 nm a 653 nm, zatímco televize LG OLED TV používá podle stejného zdroje diody s maximy přibližně 456 nm, 544 nm a 617 nm).

V pracovním listu **Skládání barev** žáci zkoumají aditivní a subtraktivní skládání barev.

Subtraktivní skládání barev se uplatňuje při zbarvování předmětů, které samy nejsou zdrojem světla, ale světlo pouze odrážejí. Ze stejných důvodů jako u aditivního skládání barev rozlišujeme u subtraktivního skládání barev tři základní barvy, jimiž předměty obarvujeme. Těmito barvami jsou azurová, purpurová a žlutá (anglicky cyan, magenta a yellow), které jsou doplňkovými barvami k základním barvám aditivního skládání. U subtraktivního skládání barev v tisku se k těmto třem základním barvám subtraktivního skládání barev přidává ještě černá barva, protože míchání všech tří základních barev subtraktivního skládání barev je neekonomické.



## 2.4. Vybrané žákovské prekoncepce a miskoncepce v oblasti optiky a zraku

Vzhledem k tomu, že zrak je smysl, kterým člověk přijímá obrovské množství informací o světě a využívá ho vědomě téměř neustále při bdění, není divu, že si už malé děti vytvářejí spoustu prekonceptů o zraku, světlu a optice. A vzhledem k tomu, že si tyto prekoncepce utvářejí bez „odborného dohledu“, spousta z nich je chybná. V této podkapitole si uvedeme přehled některých z nich a ukážeme si, jakým způsobem se miskoncepce pokoušíme odstranit.

### 2.4.1. Vidění předmětů

Jednou z prvotních miskonceptů, které si děti utvářejí, je obdoba Empedoklovy emisní teorie. Podle [41] děti uvažují, že předměty kolem sebe vidí, protože z jejich očí jdou jakési paprsky na zmíněné předměty, že světlo přichází nejdříve do oka a poté z oka na předmět, že předmět musí být osvětlen zdrojem, aby mohl být viděn (ale z předmětu do oka už žádné paprsky nejdu), nebo že světlo musí dopadat na předmět i na oko, ale mezi předmětem a okem již není další pojivý paprsek.

Těmto miskonceptům se v pracovních listech nevěnujeme přímo, ale ve všech teoretických úvodech zmiňujeme, že vidíme díky tomu, že světlo přicházející z pozorovaného objektu dopadá na sítnici oka.

### 2.4.2. Barva světla a předmětů

Pravděpodobně nejčastějšími zdroji světla jsou pro člověka takové zdroje, které svítí bílou barvou, nebo bílou barvou s převažující složkou nějaké barvy (např. červené, červenooranžové, modré, atd.), jako jsou Slunce, zářivky, žárovky, apod. Kvůli tomu se nestává často, že by člověk pozoroval předmět ve světle, které není (alespoň z nezanedbatelné části) bílé.

Autoři [41] zjišťují, že si žáci vytváří miskoncepce o barvě předmětu, jako například, že barva předmětu je jeho vlastnost a světlo nám pouze pomáhá objekt vidět. Další miskoncepti zmiňuje [42] – žáci mívají myšlenku, že pozorovaná barva předmětu je mix barvy světla zdroje a „barvy předmětu“. S tím dále může souviset miskoncepce, že černé předměty neodrážejí žádné světlo (dokonale černé předměty by opravdu žádné světlo neodrážely, ale v běžném životě se s takovými nesetkáváme) [41]. Další miskoncepti [42] bývá usmyslení, že barevné světlo je „tmavší“ a tím pádem ztmaví

pozorovaný objekt, že barevné světlo určuje barvu předmětu, nebo dokonce že barevné světlo neovlivní pozorovanou barvu předmětu vůbec.

Tyto miskoncepce se snažíme v pracovním listu **Barvy předmětů** eliminovat. Celé stanoviště se věnuje pozorování barevných předmětů v různě barevném světle v jinak temném prostředí, takže žáci pozorují, jak se mění pozorovaná barva předmětu s barvou zdroje světla.

Skládání barev je další zdroj miskonceptů. Vzhledem k tomu, že se žáci se skládáním barev setkají nejspíš nejvíce při malování a kreslení (vodovými barvami, temperami, pastelkami, fixy, atd.), vytvoří si miskoncept toho, že všechno skládání barev je subtraktivní skládání barev (a tím pádem aditivním složením základních barev – červené, zelené a modré – vznikne hnědá, případně černá barva [41]). Další miskoncept v této oblasti je efekt barevných filtrů. Žáci mají pocit, že barevné filtry „přidávají“ barvu do jinak bílého světla, nebo že „obarvují“ bílé světlo [41].

Tyto miskoncepce se snažíme vyvrátit v pracovním listu **Skládání barev**, ve kterém se žáci podrobně seznamují s aditivním i subtraktivním skládáním barev a snaží se identifikovat rozdíly mezi nimi. Dále pracují se spektroskopem, kterým rozkládají bílé světlo na jeho barevné složky.

Poslední oblastí miskonceptů, kterou se zde budeme zabývat, jsou miskoncepce týkající se bílého světla. Podle [10] si žáci s pojmem „bílé světlo“ spojují bezbarvé, průhledné nebo dokonce žluté světlo a pouze 15% žáků bylo schopno správně určit, co to je bílé světlo.

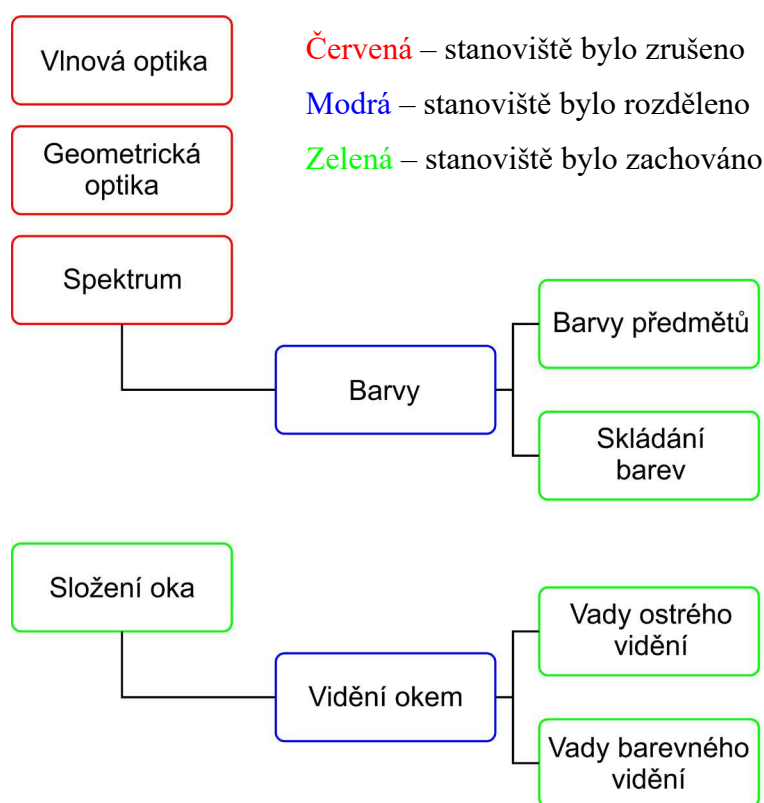
V pracovním listu **Skládání barev** se snažíme fyzikální definici bílého světla představit žákům na experimentech, na kterých si aditivně složí bílou barvu ze základních barev a poté ji rozloží spektroskopem.

### 3. Optika: kvalitativní pojetí

Cílem této práce je vytvořit čtyři až pět stanovišť pro běh do IFL s názvem Optika: kvalitativní pojetí. Úkoly, které žáci na těchto stanovištích plní, jsou koncipovány kvalitativním badatelským způsobem a měly by dělat stanoviště pro žáky zajímavá a přiblížit jim vybrané části středoškolské optiky.

Všechna aktuální stanoviště jsou založená na fyzikálním a biofyzikálním teoretickém podkladu, který je uveden ve druhé kapitole.

Během vývoje stanovišť došlo k mnoha změnám, které vyplývaly hlavně z odborných posudků vedoucího práce RNDr. Petra Kácovského, Ph.D. a konzultantky RNDr. Marie Snětinové, Ph.D., spolupráce s řešitelkou sesterské práce Bc. Lydií Cehákovou a zpětné vazby, kterou nám poskytovali žáci při několika testovacích bězích. Díky těmto činitelům došlo k tomu, že některá stanoviště byla rozdělena, nebo zrušena. Tento „rodokmen stanovišť“ popisuje obrázek 3.1.



Obrázek 3.1: „Rodokmen“ stanovišť popisující, která stanoviště zanikla, která se rozdělila či oddělila a která aktuálně tvoří běh v IFL Optika: kvalitativní pojetí.

### 3.1. Vlnová optika

Stanoviště s pracovním názvem **Vlnová optika** si bralo za úkol přiblížit žákům několik konceptů vlnové optiky. Žáci by zde zkoumali interferenci světla jednak pomocí proužků Moiré, dále pomocí webového appletu a nakonec i laserem.

Svá zjištění o interferenci světla by pak porovnali s difrakcí světla.

Poslední koncept vlnové optiky, kterému by se zde žáci věnovali, byla lineární polarizace světla. Žáci by pomocí polarizačních filtrů zkoumali vlastnosti polarizovaného a částečně polarizovaného světla. Na toto by pak navázala fotoelasticimetrie a zkoumání mechanického napětí v platových předmětech.

Toto stanoviště bylo zrušeno ze dvou důvodů – jednak jsme v průběhu vývoje tohoto stanoviště s Bc. Lydií Cehákovou došli k závěru, že dochází ke značnému překrytí našich prací v právě tomto stanovišti, jednak se téma vlnové optiky nehodilo k ostatním stanovištím, které nakonec tvoří běh **Optika: kvalitativní pojetí** (větší soustředění na lidské oko a zrak a méně na geometrickou a vlnovou optiku).

### 3.2. Geometrická optika

Další stanoviště se mělo věnovat geometrické optice. V ní by se žáci zabývali tím, po jaké křivce se šíří světlo, zákonem odrazu a lomu včetně pozorování intenzity prošlého a odraženého světla a na závěr by si vyrobili prostředí, ve kterém se odehrává Fata Morgana.

Stanoviště nakonec nebylo realizováno ze stejného důvodu jako u předchozího stanoviště – pracovní listy se obsahem až příliš kryly s prací Bc. Lydie Cehákové a téma geometrické optiky nesedělo k ostatním tématům, která tvoří běh **Optika: kvalitativní pojetí**.

### 3.3. Spektrum

Na stanoviště s pracovním názvem **Spektrum** měli žáci nejprve zkoumat skládání barev viditelného světla a následně se přesunout ke spektrálním čarám různých prvků. Na závěr by se „podívali“ i na neviditelnou část elektromagnetického spektra provedením Herschelova experimentu.

Z tohoto stanoviště se velice brzy odtrhla část věnovaná skládání barev a stala se samostatným stanovištěm. V průběhu několika měsíců se jasněji vyrýsoval směr, kterým se bude běh **Optika: kvalitativní pojetí** ubírat a zbytek stanoviště **Spektrum** se svojí podstatou velice lišil od tohoto směru. Bylo tedy rozhodnuto, že se stanoviště neuskuteční.

### 3.4. Barvy

První stanoviště, které vzniklo z „odřezku“ předchozího, bylo stanoviště **Barvy**. Zde se žáci měli seznámit s aditivním i subtraktivním skládáním barev. Následně přišlo bádání, jak ovlivňuje barva světla barvu předmětu, na který svítí. Tyto úkoly jsou popsány podrobněji v podkapitolách 3.5 a 3.6.

Při testování se však ukázalo, že stanoviště **Barvy** je časově až příliš náročné, a tak došlo k jeho rozštěpení na dvě kratší stanoviště – **Skládání barev** a **Barvy předmětů**.

### 3.5. Skládání barev

#### 3.5.1. Vývoj stanoviště

Stanoviště **Skládání barev** vzniklo rozštěpením stanoviště **Barvy**. V něm žáci nejprve zkoumali aditivní skládání barev pomocí tří LED RGB žárovek. Každá z nich byla nastavena na jinou základní barvu (červená, zelená a modrá) a žáci svítili různými kombinacemi těchto barev na bílou stěnu. Dále se zamýšleli, k čemu by se aditivní skládání barev dalo využít a kde se už využívá.

Další bádání spočívalo ve zkoumání subtraktivního skládání barev USB mikroskopem – žáci pozorovali tištěné obrazy. Dále se zamýšleli nad všemi rozdíly v těchto dvou způsobech skládání barev.

Poslední, čemu se na tomto stanovišti žáci věnovali, byl noční režim displejů. Žáci USB mikroskopem pozorovali pixely obrazovky a porovnávali rozdíly mezi intenzitou jednotlivých subpixelů při běžném režimu a při nočním režimu.

Po prvním testování (ještě před rozštěpením stanoviště **Barvy**) se k aditivnímu skládání světla přidal krok, při kterém žáci pozorovali LED RGB žárovku pomocí spektroskopu a nechali barvy žárovky plynule měnit. Tato změna pomohla žákům při dalším úkolu (nyní stanovišti **Barvy předmětů**, více v kapitole 3.6). Při testování se

ukázalo, že jediný problém stanoviště **Barvy** je jeho časová náročnost a došlo k jeho štěpení.

Po druhém testování se potvrdila hypotéza, že stanoviště **Skládání barev** bude bezproblémové i po jeho osamostatnění. Pro lepší přehlednost se zkoumání nočního režimu displejů oddělilo od aditivního a subtraktivního skládání barev do samostatného úkolu.

Po třetím a finálním testování došlo pouze ke změnám v úvodním teoretickém textu, kde se přešlo od popisování funkce čípků pomocí grafu ke slovnímu popisu. Dále se upravily pokyny tak, aby mohli žáci na stanovišti pracovat s USB mikroskopem, aniž by jim musel pomáhat lektor.

### **3.5.2. Finální podoba stanoviště**

Finální podoba stanoviště **Skládání barev** (příloha 1A) obsahuje dva úkoly. Pomůcky, se kterými žáci na stanovišti pracují, jsou tři lampy s LED RGB žárovkami, na kterých je možné pomocí dálkového ovládání měnit barvu, kterou svítí, spektroskopy (v našem provedení používáme „okénka“ vytištěná na 3D tiskárně s mřížkovou fólií) a USB mikroskop připojený k notebooku.

První úkol začíná teoretickým textem, který popisuje funkci čípků na sítnici. Dále žáci zkoumají aditivní skládání barev na LED RGB žárovkách. Z tohoto vyvozují pravidla aditivního skládání barev. Poté přes spektroskop pozorují plynulé změny barev na LED RGB žárovkách a vyvozují z toho pravidla pro rozkládání barev. Dále pomocí USB mikroskopu pozorují subtraktivní skládání barev tvořících tištěný text (obrázku převzatého z [44]) a aditivní skládání barev vytvářených displeji a formulují rozdíly mezi nimi.

Ve druhém úkolu žáci pozorují USB mikroskopem změny, které způsobí zapnutí nočního režimu displeje.

V závěru pracovního listu žáci shrnují své poznatky o bílém světle, aditivním a subtraktivním skládání barev a nočním režimu displejů.

## 3.6. Barvy předmětů

### 3.6.1. Vývoj stanoviště

Stanoviště **Barvy předmětů** je druhým ze stanovišť, které vzniklo rozštěpením stanoviště **Barvy**. Žáci zde nejprve zkoumali v zatemněné komoře, jakou barvu mají 4 různě barevné balónky, když na ně budou svítit různě barevným světlem. Z tohoto se žáci pokoušeli vysvětlit, proč se barva balónků měnila tak, jak ji pozorovali se měnit. Na závěr se žáci pokoušeli vyvodit barvu každého balónku v bílém světle.

Po prvním testování (ještě před rozštěpením stanoviště **Barvy**) se zaměnilo pořadí kroků – žáci nejprve pozorovali barvy balónků v různě barevném světle, poté pozorovali barvu balónků v bílém světle a na závěr se pokoušeli vysvětlit, proč se barvy balónků měnily. K tomuto došlo z toho důvodu, že si většina skupin rozsvítila na přemýšlení bílé světlo, čímž ztratil poslední krok smysl. Zároveň žákům znalost barvy balónků v bílém světle pomohla rozhodnout, proč balónky měnily barvy tak, jak pozorovali.

Při rozdělování stanoviště **Barvy** jsme se domnívali, že stanoviště **Barvy předmětů** bude bezproblémové i po rozdělení. Při druhém testování se však ukázalo, že žákům zásadně chyběly znalosti o skládání a rozkládání světla a stanoviště nebyli schopni dokončit bez velké asistence lektora. Z tohoto důvodu byl na začátek pracovního listu přidán úkol, ve kterém si žáci rychle vyzkouší skládání a rozkládání barev.

Abychom si potvrdili, že je problém v pracovních listech a ne náhodně vzorku žáků, jsme nechali stanoviště **Barvy předmětů** víceméně nepozměněné do třetího testování. Při něm se potvrdilo, že pracovní listy musí být na začátku obohaceny o rychlokurz skládání a rozkládání barev.

### 3.6.2. Finální podoba stanoviště

Finální podoba stanoviště **Barvy předmětů** (příloha 2A) obsahuje jeden přípravný úkol a jeden úkol týkající se barev předmětů. Pomůcky, se kterými žáci na stanovišti pracují, jsou tři lampy s LED RGB žárovkami, na kterých je možné pomocí dálkového ovládání měnit barvu, kterou svítí, spektroskopy (v našem provedení používáme „okénka“ vytištěná na 3D tiskárně s mřížkovou fólií) a čtyři různě barevné balónky.

Přípravný úkol je velmi podobný prvnímu úkolu u stanoviště **Skládání barev**. Začíná teoretickým textem, který popisuje funkci čípků na sítnici. Dále žáci zkoumají aditivní skládání barev na LED RGB žárovkách. Z tohoto vyvozují pravidla aditivního skládání barev. Poté přes spektroskop pozorují plynulé změny barev na LED RGB žárovkách a vyvozují z toho pravidla pro rozkládání barev.

Ve druhém úkolu žáci zatemní komoru, ve které stanoviště probíhá, a vyndají z krabice čtyři balónky, u kterých pozorují, jak se mění jejich pozorovaná barva v různě barevném světle. Následně se pokusí určit pozorovanou barvu balónek v bílém světle a svůj odhad si ověří. Na konci stanoviště formulují zákonitosti, které popisují, jakou barvu vidíme při pohledu na předmět.

V závěru pracovního listu žáci shrnují své poznatky o barvách předmětů.

## 3.7. Složení oka

### 3.7.1. Vývoj stanoviště

Stanoviště **Složení oka** je jediné stanoviště, které se změnilo velice málo od své původní podoby. Žáci se zde měli seznámit s funkcí duhovky tak, že se dívali do zrcátka a svítli si na oko světlem, což zapříčinilo rozšíření duhovky. Dále žáci zkoumali roli ciliárních svalů a čočky tak, že se pokoušeli soustředit na předměty, na které neměli zaostřené oči. Poslední část oka, které se na tomto stanovišti žáci věnovali, byla sítnice. Pomocí triku s malou štěrbínou v černé čtvrtce (blíže popsany v [43]) si žáci zviditelnili nervovou a vlásečnicovou strukturu na sítnici.

V původní verzi pracovních listů se u konce vyskytoval ještě úkol týkající se vad ostrého vidění, nicméně z tohoto úkolu vzniklo velmi brzy samostatné stanoviště (kapitola 3.8).

Po prvním testování se ukázalo, že část úkolů je pro žáky nesplnitelná. Došlo tedy ke zpřesnění formulací úkolů tak, aby měli žáci co nejmenší prostor pro chybnou interpretaci zadání. Zároveň byly nějaké úkoly obohaceny o obrázky, které žákům měly napomoci lépe pochopit, co se po nich chce.

Po druhém testování se ukázalo, že problém není v zadání pracovních listů, ale v pomůcce, které žáci používají – konkrétně se jednalo o papírek s otvorem, který



byl příliš široký. Díky asistenci RNDr. Ireny Dvořákové, Ph.D. se nám podařilo tento problém identifikovat a vyrobit funkční variantu.

Po třetím testování se potvrdila hypotéza o vadné pomůcce a žáci procházeli celým stanovištěm bez jakýchkoliv problémů.

### 3.7.2. Finální podoba stanoviště

Finální podoba stanoviště **Složení oka** (příloha 3A) obsahuje čtyři úkoly. Pomůcky, se kterými žáci na stanovišti pracují, jsou zrcátko, malá (asi 4 cm x 4 cm) černá čtvrtka s otvorem po špendlíku, text psaný dostatečně velkým písmem (v našem provedení používáme výňatek s Romea a Julie psaný písmem velikosti 18), papír A4 se symbolem tečky v první čtvrtině a křížku ve třetí čtvrtině papíru, propiska a schéma lidského oka s popisky a vysvětlivkami jednotlivých částí oka (příloha 3B, převzato ze [17], upraveno).

První úkol začíná pokynem, aby si žáci přečetli informace o zornici a duhovce. Následně udělají odhad, jestli bude duhovka při intenzivním světle zúžená, nebo rozšířená. Tento odhad poté ověří experimentem. Dále si přiloží papírek s otvorem k oku a druhé oko přerušovaně zakrývají. Zde pozorují, že rozšiřování a zúžení duhovky vede ke změně zorného pole, což běžně nevnímáme.

Ve druhém úkolu se žáci pokouší přečíst text, na který nemají zaostřeno. Z toho vyvozují roli ciliárních svalů a čočky v lidském zraku. Poté se pokusí zdůvodnit, jestli je čočka stlačena nebo natahována při zaostření na blízký předmět.

Ve třetím úkolu si žáci nejprve potvrdí existenci slepé skvrny pomocí papíru s tečkou a křížkem. Poté se dívají skrze otvor ve čtvrtce na jasnou plochu a čtvrtkou jemně kmitají, čímž si zviditelní nervovou a vlásečnicovou strukturu na sítnici (viz [43]).

V posledním čtvrtém úkolu si žáci přiloží čtvrtku s otvorem blízko k oku a mezi oko a otvor vsunou hrot propisky. Tímto si dokážou, že obraz, který dopadá na sítnici, je převrácený a lidská čočka je spojná čočka.

V závěru pracovního listu žáci shrnují své poznatky o roli duhovky, ciliárních svalů a čočky v lidském vidění a poznatky o slepé skvrně.

## 3.8. Vidění okem

Ze stanoviště **Složení oka** se odloučil poslední úkol věnující se vadám vidění, z čehož vzniklo samostatné stanoviště **Vidění okem**. Zde měli žáci zkoumat, jak vzniká obraz na sítnici u zdravého oka, jak je tento obraz odlišný u krátkozrakého a dalekozrakého oka, jak se tyto vady korigují a jak vidí člověk s barvoslepostí deuteranomálií. Už v této fázi bylo ale jasné, že toto stanoviště bude příliš časově náročné a tak se rozdělilo na stanoviště **Vady ostrého vidění** (kapitola 3.9) a **Vady barevného vidění** (kapitola 3.10).

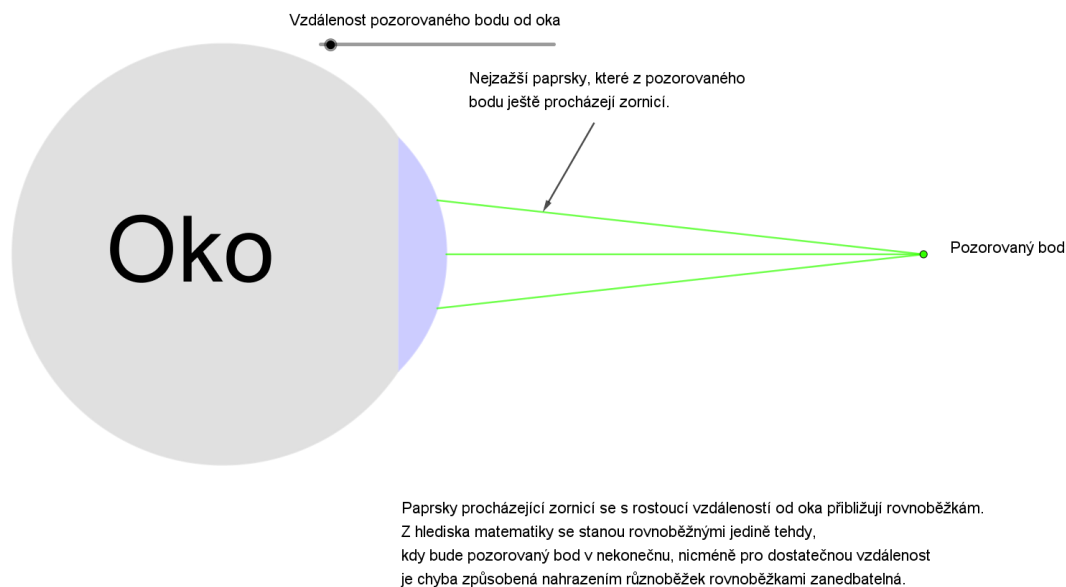
## 3.9. Vady ostrého vidění

### 3.9.1. Vývoj stanoviště

Stanoviště **Vady ostrého vidění** vzniklo rozštěpením stanoviště **Vidění okem**. Žáci zde nejprve odhadli a poté lasery na schématu ověřili, jak se u zdravého člověk spojují na sítnici paprsky, když přicházejí z dalekého a blízkého předmětu. Dále pak zjišťovali u čočky, která simulovala krátkozraké oko, jak se spojují paprsky od dalekého a blízkého předmětu. Jelikož se paprsky z blízkého předmětu spojily na sítnici tak, jako u zdravého člověka, vyvodili žáci, že se jedná o krátkozrakost. Podobně pak postupovali u čočky, která simulovala dalekozrakost.

Později bylo rozhodnuto, že žáci budou dopředu vědět o názvu vady oka a že budou u obou vad zjišťovat i to, jakou čočkou se vada koriguje.

Po konzultaci s vedoucím projektu a konzultantkou bylo rozhodnuto, že je vhodné žákům, kteří to potřebují, dát možnost si ověřit, že na paprsky přicházející z dalekého předmětu můžeme nahlížet jako na rovnoběžné paprsky. Vznikl tedy applet, který je vidět na obrázku 3.2.



*Obrázek 3.2: Applet, který ukazuje, že paprsky přicházející z blízkého předmětu jsou rozbíhavé a paprsky přicházející z dalekého předmětu se blíží rovnoběžným.*

Po prvním testování se ukázalo, že žáci mají na stanovišti problém s pečlivým čtením textu – až příliš často se stávalo, že žáci přehlédli pokyn týkající se výměny nějaké čočky a nedocházeli pak ke správnému závěru. Tento problém byl odstraněn tak, že všechny pokyny týkající se výměny čočky byly napsány tučně a barevně odlišeny. Jiné problémy jsme nepozorovali a stanoviště jsme se proto rozhodli dále netestovat.

### 3.9.2. Finální podoba stanoviště

Finální podoba stanoviště **Vady ostrého vidění** (příloha 4A) obsahuje 4 úkoly. Pomůcky, se kterými žáci na stanovišti pracují, jsou čtyři schémata oka (každé schéma se využívá v jednom z úkolů, více ke schématům je popsáno níže v popisech jednotlivých úkolů, schémata byla převzata z [45], upravena), laserová krabička, která svítí třemi rovnoběžnými laserovými paprsky a sada pěti čoček, které představují celou optickou soustavu oka.

V teoretické části je žákům představen princip ostrého vidění oka a vady, které mohou ostré vidění narušit.

V prvním úkolu žáci nejprve odhadnou, jak budou procházet paprsky z dalekého a blízkého předmětu zdravým okem. Tento odhad následně ověří na schématu Z, které symbolizuje zdravé oko. Paprsky přicházející z blízkého předmětu musí být

rozbíhavé, což zajišťujeme vhodně umístěnou čočkou. Že můžeme s paprsky, které přicházejí z dalekého předmětu, pracovat jako s rovnoběžnými paprsky ukazujeme v appletu (viz obrázek 3.2).

Ve druhém úkolu si žáci na schématu K přiblíží princip vady krátkozrakosti. Zjišťují, že oko vidí dobře na blízko, ale ne na dálku. Vadu se následně pokusí korigovat vhodnou čočkou. Na konci úkolu je žákům řečeno, jak častá je tato vada a čím je způsobena.

Ve třetím úkolu žáci pracují na schématu D, které symbolizuje dalekozraké oko. Podobně jako v předchozím úkolu žáci nejprve pozorují, že oko vidí ostře na dálku, ale ne na blízko. Vadu se následně pokusí korigovat vhodnou čočkou. Na konci úkolu je žákům řečeno, jak častá je tato vada.

Ve čtvrtém úkolu používají žáci schéma N s neznámou vadou. Žáci mají určit, o jakou vadu se jedná na základě svých znalostí z předchozích úkolů, a tuto vadu korigovat.

V závěru pracovního listu žáci shrnují své poznatky o krátkozrakosti a dalekozrakosti.

## 3.10. Vady barevného vidění

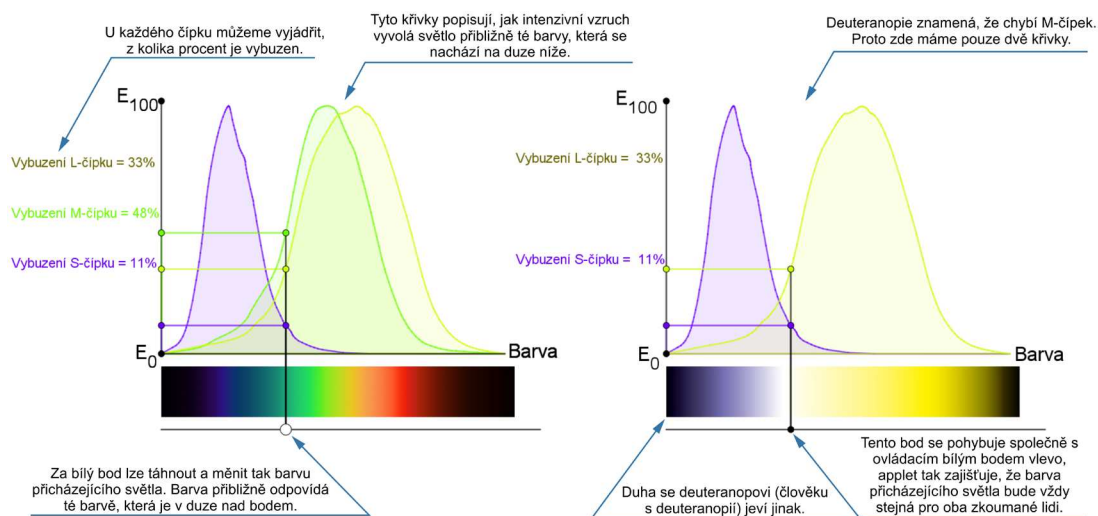
### 3.10.1. Vývoj stanoviště

Stanoviště **Vady barevného vidění** vzniklo rozdělením stanoviště **Vidění okem**. Žáci na tomto stanovišti pracovali s aplikací *Color Blind Pal* na tabletu, která umí simulovat různé vady barevného vidění s pomocí fotoaparátu. Žáci tak mohli pozorovat svět kolem sebe „očima“ člověka s barvoslepostí.

Toto stanoviště se po prvním testování ukázalo jako příliš krátké, proto k němu vznikly dva nové úkoly, které měly za cíl napomoci žákům pochopit, proč vidí barvoslepi lidé barvy tak, jak je vidí.

V novém prvním úkolu si žáci nasadili na oči brýle s tyrkysovým a červeným filtrem místo sklíček (anaglyfové brýle), čímž nasatí u příslušného oka příslušné čípky na sítnici. Při pohledu jedním nebo druhým okem se poté svět kolem nich zdá zbarvený do doplňkové barvy filtru, který byl na daném oku.

V novém druhém úkolu žáci pracují s appletem v programu GeoGebra, který vznikl v rámci této práce. Návod k práci s tímto appletem je možné vidět na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Návod na ovládání appletu pro stanoviště **Vady barevného vidění**.

Díky tomuto appletu mohou žáci pozorovat, jak moc se excitují jednotlivé čípky na sítnici, když do oka dopadá světlo určité barvy.

Na závěr si projdou třetím úkolem, ve kterém sledují svět kolem sebe skrze aplikaci *Color Blind Pal* a skrze speciální brýle určené pro lidi trpící deuteranomálií.

Po druhém testování se ukázalo, že je stanoviště pro žáky bezproblémové.

### 3.10.2. Finální podoba stanoviště

Finální podoba stanoviště **Vady barevného vidění** (příloha 5A) obsahuje 3 úkoly. Pomůcky, se kterými žáci na stanovišti pracují, jsou brýle s červeným a tyrkysovým filtrem místo sklíček (běžně používané pro pozorování anaglyfů), notebook s appletem a tablet s aplikací *Color Blind Pal*.

V teoretické části je žákům představen princip barevného vidění oka a vady, které barevné vidění narušují (s obrázkem převzatým z [46]).

V prvním úkolu si žáci potvrdí informace zjištěné v teoretickém úvodu. Žáci si nasadí brýle s filtry a nechají si je na očích, zatímco si čtou krátký text o smyslové adaptaci. Následně si brýle sundají a pozorují bílou stěnu nejprve jedním a posléze druhým okem. Zjišťují, že v obou případech stěnu nevidí bílou, ale s mírným

odstínem tyrkysové, nebo červené (jedná se vždy o doplňkovou barvu k barvě filtru daného oka). Tento princip je jim na konci úkolu vysvětlen.

Ve druhém úkolu žáci zkoumají deuteranopii. Nejprve žáci porovnají, jak vidí barvy zdravý člověk a jak je vidí deuteranop (obrázek převzatý z [47]). Následně s pomocí appletu vysvětlí, proč deuteranop vidí barevné spektrum tak, jak ho vidí.

Ve třetím úkolu žáci pracují s aplikací *Color Blind Pal*, která pomocí kamery tabletu simuluje deuteranomálii. Žáci poté popisují, jak se jeví barvy předmětů v okolí deuteranopovi. Na konci třetího úkolu jsou žákům představeny speciální brýle, které vyrábí společnost EnChroma<sup>®</sup>. Tyto brýle pomáhají lidem trpící protanomálií nebo deuteranomálií rozlišovat barvy.

V závěru pracovního listu žáci formulují poznatky o barvosleposti a deuteranomálii, které zjistili v pracovním listu.

### 3.11. Testování stanovišť

V průběhu vývoje stanovišť došlo k celkem čtyřem kolům testování.

Tato testování probíhala z velké části stejným způsobem jako běžný běh v IFL – žáci ve standardním počtu procházeli jednotlivá stanoviště, kterými je prováděly pracovní listy, a byli dozorováni lektory. Stanoviště se však na testovacím běhu skládala vždy částečně z běhu **Optika: kvalitativní pojetí** a **Optika: kvantitativní pojetí**, protože bylo v našem zájmu, aby se pracovní listy začaly testovat co nejdříve. Při prvních testovacích bězích však nebyly všechny pracovní listy připraveny k použití a v době pozdějších testovacích běhů byly už některé pracovní listy dostatečně otestované a nebylo potřeba je do testování dále zařazovat. Další odlišností byl počet lektorů – obvykle jsou přítomni dva lektori, ale na testovacích bězích byli často přítomni 4 lektori – autoři pracovních listů a vedoucí obou diplomových prací (kteří jsou současně konzultanti obou diplomových prací).

Během toho, co žáci plnili úkoly pracovních listů, jsme si zapisovali všechny problémy, nejasnosti, nápady a návrhy na zlepšení a optimalizaci, apod.

Na závěr běhu jsme každému žákovi dali každý pracovní list, kterým si předtím prošel, a požádali jsme žáky, aby nám do těchto pracovních listů vyznačili nejasnosti, návrhy na zlepšení, atd. Tuto zpětnou vazbu podávali tak, že modrou tužkou

vyznačili partie pracovních listů, které byly trochu nejasné, mohly být formulovány lépe nebo se nad nimi prostě zdrželi. Červenou barvou pak vyznačili části, kterým nebylo vůbec rozumět, nebyly vůbec jasné nebo s nimi měli jiné obdobné problémy. Části, které nestihli, měli oddělit a zpětnou vazbu k nim nepodávali. Jakékoliv slovní komentáře byly také vítány.

Během tohoto předávání zpětné vazby došlo k naskenování pracovních listů, které žákovské skupiny vyplňovaly v průběhu testování. Z jejich řešení pak došlo k úpravám formulací otázek tak, aby žáci lépe chápali, co se po nich žádá.

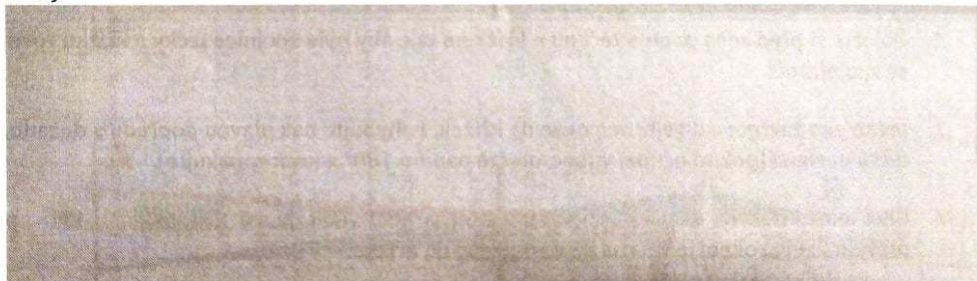
### **Testování 15. 9. 2021**

Tohoto testování se účastnilo 30 žáků z gymnázia Špitálská z pátého ročníku osmiletého studia za doprovodu RNDr. Stanislava Gottwalda. Tito žáci neměli s IFL předchozí zkušenosti a neměli na vyšším gymnáziu probránu látku optiky, nicméně se ji učili na nižším gymnáziu.

Na tomto termínu jsme testovali z této práce stanoviště **Složení oka** a **Barvy**. Změny, které byly v pracovních listech poté provedeny, jsou popsány v minulých podkapitolách.

Příklady významnějších zpětných vazeb si ukážeme na obrázcích 3.4, 3.5 a 3.6.

4. Dívejte se jedním okem skrze díрку v papíře ven z okna a druhé oko přerušovaně odkrývejte a zakrývejte rukou (s asi dvousekundovým intervalem). Pozorujte rozšiřování a zužování dířky.
5. Proč se zdálo, že se dířka v papíru rozšiřovala a zužovala? Vyjděte z vašeho vysvětlení úvodního pokusu. (*Rada:* Nakreslete si průřez celé situace a paprsky dopadající skrze dířku do oka.)



*Obrázek 3.4: Zpětná vazba ke krokům 4 a 5 prvního úkolu v pracovním listu stanoviště **Složení oka**.*

Žáci nejen že neviděli rozšiřování a zužování otvoru, ale ani nevěděli, co mají nakreslit do vyznačeného prostoru. Tento problém byl vyřešen tak, že jsme použili

lepší pomůcky (viz kapitola 3.7.1) a místo šedého pole byl dán obrázek, který situaci lépe ilustruje.

4. Když vlnové délky svítících světél zůstávají stejné, proč náš mozek vnímá různé barvy?

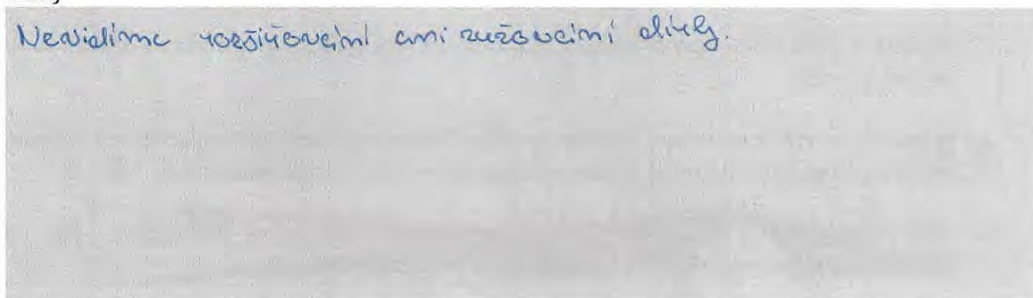


Obrázek 3.5: Zpětná vazba ke kroku 4 prvního úkolu v pracovním listu stanoviště

#### **Barvy.**

Žáci měli problém s tím, že do tohoto kroku pojem „vlnová délka světla“ potřebovali znát jen v úvodní teoretické části pracovního listu. Takováto zpětná vazba nás přiměla celý běh koncipovat bez používání termínu vlnové délky světla a ve finálních formách pracovních listů se používá pouze výraz „barva“.

5. Proč se zdálo, že se díрка v papíru rozšiřovala a zužovala? Vyděte z vašeho vysvětlení úvodního pokusu. (*Rada:* Nakreslete si průřez celé situace a paprsky dopadající skrze díрку do oka.)



Obrázek 3.6: Zpětná vazba ke kroku 5 prvního úkolu v pracovním listu stanoviště

#### **Složení oka.**

Žáci měli problém s tím, že neviděli to, co jsme očekávali, že uvidí. Zpětné vazby tohoto typu byly velmi časté a donutily nás konzultovat s RNDr. Irenou Dvořákovou, Ph.D., díky které jsme pomůcky zlepšili (viz kapitola 3.7.1).

#### **Testování 29. 9. 2021**

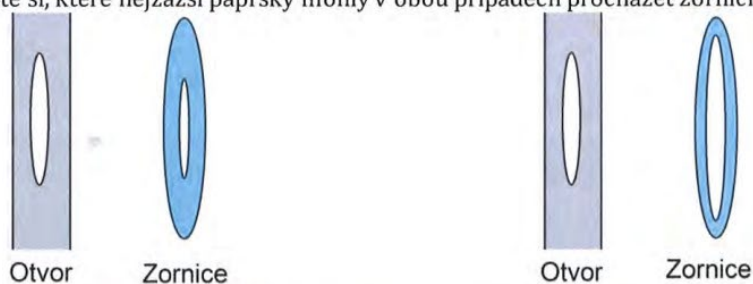
Tohoto testování se účastnilo 12 žáků z gymnázia Špitálská ze třetího ročníku čtyřletého studia za doprovodu RNDr. Stanislava Gottwalda. Tito žáci neměli s IFL předchozí zkušenosti a neměli na vyšším gymnáziu probránu látku optiku, nicméně se ji učili na nižším gymnáziu.



Na tomto termínu jsme testovali z této práce stanoviště **Složení oka** a **Barvy**. Změny, které se v pracovních listech provedly, jsou popsány v minulých podkapitolách.

Příklad zpětné vazby si ukážeme na obrázku 3.7.

3. Přiložte si papírek s otvorem těsně k jednomu oku. Dívejte se skrz otvor v papíře na světlo a druhé oko přerušovaně odkrývejte a zakrývejte rukou (s asi dvousekundovým intervalem). Pozorujte rozšiřování a zužování otvoru. *nefunguje*
4. Pokuste se pomocí obrázku vysvětlit, proč se zdálo, že se dírka rozšiřovala a zužovala. (Rada: Nakreslete si, které nejzazší paprsky mohly v obou případech procházet zornicí.)



Obrázek 1: Otvor před zornicí se staženou (vlevo) a roztaženou duhovkou (vpravo)

Obrázek 3.7: Zpětná vazba ke kroku 4 prvního úkolu v pracovním listu stanoviště **Složení oka**.

Žáci měli stále problém s tím, že používané pomůcky nebyly správně vyrobeny (otvor v papíru byl příliš velký, na což jsme přišli až po konzultaci s RNDr. Irenou Dvořákovou, Ph.D.) a kvůli tomu experiment nevyšel tak, jak jsme očekávali.

### Testování 6. 10. 2021

Tohoto testování se účastnilo 27 žáků z gymnázia Špitálská ze čtvrtého ročníku čtyřletého studia za doprovodu RNDr. Stanislava Gottwalda. Tito žáci měli s IFL předchozí zkušenosti a měli na vyšším gymnáziu probranou látku optiku.

Na tomto termínu jsme testovali z této práce stanoviště **Vady barevného vidění**, **Barvy předmětů** a **Složení oka**. Změny, které se v pracovních listech provedly, jsou popsány v minulých podkapitolách.

Příklady zpětných vazeb si ukážeme na obrázcích 3.8 a 3.9.



V ROZHLED!

### VADY BAREVNÉHO VIDĚNÍ

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

#### Cíl a idea experimentu

Na tomto stanovišti je vaším úkolem prozkoumat vady barevného vidění.

*Obrázek 3.8: Zpětná vazba k pracovnímu listu stanoviště Vady barevného vidění.*

Ne každá zpětná vazba, kterou nám žáci poskytli, byla negativní. Podle výpovědi RNDr. Stanislava Gottwalda, učitele fyziky třídy, která se účastnila tohoto testování, byla jedna účastnice natolik zaujatá vadami barevného vidění, že si na ně dobrovolně vzala referát.

Stanoviště se však při testování ukázalo být jako nadměrně rychlé a došlo k jeho prodloužení (viz kapitola 3.10.1).

5. Popište či namalujte strukturu, kterou jste viděli. Co to je?



*Obrázek 3.9: Zpětná vazba k pátému kroku třetího úkolu pracovního listu stanoviště*

#### **Složení oka.**

Žáci zde měli pozorovat skrze otvor v papíru strukturu nervů a vlasečnic nad světločivnými buňkami. Tento pokus o nakreslení oné struktury vypovídá o tom, že problém s nefungujícími pomůckami byl odstraněn a žáci pozorovali to, co bylo našim cílem.

#### **Testování 2. 3. 2022**

Skoro pětíměsíční prodlevu mezi testováními pracovních listů způsobila nařízení Univerzity Karlovy, kvůli kterým nebyla IFL v provozu. Tohoto testování se účastnilo 18 žáků z gymnázia Špitálská z maturitního ročníku za doprovodu

RNDr. Stanislava Gottwalda. Tito žáci měli s IFL předchozí zkušenosti a měli na vyšším gymnáziu probránu látku optiku.

Na tomto termínu jsme testovali z této práce stanoviště **Vady barevného vidění** a **Vady ostrého vidění**. Kvůli mé nedostatečné přípravě stanoviště **Vady ostrého vidění** nebylo stanoviště testováno celé a úkol s neznámou vadou nebyl podroben testování. Změny, které se v pracovních listech provedly, jsou popsány v minulých podkapitolách.

Příklady zpětných vazeb si ukážeme na obrázcích 3.10, 3.11 a 3.12. I přes problémy s pomůckami na stanovišti **Vady ostrého vidění** bylo toto testování velmi úspěšné a téměř všechny zpětné vazby byly čistě pozitivní.

*Zkoumaná vada se nazývá krátkozrakost, protože oko vidí dobře na krátkou vzdálenost. Touto vadou trpí asi 32% populace a bývá často způsobena tím, že se v době vývoje oka zřídka dívali do dálky.*

*To jsem velmi zajímavé*

Obrázek 3.10: Zpětná vazba k vysvětlení krátkozrakosti po druhém úkolu pracovního listu stanoviště **Vady ostrého vidění** (toto vysvětlení bylo ve staré verzi pracovních listů).



- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

Obrázek 3.11: Zpětná vazba k pracovnímu listu stanoviště **Vady ostrého vidění**.

## Závěr

Barvoslepí lidé obvykle nevidí **žádné/některé** barvy. Nejčastější typ barvosleposti je deuteranomálie, při které nerozeznávají [redacted].

- relativně zajímavé a skrze applet, tablet, brýle ->  
lépe pochopitelné -> než jen teoretické vysvětlení

Obrázek 3.12: Zpětná vazba k pracovnímu listu stanoviště **Vady barevného vidění:**

„- relativně zajímavé a skrze applet, tablet, brýle -> lépe pochopitelné -> než jen teoretické vysvětlení“.

## Závěr

Práce si klade za cíl vytvořit pět experimentálních stanovišť, každé s vlastním pracovním listem, která budou dohromady tvořit jeden experimentální celek pro Interaktivní fyzikální laboratoř. Dále si klade za cíl vytvořit teoretický podklad pro prováděné experimenty.

V rámci této práce vzniklo pět experimentálních stanovišť s pracovními listy s názvy **Složení oka**, **Vady ostrého vidění**, **Vady barevného vidění**, **Skládání barev** a **Barvy předmětů**, které dohromady tvoří nově nabízený experimentální celek s názvem **Optika: kvalitativní pojetí**. Ke dvěma pracovními listům navíc vznikly applety v programu GeoGebra. Každý pracovní list byl nejméně jednou testován na středoškolských studentech a ze zjištěné zpětné vazby upraven tak, aby byl co nejjasnější a nejsrozumitelnější. Experimentální celek **Optika: kvalitativní pojetí** je již nabízen Interaktivní fyzikální laboratoří.

Dále vznikl odborný text týkající se geometrické optiky, zraku, lidského oka a miskonceptů v optice a v oblasti zraku. Tento text je propojen s pracovními listy pomocí oranžových rámečků, které se v něm vyskytují.

V přílohách se nachází autorské řešení pracovních listů, ve kterých je řešení vyznačeno **fialovou barvou**. U možností výběru odpovědi je správná odpověď vyznačena fialovou barvou a chybné řešení je škrtnuté.

## Seznam použité literatury

- [1] Interaktivní fyzikální laboratoř. *MFF UK | Matematicko-fyzikální fakulta*. [online]. Copyright © 2022 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.mff.cuni.cz/cs/kdf/akce-pro-zaky-zs-a-ss/interaktivni-fyzikalni-laborator>
- [2] M. Snětinová a P. Kácovský. *Interactive physics laboratory: A place for hands-on experimenting*. [online]. 2019, s. 030031- [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: [doi:10.1063/1.5124775](https://doi.org/10.1063/1.5124775)
- [3] M. Snětinová, P. Kácovský, J. Machalická. *Hands-On Experiments in the Interactive Physics Laboratory: Students' Intrinsic Motivation and Understanding*. [online]. Dostupné z: <https://ojs.cepsj.si/index.php/cepsj/article/view/319/268>
- [4] Výzkum a vývoj na KDF. *Katedra didaktiky fyziky*. [online]. [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: [https://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/nastroje/IMI\\_vzorovy\\_dotaznik.pdf](https://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/nastroje/IMI_vzorovy_dotaznik.pdf)
- [5] P. Malý. *Optika*. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1342-0.
- [6] *A Dictionary of Physics*. Oxford University Press, Fourth edition, 2000. © Market House Books. ISBN 198605811.
- [7] Optický hranol. *Wikipedie*. [online]. [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%BD\\_hranol](https://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%BD_hranol)
- [8] N. Harrison. What determines the colour of an object?. *Science Focus*. [online]. BBC Science Focus Magazine. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.sciencefocus.com/science/what-determines-the-colour-of-an-object/>
- [9] Color – The Physics Hypertextbook. *The Physics Hypertextbook*. [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://physics.info/color/>
- [10] C. Haagen-Schützenhöfer. (2017). *Students' conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour*. *Physics Education*. 52. 044003.

10.1088/1361-6552/aa6d9c. Dostupné z:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aa6d9c/pdf>

[11] H. Davson, Ch. Perkins, S. Edward. human eye. *Encyclopedia Britannica*.

[online].[cit. 2022-02-04]. Dostupné z:

<https://www.britannica.com/science/human-eye>

[12] H. Davson, Ch. Perkins, S. Edward. rod. *Encyclopedia Britannica*. [online]. [cit.

2022-02-04]. Dostupné z:

<https://www.britannica.com/science/rod-retinal-cell>

[13] *WikiSkripta*. [online]. Projekt 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z:

<https://www.wikiskripta.eu/>

[14] *Wikipedie*. [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z:

<https://cs.wikipedia.org/>

[15] M. Kekule. *Výzkum pomocí oční kamery ve fyzikálním vzdělávání*. *Scientia in educatione* 5(2), 2014. p. 58-73. ISSN 1804-7106. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z:

<https://ojs.cuni.cz/scied/article/view/107/100>

[16] D. Najjar. *Clinical optics and refraction*. [online]. [cit. 2021-04-10].

Dostupné z:

<https://archive.is/20120529165007/http://www.eyeweb.org/optics.htm>

[17] Lidské oko. *Wikipedie*. [online]. [cit. 2022-03.18]. Dostupné z:

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidsk%C3%A9\\_oko](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidsk%C3%A9_oko)

[18] Facts About Eye Color - Heffington's House of Vision. *Eye Doctor Springfield MO - Heffington's - Eye Exams*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z:

<https://heffingtons.com/interesting-facts-about-eye-color/#:~:text=According%20to%20a%202014%20poll,shades%20of%20brown%20and%20green>

- [19] M. T. Pardue, J. G. Sivak. *Age-related changes in human ciliary muscle*. *Optom Vis Sci*. 2000 Apr;77(4):204-10. doi: 10.1097/00006324-200004000-00013. PMID: 10795804, str. 204-210.
- [20] T. E. Lockhart, Wen Shi. *Effects of age on dynamic accommodation*. *Ergonomics* [online]. 2010, 53(7), 892-903 [cit. 2022-04-02]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2908311/>
- [21] Mayo clinic. *Eye floaters*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/eye-floaters/symptoms-causes/syc-20372346>
- [22] W. E. Snyder, Hairong Qi. *Fundamentals of computer vision B. Biological Vision*. Prepared by Louis Simard. Cambridge: Cambridge university press, [2017]. ISBN 978-1-107-18488-6. Dostupné z: <https://www2.cs.sfu.ca/CourseCentral/821/li/material/refs/Simard-biology.pdf>
- [23] H. Kondo. *Foveal hypoplasia and optical coherence tomographic imaging*. *Taiwan Journal of Ophthalmology* [online]. 2018, 8(4) [cit. 2021-04-10]. ISSN 2211-5056. Dostupné z: <https://www.e-tjo.org/article.asp?issn=2211-5056;year=2018;volume=8;issue=4;spage=181;epage=188;aulast=Kondo>
- [24] J. K. Bowmaker, H. J. Dartnall. *Visual pigments of rods and cones in a human retina*. *The Journal of Physiology* [online]. 1980, 298(1), 501-511 [cit. 2021-04-10]. ISSN 00223751. Dostupné z: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1113/jphysiol.1980.sp013097>
- [25] HUGO Gene Nomenclature Committee. *Symbol report for OPN1SW*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: [https://www.genenames.org/data/gene-symbol-report/#!/hgnc\\_id/1012](https://www.genenames.org/data/gene-symbol-report/#!/hgnc_id/1012)
- [26] HUGO Gene Nomenclature Committee. *Symbol report for OPN1MW*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: [https://www.genenames.org/data/gene-symbol-report/#!/hgnc\\_id/4206](https://www.genenames.org/data/gene-symbol-report/#!/hgnc_id/4206)



- [27] HUGO Gene Nomenclature Committee. *Symbol report for OPN1LW*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: [https://www.genenames.org/data/gene-symbol-report/#!/hgnc\\_id/9936](https://www.genenames.org/data/gene-symbol-report/#!/hgnc_id/9936)
- [28] Evo-Ed: Monkey Opsins Genetics. *Evo-Ed: Cases for Effective Evolution Education*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://www.evo-ed.org/Pages/primates/genetics.html>
- [29] WHO | World Health Organization. THE IMPACT OF MYOPIA AND HIGH MYOPIA: Report of the Joint World Health Organization–Brien Holden Vision Institute Global Scientific Meeting on Myopia. University of New South Wales, Sydney, Australia. 16–18 March 2015. ISBN 978-92-4-151119-3. Dostupné z: <https://www.who.int/blindness/causes/MyopiaReportforWeb.pdf>
- [30] VISUS, s.r.o. Dalekozrakost (hypermetropie). [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.ocni-visus.cz/ocni-vady/dalekozrakost-hypermetropie/>
- [31] I. G. Morgan, K. A. Rose, L. B. Ellwein. *Is emmetropia the natural endpoint for human refractive development? An analysis of population-based data from the refractive error study in children (RESC)*. *Acta Ophthalmologica* [online]. 2010, **88**(8), 877-884 [cit. 2022-03-03]. ISSN 1755375X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1755-3768.2009.01800.x
- [32] E. Dolgin. THE MYOPIA BOOM. *NATURE* [online]. 19. 3. 2015, (519), 276-278. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: [https://www.nature.com/news/polopoly\\_fs/1.17120!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/519276a.pdf](https://www.nature.com/news/polopoly_fs/1.17120!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/519276a.pdf)
- [33] R. N. Hussain, F. Shahid, G. Woodruff. Axial Length in Apparently Normal Pediatric Eyes. *European Journal of Ophthalmology*. [online]. 2014, **24**(1), 120-123 [cit. 2022-03-03]. ISSN 1120-6721. Dostupné z: doi:10.5301/ejo.5000328
- [34] X. Zhou, M. T. Pardue, P. M. Iuvone, J. Qu. Dopamine signaling and myopia development: What are the key challenges. *Progress in Retinal and Eye*

Research [online]. 2017, **61**, 60-71 [cit. 2022-03-03]. ISSN 13509462. Dostupné z:  
[doi:10.1016/j.preteyeres.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.06.003)

[35] B. J. Carr, Ph.D., W. K. Stell, M.D., Ph.D. *The Science Behind Myopia*. [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470669/>

[36] NZIP | NZIP – Národní zdravotnický informační portál. *Poruchy barvocitu*. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z:  
<https://www.nzip.cz/clanek/381-poruchy-barvocitu>

[37] Oregon State University. Laser Biological Hazards-Eyes | Environmental Health and Safety. [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z:  
<https://ehs.oregonstate.edu/laser/training/laser-biological-hazards-eyes>

[38] D. C. Holzman. What's in a Color? The Unique Human Health Effects of Blue Light. *Environmental Health Perspectives*. [online]. 2010, 118(1) [cit. 2021-04-10]. ISSN 0091-6765. Dostupné z:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2831986/>

[39] Primary Colors Are Red, Yellow and Blue, Right? Well, Not Exactly | HowStuffWorks. *Science | HowStuffWorks*. [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z:  
<https://science.howstuffworks.com/primary-colors.htm#:~:text=And%20the%20red%20and%20green,and%20TV%20work%20his%20way>

[40] R. N. Clark. *ClarkVision: Color Spaces*. [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z:  
<https://clarkvision.com/articles/color-spaces/>

[41] D. Mandíková, J. Trna. *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido, 2011. ISBN 978-80-7315-226-0.

[42] C. Haagen-Schützenhöfer. (2017). *A Hands-on to Teach Colour Perception: The Colour Vision Tube*. *Scientia in Education*, 8. Dostupné z:  
<https://doi.org/10.14712/18047106.743>

[43] A. Cortel. Simple experiments on the physics of vision: the retina. *Physics Education* [online]. 2005, 40(4), 325-331 [cit. 2022-02-26]. ISSN 0031-9120.

Dostupné z:

[https://ag4physik.files.wordpress.com/2018/09/physics\\_vision\\_cortel.pdf](https://ag4physik.files.wordpress.com/2018/09/physics_vision_cortel.pdf)

[44] Gringer. Linear visible spectrum. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 27. 8. 2008 [cit. 2022-04-15].

Dostupné z:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear\\_visible\\_spectrum.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_visible_spectrum.svg)

[45] Fill In The Blank Eye Diagram. ClipArtBest [online]. Copyright © 2013 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z:

<http://www.clipartbest.com/fill-in-the-blank-eye-diagram>

[46] Retinal mosaic. Wikipedia. [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Retinal\\_mosaic](https://en.wikipedia.org/wiki/Retinal_mosaic)

[47] L. T. Sharpe. *Opsin genes, cone photopigments, color vision, and color blindness*. [online]. 1999, p 31 [cit. 2022-04-15]. Figure 1.13. Dostupné z: <http://www.cvrl.org/people/stockman/pubs/1999%20Genetics%20chapter%20SSJN.pdf>

## **Seznam tabulek**

Tabulka 2.1: Okohybné svaly a jejich funkce

## **Seznam použitých zkratk**

IFL: Interaktivní fyzikální laboratoř

RGB: Red Green Blue

CMYK: Cyan Magenta Yellow Black

## **Přílohy**

### **Příloha 1A: Řešení pracovního listu stanoviště Skládání barev**

V pracovním listu Složení oka u úkolu 4 v obrázku 2 je řešení udělané barevně z technických důvodů.



## SKLÁDÁNÍ BAREV

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

### Cíl a idea experimentu




Na tomto stanovišti je vaším úkolem prozkoumat různé druhy skládání barev.

### Úkol 1: Skládání barev

**Pokud jste si na stanovišti BARVY PŘEDMĚTŮ prošli Přípravným úkolem: Skládání RGB, můžete v tomto úkolu přeskočit ke kroku 5.**

### Světločivné buňky

Na sítnici se nachází dva typy světločivných (na světlo reagujících) buněk – tyčinky a čípky.

Čípky dělíme na 3 druhy – L-čípky citlivé nejvíce na zelenožlutou barvu (  ), M-čípky citlivé nejvíce na zelenou barvu (  ) a S-čípky citlivé nejvíce na modrofialovou barvu (  ).

Při dopadu světla na světločivnou buňku vyše buňka nervový signál do mozku, který je na základě polohy a intenzity vzruchu schopný určit barvu a polohu zdroje světla.

Celou barevnou škálu získáme složením různě silných nervových signálů z různých čípků ze stejného místa na sítnici.

1. Odhadněte a do tabulky níže запиšte, jaká bude výsledná barva dané kombinace základních barev. Poté pomocí lamp vytvořte tyto kombinace a запиšte výslednou barvu do pravého sloupečku. (Pokud postavíte lampy dále od stěny, jejich světla se lépe prolnou.)

Kombinace barev	Odhadovaná výsledná barva	Skutečná výsledná barva
Červená + Zelená	Žlutá	Žlutá
Červená + Modrá	Růžová	Růžová
Zelená + Modrá	Zelenomodrá	Zelenomodrá
Červená + Zelená + Modrá	Bílá	Bílá

2. Zapněte plynulý přechod (*Smooth*). Zapište posloupnost barev, kterými lampa svítí.

Červená – oranžová – žlutá – zelená – zelenomodrá – modrá – fialová – růžová – červená





Spektroskop je optický přístroj, který umí rozkládat procházející světlo na jednotlivé barvy. Na tomto stanovišti vypadá jako fólie v okénku. Přikládejte si ho těsně k oku pro co nejlepší efekt.

3. Dívejte se přes spektroskop do svítící lampy (stále v režimu *Smooth*) a popište, co vidíte.

Vidím, jak se pomalu rozsvěcuje a poté zhasíná červená, zelená a modrá „žárovka“, když se jedna rozsvěcuje, druhá zhasíná.

4. Proč naše oko vnímá různé barvy světla, i když nám spektroskop prozrazuje, že z lampy přichází pouze tři barvy?

Protože naše oko není schopné rozpoznat rozdíl mezi světlem složeným z červeného a zeleného světla a žlutým světlem.

5. Zkuste vymyslet, kde se tohoto skládání barev využívá.

Pixely obrazovek.

Dále budete pracovat s programem *Camera* a USB mikroskopem zapojeným do notebooku. Posuvník na mikroskopu ostří obraz. Je možné vždy najít dvě úrovně zaostření – jedna s menším přiblížením a jedna s větším přiblížením. Posuvník na kabelu reguluje intenzitu LED světla na mikroskopu. Je vhodné jimi svítit na nepodsvícené povrchy.

6. Na počítači zapněte program *Camera*, zmenšete okno na půlku obrazovky, otevřete obrázek duhy a dejte ji na druhou půlku obrazovky.

7. Podívejte se pomocí USB mikroskopu na různé barevné části duhy na displeji. Popište, co vidíte. Nezapomeňte dostatečně zaostřit.

Pixely svítící červenou, zelenou a modrou barvou různě intenzivně.

8. Podívejte se USB mikroskopem na tištěnou duhu níže. Popište, co vidíte u ní.

Barevné tečky na jednolitém pozadí, tečky různých barev, nebo jednolitou barvu, záleží na tom, na které místo se díváme.



9. Podívejte se USB mikroskopem na barevné tužky, propisky, oblečení, apod. Popište, jak tvoří okem vnímanou barvu.

Jsou tvořeny barevným materiálem.







10. Jaký je rozdíl mezi skládáním barev na displeji a skládáním tištěných barev?

Na displeji se barvy skládají aditivně pomocí pixelů, u tištěných barev se skládají barvy subtraktivně pomocí žluté, azurové, černé a purpurové.

## Úkol 2: Zkoumání efektu nočního režimu

1. Na notebooku minimalizujte na lištu program *Camera*, místo něj si otevřete nastavení nočního režimu a zapněte ho.

2. Popište, jak se změní duha na displeji, když na počítači změňte sílu režimu nočního osvětlení.

Modrá část zčerná, tyrkysová zezelená, fialová ztmavne.

3. Podívejte se na jednotlivé barvy duhy pomocí USB mikroskopu. Popište, jak se změní jednotlivé barvy pixelů, když na počítači změňte sílu režimu nočního osvětlení.

Modré subpixely ztmavnou při zesílení nočního režimu.

## Závěr

Bílé světlo získáme složením **všech barev**, zároveň ho na tyto barvy můžeme rozložit.

Oko **rozpozná/nerozpozná** rozdíl mezi žlutým světlem a kombinací červeného a zeleného světla, protože **obě světla excitují čípky v oku stejně**.

Kromě aditivního skládání barev existuje také subtraktivní skládání barev, které se běžně používá v tisku. U něj funguje skládání barev tak, že se tisknou tečky nebo jednolitě pozadí s barvami CMYK.

Když oči vidí modré světlo, začne mozek blokovat sekreci melatoninu, hormonu „zodpovědného za únavu a spánek“. Noční režim na počítačích proto dělá to, že omezuje množství modrého světla, které displej vydává.



## **Příloha 2A: Pracovní list stanoviště Barvy předmětů**



## BARVY PŘEDMĚTŮ

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

### Cíl a idea experimentu




Na tomto stanovišti je vaším úkolem prozkoumat, jak barva osvětlení ovlivňuje vnímanou barvu předmětů.

### Přípravný úkol: Skládání RGB

Pokud jste si prošli stanovištěm SKLÁDÁNÍ BAREV, můžete tento úkol přeskočit a pokračovat na Úkol 1 na následující straně.

### Světločivné buňky

Na sítnici se nachází dva typy světločivných (na světlo reagujících) buněk – tyčinky a čípky.

Čípky dělíme na 3 druhy – L-čípky citlivé nejvíce na zelenožlutou barvu (  ), M-čípky citlivé nejvíce na zelenou barvu (  ) a S-čípky citlivé nejvíce na modrofialovou barvu (  ).

Při dopadu světla na světločivnou buňku vyše buňka nervový signál do mozku, který je na základě polohy a intenzity vzruchu schopný určit barvu a polohu zdroje světla.

Celou barevnou škálu získáme složením různě silných nervových signálů z různých čípků ze stejné oblasti na sítnici.

### Postup

1. Na stanovišti stojí 3 lampy, každá svítí jinou základní barvou. Sviťte těmito lampami na stěnu a pozorujte, jak se jejich světla skládají. (Pokud postavíte lampy dále od stěny, jejich světlo se lépe prolne.)

Kombinace barev	Pozorovaná výsledná barva
Červená + Zelená	Žlutá
Červená + Modrá	Růžová
Zelená + Modrá	Zelenomodrá
Červená + Zelená + Modrá	Bílá





Spektroskop je optický přístroj, který umí rozkládat procházející světlo na jednotlivé barvy. Na tomto stanovišti vypadá jako fólie v okénku. Příkladujte si ho těsně k oku pro co nejlepší efekt.

2. Dvě lampy vypněte, na třetí zapněte režim Smooth a dívejte se přes spektroskop do svítící lampy. Popište, co vidíte.

Různě se rozsvěcují LED žárovky červené, modré a zelené barvy.

Se světlem tedy můžeme pracovat tak, jako kdyby se všechny barvy skládaly ze základních barev. Různé odstíny složených barev získáme tak, že budeme měnit intenzitu základních barev.

### Úkol 1: Barvy předmětů

Světlo může být předměty buďto pohlceno, nebo odraženo (nebo projde skrz, ale pro tuto úlohu bude výsledek identický s případem, kdy se odrazí).

1. Zatemněte komoru závěsem, zhasněte stropní světlo (pokud svítí) a 2 lampy vypněte (pokud jste tak již neučinili v přípravném úkolu).
2. Vyndejte z krabice pod stolem 4 balónky. Podívejte se na ně a popište jejich barvy v různých světlech (barvy stačí vystihnout jen přibližně).

Balónek	Barva v červeném světle	Barva ve žlutém světle	Barva v zeleném světle	Barva v tyrkysovém světle	Barva v modrém světle	Barva v růžovém světle
1	Černá	Zelená	Zelená	Zelená	Černá	Černá
2	Černá	Černá	Černá	Modrá nebo fialová	Modrá nebo fialová	Modrá nebo fialová
3	Červená	Červená	Černá	Černá	Černá	Červená
4	Červená	Žlutá	Zelená	Tyrkysová	Modrá	Růžová

3. Zkuste na základě tabulky z minulého kroku určit, jakou barvu budou mít zkoumané balónky v „obyčejném“, tj. bílém světle. Bílé světlo rozsviňte až poté, co všechny odhady zapíšete do tabulky.

Balónek	Odhadovaná barva v bílém světle	Barva v bílém světle
1	Zelená	Zelená
2	Modrá nebo fialová	Fialová
3	Červená	Červená
4	Bílá	Bílá





4. Zkuste vysvětlit, proč barva balónek závisí na tom, jaké barevné světlo na ně svítí. (Už můžete roztáhnout závěs a rozsvítit.)

Protože závisí na tom, kterou barvu odrážejí.

5. Vysvětlete, proč se červený balónek jevil být „černý“ v zeleném, tyrkysovém a modrém světle a červený v ostatních.

Protože zelená, tyrkysová a modrá neobsahují červenou složku barvy, ostatní používané barvy světla ano.

6. Vysvětlete, proč balónek 4 kopíroval barvu každého světla.

Protože bílý balónek odráží všechny barvy.

### Závěr

Pokud na předměty, které mají zelenomodrou barvu, svítí zelené světlo, jeví se **zelené**. Pokud by na ně svítilo červené světlo, jeví by se **černé**.

Předměty tedy mají barvu toho světla, které **odrážejí**.



## **Příloha 3A: Pracovní list stanoviště Složení oka**



## SLOŽENÍ OKA

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

### Cíl a idea experimentu

Na tomto stanovišti prozkoumáte funkci duhovky a ciliárních svalů a prozkoumáte části sítnice.

### Úkol 1: Ověření funkce duhovky

Nalezněte na oku zornici a duhovku a zjistěte, k čemu slouží.

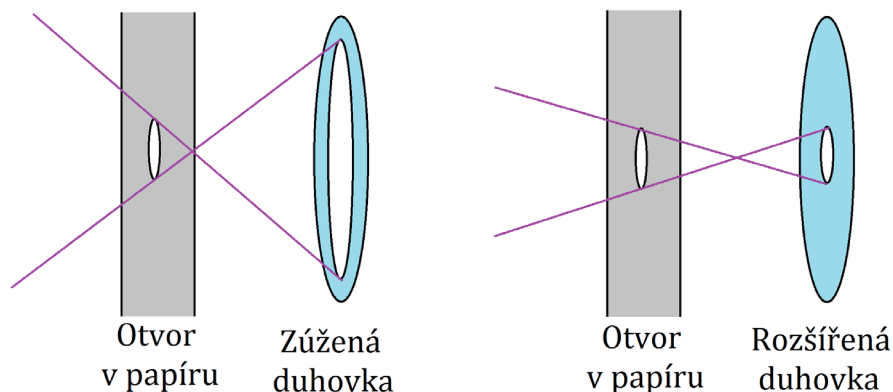
Jejich funkci si ověříme tak, že vystavíme oči střídavě intenzivnímu a slabému světlu a budeme pozorovat, co dělají.

### Postup

1. Bude duhovka při intenzivním světle rozšířená, nebo zúžená? Zdůvodněte svůj odhad.  
**Rozšířená, aby omezovala množství světla, které se dostane do oka/na sítnici.**
2. Dívejte se do zrcadla a svítilnou na mobilu si přerušovaně sviťte do jednoho oka (asi 1 sekunda svícení na asi 2 sekundy tmy). Pozorujte, co dělá vaše duhovka. Porovnejte to, co jste sledovali v zrcadle, s vaším vlastním odhadem.  
**Při intenzivním světle je duhovka rozšířená, souhlasí s odhadem.**

Rozšiřování a zužování duhovky je reflex, který se děje u obou očí současně. Mozek při něm uposlechne dominantní oko. Tohoto využijeme u dalšího kroku.

3. Přiložte si papírek s otvorem těsně k jednomu oku. Dívejte se skrz otvor v papíře na světlo (např. stropní, nebo ven z okna) a druhé oko přerušovaně odkrývejte a zakrývejte rukou (s asi dvousekundovým intervalem). Pozorujte rozšiřování a zužování otvoru.
4. Do obrázků níže nakreslete zorné pole za otvorem při rozšířené a při zúžené duhovce (tj. co vše můžeme skrze otvor pozorovat) a pokuste se tak vysvětlit, proč se zdálo, že se otvor rozšiřoval a zužoval.





## Úkol 2: Ověření funkce ciliárních svalů

Nalezněte na oku *spojnou čočku* a *ciliární svalstvo* a zjistěte, k čemu slouží.

*Jejich funkce si ověříme tak, že se budeme snažit vnímat předměty, které se nachází v jiné vzdálenosti než předměty, na které právě ostříme.*

### Postup

1. Umístěte text *Romeo a Julie* asi půl metru od hlavy.
2. Hrotem propisky, který udržujte přibližně v polovině vzdálenosti mezi hlavou a textem, si ukazujte, které slovo čtete. Zavřete jedno oko a druhým okem zaostřete na hrot propisky. Snažte se text přečíst bez přeostrění.
3. Na jakou nepříjemnost jste při čtení narazili a proč jste ji měli?  
Text nešel přečíst, protože byl rozostřený.  
Rozostřený byl, protože jsme ostřili na hrot propisky, tedy do jiné vzdálenosti.
4. Podívejte se ven z okna, vztyčte palec asi 20 cm před oči a zaostřete na něj. Následně přeostrujte mezi vzdáleným předmětem za oknem a palcem a pozorujte, jak dlouho přeostrění trvá.
5. Rozhodněte, při kterém přeostrění byla čočka stlačována a při kterém natahována.  
Při přeostrění na dálku byla natahována, naopak při přeostrění na blízko byla stlačována.

## Úkol 3: Hledání částí sítnice

Přečtěte si, k čemu slouží *sítnice* a *cévnatka* a co je to *slepá skvrna*.

*Slepou skvrnou na oku nevidíme, nicméně mozek si danou oblast vyplní tím, co vidí okolo. Pokud tedy bude na slepou skvrnu dopadat světlo z místa, které je výrazně barevně odlišné od svého okolí, bude se nám zdát, že toto místo splyne s okolím.*

### Postup

1. Položte si před sebe na stůl papír s tečkou a křížkem tak, aby byla spojnice tečky a křížku rovnoběžná se spojnicí očí.
2. Jedno oko zavřete a dívejte se pouze na křížek. Pohybuje pak hlavou dopředu a dozadu, dokud tečka nezmizí (pokud nemizí vůbec, otočte papír o 180° a krok zopakujte). Vyzkoušejte obě oči.
3. Při pohledu **pravým** okem je tečka **vlevo/vpravo** od křížku.







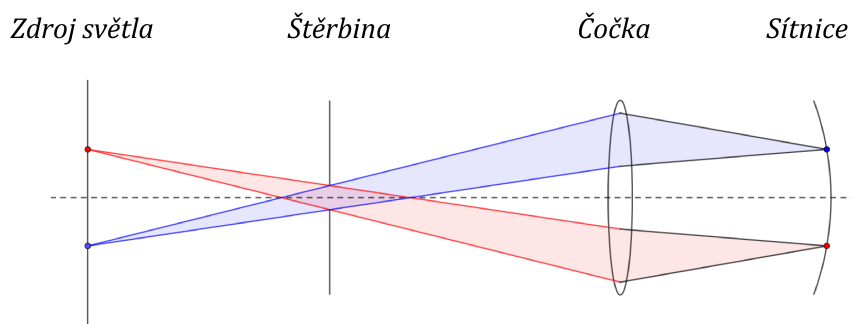
Stejně, jako mozek ignoruje slepou skvrnu, ignoruje i celou síť vlásečnic a nervů, které zastiňují naše vidění. V následujícím pokusu vnutíme mozku, aby viděl i tuto síť.

4. Jedno oko zavřete. Druhým okem se dívejte skrze díрку v papíře na světlou stěnu či jasné nebe a papírem přitom mírně třeste do stran. Pozorujte strukturu, kterou uvidíte (pokud žádnou strukturu nepozorujete, změňte frekvenci a amplitudu třasu).
5. Popište či namalujte strukturu, kterou jste viděli. Co to je?

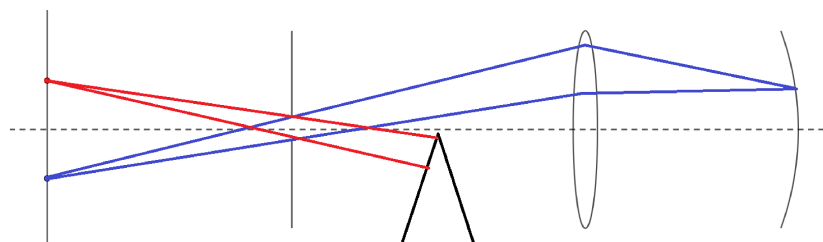
Struktura vlásečnic na sítnici, vypadá jako husté kořeny nebo košaté blesky.

#### Úkol 4: Záhada převráceného obrazu

1. Přiložte si papírek s otvorem těsně k oku, dívejte se skrze otvor na jasnou plochu a druhé oko zavřete.
2. Mezi své oko a otvor pomalu a **opatrně** vsuňte špičku propisky. Pozorujte, z které strany špička propisky zastiňuje otvor. Která část otvoru byla zastíněná?  
Opačná než odkud byla zasouvána propiska (tj. propisku jsem zasouval zespoda, ale zastiňovala otvor v papíře ze shora).
3. Obrázek níže popisuje právě provedenou situaci. Dokreslete do druhé části chod paprsků, když je červeně znázorněný paprsek zastíněn a vysvětlete své pozorování. (Uvědomte si, kde se v obrázku bude vyskytovat špička propisky.)



Obrázek 1: Schéma situace, kdy světlo prochází otvorem do oka



Obrázek 2: Schéma situace, kdy světlo prochází otvorem do oka, ale jeden svazek paprsků je zastíněn (červené a modré paprsky a černá špička jsou součástí řešení)





## Závěr

Duhovka musí být při intenzivním světle **rozšířená/zúžená**, protože jinak by **došlo ke spálení sítnice**.

Přeostrujeme díky **ciliárním svalům**. Při ostření nablízko je čočka **stlačena**.

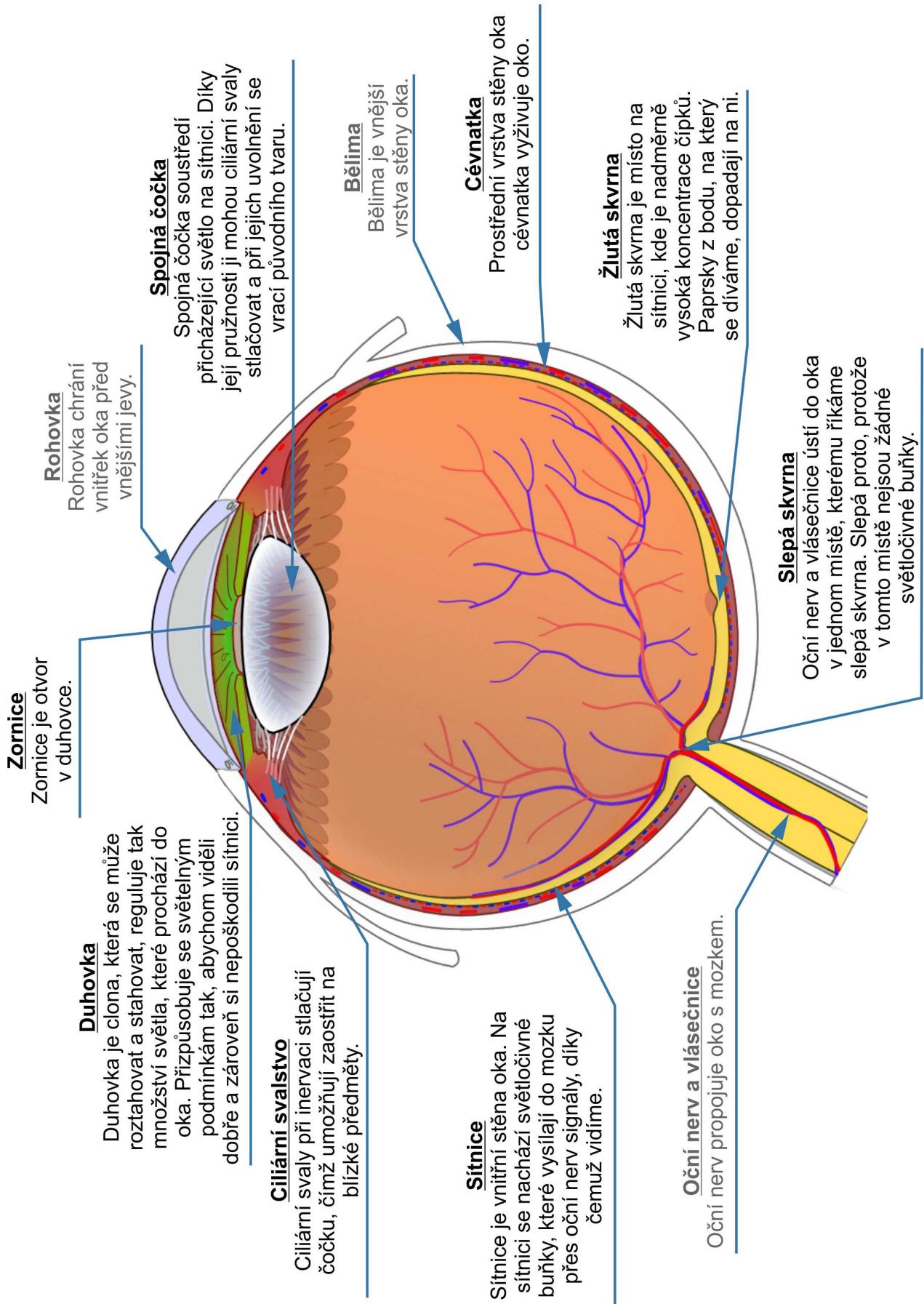
Slepá skvrna se nachází na straně oka **blíže k nosu/dále od nosu**.

Co způsobuje, že je obraz, který dopadá na sítnici, převrácený?

**Oční čočka je spojná čočka, která převrací obraz.**



## **Příloha 3B: Schéma lidského oka s popisky a vysvětlivkami**



## **Příloha 4A: Pracovní list stanoviště Vady ostrého vidění**

## VADY OSTRÉHO VIDĚNÍ

- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

### Cíl a idea experimentu

Na tomto stanovišti je vaším úkolem prozkoumat vady ostrého vidění.

### Ostré vidění oka

Ostrý obraz vzniká tehdy, pokud se všechny paprsky pocházející z jednoho bodu protnou v jediném bodě na sítnici.

Ostrost vidění může být narušena několika různými faktory, jako například změnou vzdálenosti mezi čočkou a sítnicí, změnou indexu lomu oka nebo změnou křivosti částí oka. Pokud k některému z těchto narušení dojde, světlo procházející čočkou nebude soustředěno na sítnici do jednoho bodu a vidění nebude ostré.

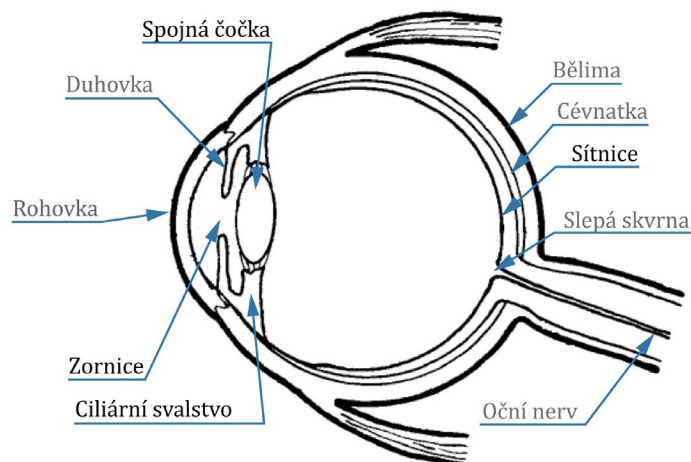
### Optická souprava

V tomto úkolu budete pracovat s lasery, které mohou poškodit sítnici.

**NIKDY LASEREM NEMIŘTE DO OČÍ** a dávejte si pozor, kam jím míříte!

Souprava obsahuje laserový zdroj, který umí svítit jedním, třemi nebo pěti paprsky. Stisknutím tlačítka se mezi těmito módy přechází. Dále obsahuje čtyři papírová schémata, na kterých je vyobrazeno oko (jehož optickou soustavu budeme pro přehlednost symbolizovat čočkou a značit **červeně**), prostor pro korigující čočky a místo pro čočku simulující blízký předmět (pro přehlednost značena **modře**).

V úloze budeme pracovat s modelem, kdy do oka přicházejí tři paprsky. Ze skutečného objektu do oka přichází paprsků více (nekonečně mnoho), ale všechny se musí protnout na sítnici ve stejném bodě, pokud přicházejí z jednoho bodu.



Obr. 1: Schéma pravého oka při pohledu shora.

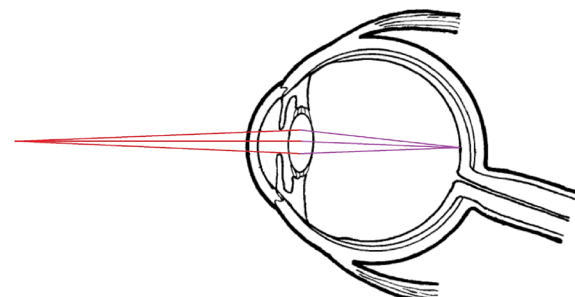
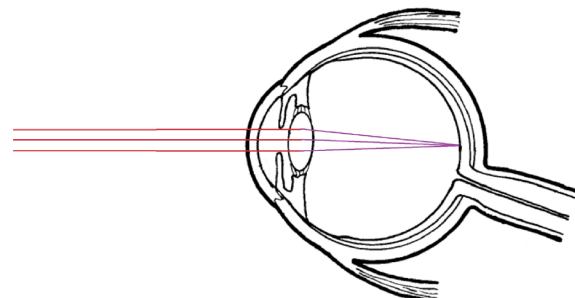
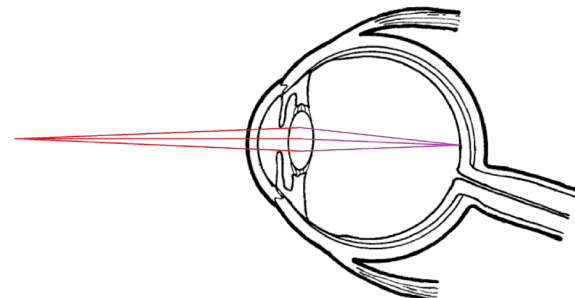
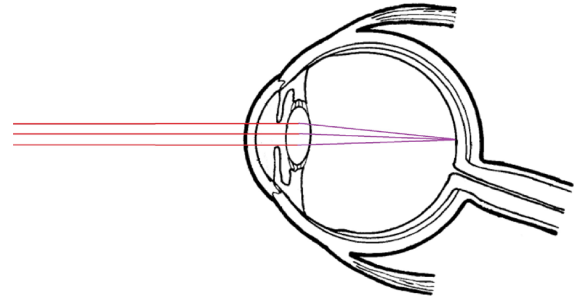
**Úkol 1: Zkoumání zdravého oka**

1. Z teorie o ostrém vidění odhadněte do schémat vpravo, jak budou procházet **zdravým okem** paprsky od dalekého (horní schéma) a blízkého (spodní schéma) objektu.

*Na paprsky přicházející z dalekého objektu můžeme nahlížet jako na rovnoběžky. (Toto zjednodušení si ověřte pomocí [RozbihavostPaprsku.ggb](http://RozbihavostPaprsku.ggb) na počítači.)*

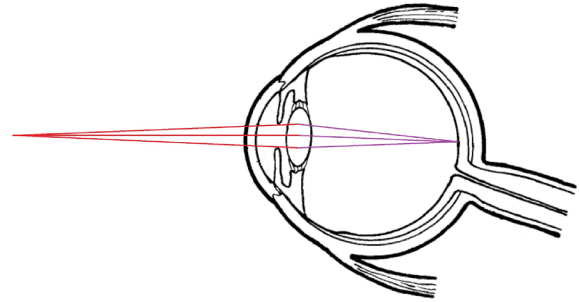
*Na paprsky přicházející z blízkého objektu musíme však nahlížet jako na rozbíhavé paprsky, což budeme simulovat pomocí vhodně umístěné spojné čočky.*

2. Rozevřete **schéma Z** na stůl, vložte **čočku 3** na místo čočky v oku a sviťte laserovým zdrojem třemi paprsky kolmo na čočku. Zakreslete do schématu vpravo, co pozorujete, a porovnejte to s vaším odhadem.
3. Na schéma položte do vyznačeného místa **čočku 1**. Oko se nyní dívá na blízký objekt, ale nezaostřilo na něj (paprsky se protínají až daleko za sítnicí). Proběhne tedy akomodace oka (u nás výměna čočky 3 za **čočku 4**). Zakreslete, co pozorujete, a porovnejte to s vaším odhadem.



**Úkol 2: Krátkozrakost**

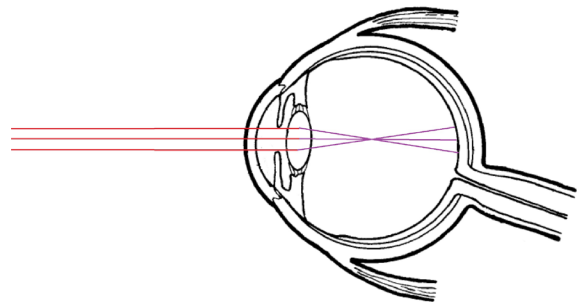
1. Pro simulaci krátkozrakého oka použijeme **schéma K**. Na schéma položte do vyznačeného místa **čočku 2**. Oko se nyní dívá na blízký předmět a přizpůsobuje se tomu tak, že svoji čočku vytvaruje do tvaru **čočky 4**. Vložte **čočku 4** na místo čočky v oku a zakreslete, co pozorujete.



2. Kde se spojily paprsky procházející čočkou?

Na sítnici.

3. **Odeberte čočku 2** simulující blízký předmět, díky čemuž se oko bude dívat na daleký předmět a proběhne akomodace oka (tj. vyměňte čočku 4 za **čočku 3**). Zakreslete, co pozorujete.



4. Kde se spojily paprsky procházející čočkou?

Před sítnicí.

5. Toto oko vidělo dobře **na blízko**/~~na dálku~~.

6. Před oko vložte jednu ze zbývajících čoček tak, aby oko vidělo dobře i na dálku. O jaký typ (spojná/rozptylná) korigující čočky se jedná?

Rozptylná.

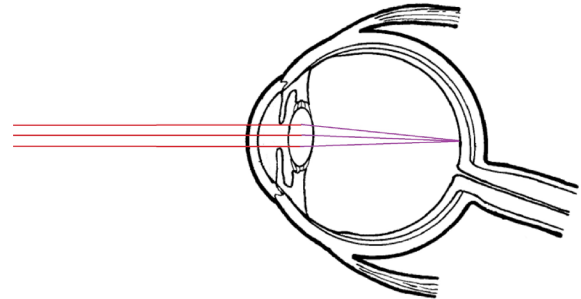
Zkoumaná vada se nazývá krátkozrakost, protože oko vidí dobře na krátkou vzdálenost. Touto vadou trpí asi 32 % populace a bývá často způsobena tím, že byli postižení v době vývoje oka nedostatečně vystavováni intenzivnímu světlu, což způsobilo přílišné prodloužení oka.





**Úkol 3: Dalekozrakost**

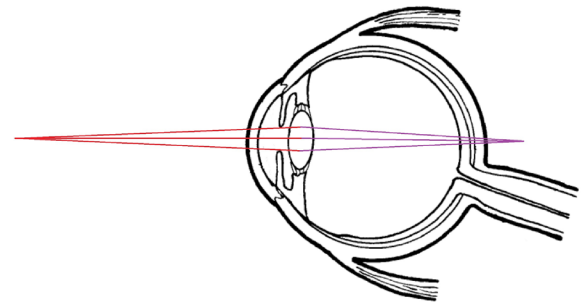
1. Dalekozraké oko budeme simulovat **schématem D**. Oko necháme hledět do dálky a umístíme na místo čočky v oku **čočku 3**. Zakreslete, co pozorujete.



2. Kde se spojily paprsky procházející čočkou?

Na sítnici.

3. Na schéma položte **čočku 2** na vyznačené místo. Oko se nyní dívá na blízko a proběhne akomodace oka (tj. vyměňte čočku 3 za **čočku 4**) Zakreslete, co pozorujete.



4. Kde se spojily paprsky procházející čočkou?

Za sítnicí.

5. Toto oko vidělo dobře ~~na blízko~~/na dálku.

6. Před oko vložte jednu ze zbývajících čoček tak, aby oko vidělo dobře i na blízko. O jaký typ (spojná/rozptylná) korigující čočky se jedná?

Spojná.

Zkoumaná vada se nazývá dalekozrakost, protože oko vidí dobře na dálku a trpí jí asi 60 % populace. Toto číslo je vysoké i proto, že u starších lidí klesá schopnost akomodace a mají problém zaostřit na blízko, čímž se stávají dalekozrakými.





#### Úkol 4: Zkoumání neznámé vady

1. Neznámou vadu bude simulovat **schéma N**. Na papír nejvíce vlevo položte na vyznačené místo **čočku 4** a na místo oční čočky **čočku 3**. O jakou vadu se jedná?

Dalekozrakost.

2. Jakou čočkou se bude tato vada korigovat?

Spojku.

3. Svůj odhad ověřte.

#### Závěr

Krátkozrací lidé vidí dobře na **blízko** a jejich zrak se opravuje brýlemi s/se **rozptylnými** čočkami.

Dalekozrací lidé vidí dobře na **dálku** a jejich zrak se opravuje brýlemi s/se **spojnými** čočkami.



## **Příloha 5A: Pracovní list stanoviště Vady barevného vidění**

V pracovním listu Vady barevného vidění v úkolu 2 v tabulce jsou hodnoty pouze orientační.

## VADY BAREVNÉHO VIDĚNÍ




- Sledujte pokyny v tomto materiálu, pokud jsou pro vás nesrozumitelné, nebojte se nás zeptat.
- Vaše dílčí i finální závěry zaznamenávejte přímo do textu či připravených grafů.
- Chcete-li, můžete si například pomocí mobilu průběh experimentu vyfotit, natočit apod.

### Cíl a idea experimentu

Na tomto stanovišti je vaším úkolem prozkoumat vady barevného vidění.

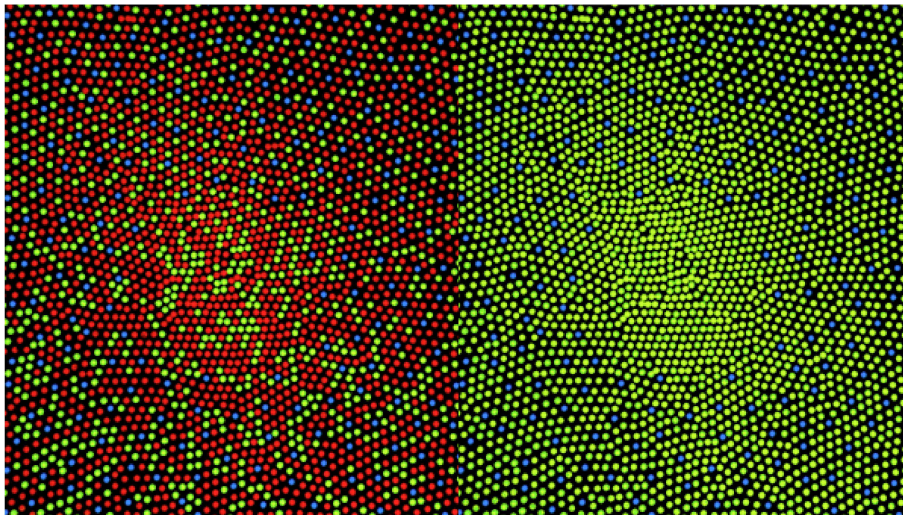
### Barevné vidění oka

Na sítnici se nachází dva typy světločivných (na světlo reagujících) buněk – tyčinky a čípky.

Čípky dělíme na 3 druhy – L-čípky citlivé nejvíce na zelenožlutou barvu (  ), M-čípky citlivé nejvíce na zelenou barvu (  ) a S-čípky citlivé nejvíce na modrofialovou barvu (  ).

U čípků rozlišujeme dva druhy vad. Jednou z nich je **-anomálie**, při které je jeden z čípků „naladěný“ na trochu jinou barvu a mozek tím pádem špatně rozlišuje určité barvy. Druhá je **-anopie**, při které jeden druh čípků zcela chybí (viz obrázek 1).

Podle toho, který z čípků je postižen rozlišujeme **prot-** (pro L-čípek), **deuter-** (pro M-čípek) a **trit-** (pro S-čípek). Můžeme tak hovořit například o protanopii, při které chybí L-čípek, nebo tritanomálii, při které je S-čípek „naladěný“ na jinou barvu. Extrémním případem je achromatopsie, při kterém chybí dva čípky a jedinec nerozeznává barvy vůbec.



Obr. 1: Rozložení čípků na sítnici v okolí žluté skvrny u zdravého jedince (vlevo) a jedince s protanopii (vpravo). L-čípky jsou značeny červeně, M-čípky zeleně, S-čípky modře; všimněte si i skutečnosti, že je žlutá skvrna velmi chudá na S-čípek u obou jedinců. Obrázek je pouze ilustrační a barvy čípků a jejich počet neodpovídá skutečnosti.

**Úkol 1: Nasycení čípků**

5. Nasad'te si brýle s červeným a tyrkysovým filtrem místo sklíček. Poznamenejte, na kterém oku máte jaký filtr:

Levé oko: Červený

Pravé oko: Tyrkysový

6. Přečtete si s brýlemi text psaný kurzívou níže, který vysvětluje podstatu tohoto experimentu.

*Aby nebyl mozek přetěžován neustálým proudem informací, začne po určité chvíli ignorovat neměnicí se signály. Běžně toto pozorujeme u sluchu (např. že se nám nezdá být hlasitá hudba příliš hlučnou), čichu (např. že přestaneme na sobě cítit vlastní voňavku), ale i zraku.*

*Zatímco máte na očích brýle s filtry, dochází k tomu, že do oka s červeným filtrem dopadá téměř jenom červené světlo, čímž se nasycuje hlavně L-čípek. Do druhého oka naopak téměř neprochází červené světlo, takže v něm se nasycuje hlavně M-čípek a S-čípek.*

7. Po dočtení pokynu si sundejte brýle a dívejte se střídavě pouze levým a potom pouze pravým okem na stěnu. Popište, do jakého odstínu byla stěna zbarvena.

Zbarvení při pohledu levým okem: Do tyrkysové

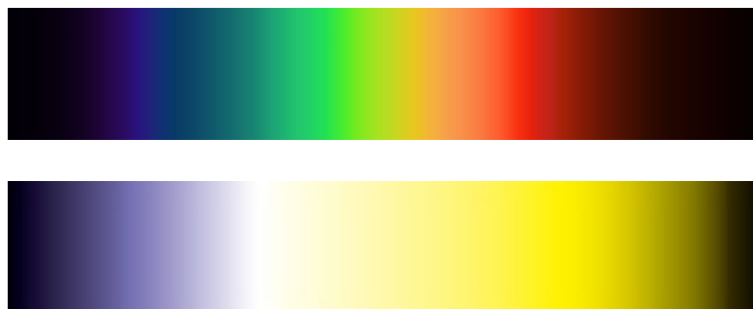
Zbarvení při pohledu pravým okem: Do červené

*Oko s červeným filtrem mělo stěnu zbarvenu do odstínu tyrkysové, protože mozek začal potlačovat signál z L-čípků, ze kterých běžně přichází informace o červené barvě. Do mozku tedy začala přicházet čerstvá informace pouze z S-čípku a M-čípku, jejichž kombinaci mozek interpretuje jako tyrkysovou. Pro druhý filtr je situace obdobná.*

**Úkol 2: Zkoumání deuteranopie**

1. Podívejte se na obrázek 2 níže, který ukazuje, jak vidí barevné spektrum zdravý člověk a deuteranop. Pokuste se slovně vystihnout hlavní rozdíly barevných spekter.

Deuteranop nedokáže rozlišit mezi červenou, oranžovou, žlutou a zelenou, všechny tyto barvy splývají v jednu, dále neodlišuje modrou a fialovou.



**Obr. 2: Vnímání barev zdravým člověkem (nahore) a člověkem trpícím deuteranopii (dole)**





Světlo dopadající do oka způsobuje vzruch (excitaci) jednotlivých čípků různě podle toho, jakou barvu světlo má. Na počítači zapněte applet *SpektrálníCitlivostCipku.ggb*, který simuluje tuto situaci.

- Na základě appletu určete, jak moc jsou různé čípky excitovány světlem různých barev, a to jak u zdravého člověka, tak u člověka trpícího deuteranopií. Zapište tyto hodnoty do tabulky.

Barva	Červená			Žlutá			Zelená			Tyrkysová			Modrá		
	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
Čípek															
Zdravý člověk	64	17	0	97	83	0	82	97	2	41	58	9	5	8	97
Člověk s deuteranopií	64	X	0	97	X	0	82	X	2	41	X	9	5	X	97

- Zdravý člověk je schopný odlišit barvy tak, že se různě excitují různé čípky. Vysvětlíte pomocí tabulky, proč deuteranopovi splývají červená, žlutá a zelená barva.

Protože červená, žlutá i zelená barva excitují u deuteranopa prakticky pouze L-čípek.

### Úkol 3: Simulování deuteranomálie

- Na tabletu běží aplikace *Color Blind Pal*, která simuluje deuteranomálii. Pozorujte skrze ni své okolí (projděte se po laboratoři, podívejte se ven skrze otevřená okna, atd.).
- Popište, jak se barvy změnily.

Červené a zelené barvy přešly do žluté, fialové přešly do modré.

Barvoslepost se opravuje speciálními brýlemi, které vyruší určité odstíny barev a díky tomu je mozek barvoslepeho schopný lépe rozlišovat dříve špatně rozlišitelné barvy. Naše brýle jsou určeny pro lidi trpící protanomálií nebo deuteranomálií.

- Nasad'te si brýle a podívejte se na svět kolem sebe. Popište, jak se změnil barvy v okolí.

Barvy přešly do modra a modrozelená.

Brýle fungují tak, že nepropouští určité konkrétní odstíny barev a pomáhají tak mozku rozlišit barvy, které se na spektru nachází blízko u sebe.

- Jaké odstíny barev brýle nepropouští? (Nápověda: Jaké barvy špatně rozlišuje člověk s deuteranomálií a tudíž potřebuje pomoci je rozlišit?)

Nepropouští hlavně odstíny červené a žluté. (Člověk s deuteranomálií špatně rozlišuje červenou, žlutou a zelenou barvu.)

### Závěr

Barvoslepi lidé obvykle nevidí žádné/některé barvy. Nejčastější typ barvosleposti je deuteranomálie, při které nerozeznávají červenou a žlutou.

