

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

Optika ve světě zvířat

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Lukáš Korbel

Přírodovědná studia: Fyzika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: RNDr. Jitka Hošková Prokšová, Ph.D.

Plzeň, 2023

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 23. 6. 2023

.....

PODĚKOVÁNÍ: Rád bych poděkoval vedoucí své práce RNDr. Jitce Hoškové Prokšové, Ph.D., za vstřícnost, pochopení, čas a odborné rady při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě v průběhu celého studia podporovala.

OBSAH

ÚVOD	5
1 FYZIKÁLNÍ PARAMETRY POTŘEBNÉ K DEFINICI ZRAKU	6
2 LIDSKÉ OKO.....	8
2.1 ROHOVKA A DUHOVKA.....	10
2.2 ČOČKA	11
2.3 SÍTNICE	12
3 OČI ŽIVOČICHŮ.....	15
3.1 KOMOROVÉ A FASETOVÉ OKO	15
3.2 KOMOROVÉ OKO U JEDNOTLIVÝCH SKUPIN OBRATLOVCŮ	17
3.2.1 Ptáci	17
3.2.2 Savci.....	18
3.2.3 Plazi.....	20
3.2.4 Obojživelníci	22
3.2.5 Ryby a Paryby	23
3.3 FASETOVÉ OKO	24
4 PRAKTICKÁ ČÁST	27
4.1 ANALÝZA UČEBNIC FYZIKY PRO ZÁKLADNÍ A STŘEDNÍ ŠKOLY.....	27
4.1.1 Martin Macháček: Fyzika 7 pro základní školy a víceletá gymnázia.....	28
4.1.2 František Jáchim a Jiří Tesař: Fyzika pro 7. ročník základní školy	29
4.1.3 Miroslav Randa a kolektiv: Fyzika 7 pro ZŠ a víceletá gymnázia	30
4.1.4 Pavel Banáš a kolektiv: Fyzika II.....	31
4.1.5 Oldřich Lepil a kolektiv: Fyzika pro střední školy II.....	33
4.2 VÝZKUM.....	34
4.2.1 Dotazníkové šetření.....	34
4.2.2 Vyhodnocení dotazníkového šetření.....	34
4.2.3 Shrnutí dotazníkového šetření	43
ZÁVĚR.....	45
RESUMÉ	46
SEZNAM LITERATURY	47
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	52
PŘÍLOHY	I

Úvod

Téma „Optika ve světě zvířat“ jsem si zvolil z několika důvodů. Již během studia nazákladní a střední škole jsem zjišťoval, že se někteří vyučující nedrží pouze rozsahu svého vyučovaného předmětu, ale rádi rozšiřují výklad i o poznatky z jiných oborů. Jelikož nyní studuji fyziku s biologií a v budoucnu se budu chtít oběma oborům věnovat, v rámci své bakalářské práce jsem se rozhodl zabývat se problematikou, které se vyučující věnují jak v hodinách fyziky, tak i biologie. Jedno z takových hlavních témat představuje zrak a oko.

Cílem mé práce bylo prezentovat zrak z hlediska fyziky, a to nejen u člověka, ale také u vybraných tříd živočišné říše. Dále se pokusit analyzovat propojení fyziky a biologie, a to jak z pohledu teorie, tak z hlediska praxe. Celou práci jsem rozdělil do několika částí. V úvodní kapitole teoretické části jsem se soustředil na důležité veličiny týkající se optiky. Další kapitola je poté zaměřena na lidské oko. Zde prezentuji oko nejen především s teorií barevného vidění, akomodací a průchodem světla. Ve třetí kapitole teoretické části představuji teorii vidění u zvířat. Zde je uveden popis jejich jednotlivých zrakových aparátů. V živočišné říši lze rovněž pozorovat i různé projevy vlnové optiky, a právě to rozebírám v další části této kapitoly.

Po teoretickém úvodu jsem se zabýval praktickou částí. Tu jsem rozdělil na dvě části, v první jsem provedl rozbor studijních materiálů z fyziky pro základní a střední školy, kde jsem se zaměřoval právě na téma oka a hledal možné přesahy mezi fyzikou a biologií. Ve druhé části jsem poté s využitím dotazníkového šetření zhodnotil znalosti žáků gymnázií v oblasti zraku a oka.

1 FYZIKÁLNÍ PARAMETRY POTŘEBNÉ K DEFINICI ZRAKU

Pro lepší pochopení zraku a vidění se v optice využívá několik důležitých veličin, které je potřeba si v úvodu představit. První z nich je index lomu. Ten dělíme na absolutní a relativní. V obou případech jde o bezrozměrnou veličinu. Absolutní index lomu n je definován jako poměr rychlosti šíření světla ve vakuu a rychlosti v daném prostředí.

$$n = \frac{c}{v}$$

Druhý index lomu nese název relativní a je definován jako poměr rychlostí šíření světla ve dvou optických prostředích v_1 a v_2 .

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$$

Relativní index obvykle charakterizuje vlastnosti rozhraní dvou optických prostředí. Relativní index na rozhraní prostředí 1 a 2 je označován jako n_{12} a úzce souvisí s jejich absolutními indexy. Je dán jejich poměrem v opačném pořadí [7].

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$$

Pokud se šíří světlo z optického prostředí s indexem lomu n_1 , v němž má rychlost v_1 , do prostředí s indexem lomu n_2 , kde má rychlost v_2 , pak platí:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{c}{n_1} : \frac{c}{n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Z toho vychází Snellův zákon, který říká, že poměr sinu úhlu dopadu α a sinu úhlu lomu β je roven převrácenému poměru absolutních indexů lomu daných optických prostředí.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

Při popisu oka se rovněž používá pojem ohnisková vzdálenost. Ta udává vzdálenost čočky od jejího ohniska a značí se písmenem f [12].

S ohniskovou vzdáleností souvisí optická mohutnost φ . Jedná se o veličinu, která udává lámavost optické plochy. Vypočítá se jako převrácená hodnota obrazové ohniskové vzdálenosti čočky. Jednotkou optické mohutnosti je m^{-1} neboli dioptrie D [8].

$$\varphi = \frac{1}{f}$$

Zhodnocení výkonu přenášeného zářením normálním lidským okem vzhledem k rozdílné citlivosti na různé barvy nazýváme světelným tokem Φ .

$$\Phi = \Phi_e K$$

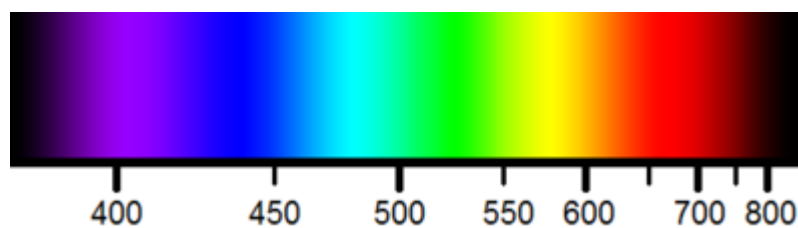
K je světelná účinnost záření a Φ_e celkový zářivý tok [12].

S optikou a lidským okem je úzce spjata elektromagnetické spektrum. Jde o spektrum elektromagnetického záření, které je dáno vlnovou délkou λ [m] a frekvencí f [Hz]. Vztah pro výpočet vlnové délky získáme jako poměr mezi rychlostí světla, která je přibližně $3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a frekvencí elektromagnetického záření.

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

Na základě vlnových délek můžeme záření rozdělit do několika spektrálních oblastí. Optika studuje spektrum elektromagnetických vln, které je viditelné pro lidské oko, což je označováno jako viditelná spektrální oblast. Kromě toho také řeší vlny v infračervené a ultrafialové spektrální oblasti [7].

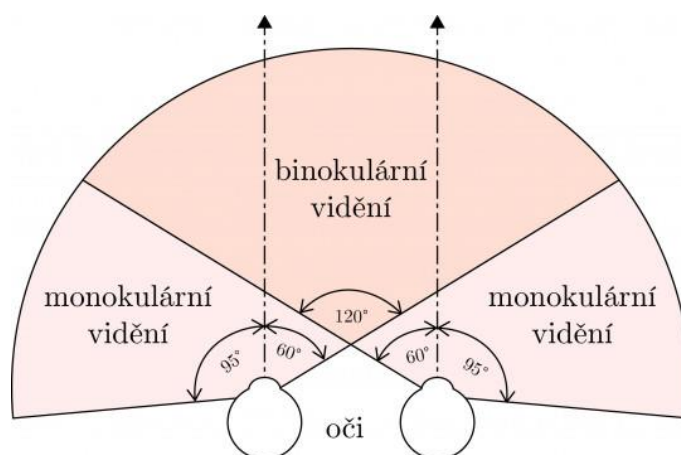
Oblast viditelného světla je úzká část elektromagnetického spektra, ve které se frekvence pohybuje od $3,9 \times 10^{14}$ Hz do 9×10^{14} Hz. Vlnové délky viditelné pro lidské oko mají rozsah 390–760 nm. Směrem k delším vlnovým délkám pak nalezneme oblast infračerveného záření, naopak kratší vlnové délky než viditelné záření má ultrafialové záření [8].



Obr. 1: Barevné spektrum viditelného světla [40]

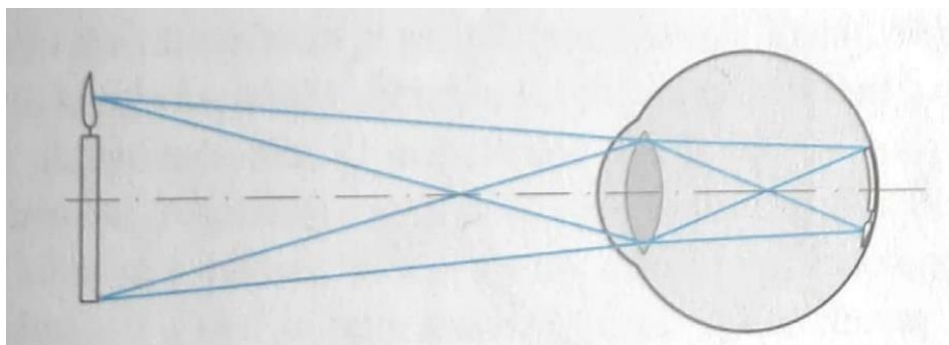
2 LIDSKÉ OKO

Zrak řadíme mezi lidské smysly a pro člověka jde o smysl nejdůležitější, jelikož 80 % všech informací z okolního světa vnímáme právě zrakem. Spojení s okolním světem zprostředkovává u člověka oko [2]. Část zevního světa, kterou okem pozorujeme, se označuje jako zorné pole. Zdravý člověk má přirozenou schopnost vidět binokulárně, což znamená, že dokáže pozorovat svět kolem sebe oběma očima a mozek ze dvou obrazů vytvoří jeden výsledný vjem.



Obr. 2: Monokulární a binokulární vidění [51]

Z hlediska optiky se oko považuje za spojnou optickou soustavu, u které se mění ohnisková vzdálenost. Ve středu oka nalezneme čočku, jež slouží k tomu, aby se obraz předmětů nacházejících se v různých vzdálenostech od oka vytvářel ve stejné vzdálenosti uvnitř oka. Obraz je převrácený, skutečný a zmenšený. Převrácený obraz lze na základě zkušeností vytvářených od narození vnímat jako jeho správnou, tzn. vzpřímenou polohu [8]. V případě oka zaostřeného na blízký předmět je jeho optická mohutnost 66,6 D.



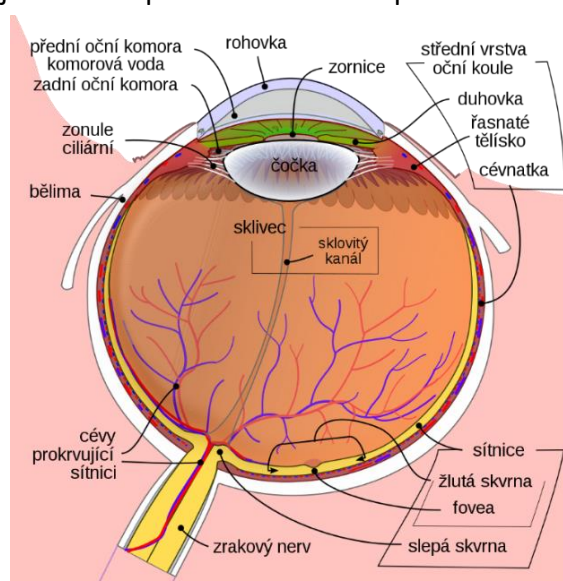
Obr. 3: Zobrazovací soustava oka [8]

Zrakový orgán rozdělujeme na oční kouli a pomocné orgány oka. Oko je orgán přímo propojený s mozkem, jeho funkce je tak velmi složitá. V 19. století zavedl Hermann von Helmholtz při studiu optiky oka označení „schematické oko“.

Zkoumání funkcí oka patří spíše do oblasti medicíny. Lékařský obor zabývající se funkcí, poruchami zrakového orgánu a jejich léčbou se nazývá oftalmologie [7].

Lidské oko má přibližně kulový tvar s průměrem asi 24 mm, je zasazeno do dutiny umožňující pouze otáčivé pohyby. Střed otáčení nalezneme ve vzdálenosti asi 13 mm od předního vrcholu oka. Oko se může pohybovat díky třem párům okohybných svalů. Prvním z nich jsou přímé svaly mediální a laterální, které otáčí oko kolem svislé osy. Horní a dolní přímé svaly zajišťují rotaci kolem osy vodorovné pravolevé. Díky šikmým svalům se oko může otáčet kolem osy předozadní [30].

Oční koule se dělí na tři vrstvy. První z nich označujeme jako vnější vazivovou vrstvu oka, v níž nalezneme rohovku a bělimu. Následuje cévnatá střední vrstva oka, tvořená třemi oddíly: cévnatkou, duhovkou a řasnatým tělískem. Jako poslední popisujeme vnitřní nervovou vrstvu, známou pod názvem sítnice. O správný tvar oční koule se stará rosolovitý sklivec. Před sklivcem pak nalezneme zavěšenou čočku. Za důležité součásti oční koule považujeme dvě oční komory. Jde o prostor mezi sklivcem a rohovkou. Každou z těchto komor pak vyplňuje komorová tekutina [3]. Čočka, sklivec, rohovka a oční mok jsou důležité při vstupu světla do oka. Společně tvoří optickou soustavu. Všechny zmíněné plochy mají zhruba kulový tvar a jejich rozdíl spočívá v hodnotě optické mohutnosti a indexu lomu.



Obr. 4: Stavba lidského oka [42]

2.1 ROHOVKA A DUHOVKA

Rohovka je popisována jako přední, průhledná a cévně neprotkaná součást vnější vazivové vrstvy oka, která má největší vyklenutí ze všech částí oční koule, tvoří 20 % z celkového povrchu oční koule, zbylých 80 % pak zastává bělima [3]. Průměr rohovky je zhruba 12 mm, tloušťka ve středu rohovky činí přibližně 0,6 mm. Index lomu rohovky je 1,376. Optická mohutnost rohovky je 42 D. Za rohovkou dále následuje přední komora s tekutinou, jejíž index lomu je 1,336 [7]. Na povrchu je rohovka stále zvlhčována tenkou vrstvou slz, díky čemuž se vyhne vyschnutí a ztrátě průhlednosti. Slzy vytvářejí jemný slzný film. Ten se stará o ochranu rohovky před nečistotami a mikroorganismy. V případě, že by se slzy netvořily, epitel by ztratil průhlednost, stal by se matným, což by vedlo k postupnému oslepnutí člověka [1].

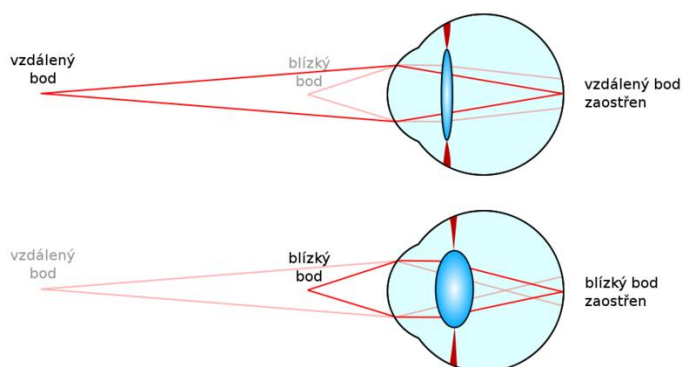
Na rozhraní rohovky, což je první lámavá plocha oka a předmětového prostoru, dojde k největší lámavosti v optické soustavě oka. Z důvodu vysokého indexu lomu pozorujeme na rozhraní rohovky a vzduchu výrazný lom. Po rohovce světelný paprsek prochází přední komorou oka vyplněnou očním mokem. Mezi rohovkou a očním mokem je minimální rozdíl v hodnotě indexu lomu, vzhledem k tomu nedochází k výrazné odchylce světelného paprsku od původního směru [12]. Dále paprsek prochází otvorem duhovky. Duhovku můžeme popsat jako kulový terčík z hladkého svalstva, který má ve svém středu kruhový otvor zvaný zornice. Najdeme ji v místě výběžku cévnatky. Za hlavní funkci duhovky můžeme považovat regulaci světla přicházejícího do oka. Povrch duhovky kryje epitel s pigmentem, který přiřazuje oku barvu. Podle množství pigmentu můžeme seřadit barvy očí od modrých, které mají nejméně pigmentu, přes zelené, hnědé až k černým. Černé oči mají pigmentu o poznání více. Zvláštní skupinou jsou novorozenci, u těch se pigment začíná tvořit až po řadě měsíců po narození. To zapříčiňuje, že mají po narození modré oči [2].

2.2 ČOČKA

Oční čočku popisujeme jako bikonvexní čočku, zadní plocha je více zakřivena než plocha přední. Index lomu je zde proměnlivý a klesá s přibývajícím vzdáleností od středu čočky [30].

Čočka má vrstevnatou strukturu, je zároveň velmi pružná a díky uchycení na svalových vláknech může měnit svou tloušťku a tvar. To vede k jemné změně optické mohutnosti. Optická mohutnost čočky se odvíjí od činnosti svaloviny v řasnatém tělísku. Pokud pozorujeme nějaký předmět, který je u zdravého oka v nekonečnu, lze sledovat zploštění čočky, v opačném případě, tedy při pohledu na blízko, se u čočky napnou ciliární svaly a zvětšuje se její zakřivení. Změně zakřivení čočky říkáme akomodace, což znamená, že se oko přizpůsobuje vzdálenosti pozorovaného objektu od oka tak, aby ostrý obraz vznikl právě na sítnici. Pokud bychom hledali moment, kdy je zakřivení čočky největší, pak je to v případě pozorování blízkého bodu [1]. Blízký bod je nejbližší ostře zobrazený bod, opakem je vzdálený bod, který u zdravého oka nalezneme v nekonečnu. Jak probíhá zobrazení blízkého a vzdáleného bodu, můžeme vidět na obr. 5. U blízkého bodu záleží na věku člověka, s přibývajícím rokem se jeho poloha mění. U dětí je blízký bod ve vzdálenosti necelých 10 cm, u lidí středního věku se tato hodnota zvětšila na 20–40 cm. Staří lidé mohou mít blízký bod ve vzdálenosti až 2 m. S blízkým bodem úzce souvisí také optická mohutnost čočky, která se v průběhu života snižuje. Například u dětí ve věku 10 let je optická mohutnost zhruba 14 D, po dovršení plnoletosti je to 9 D, u lidí ve věku 40 let již pouhých 1–2 D a nulovou optickou mohutnost čočky mívají lidé starší 70 let. Největší posun blízkého bodu nastává kolem 45. roku života, tento problém pak lze řešit použitím brýlí se spojnými čočkami, díky kterým se blízký bod posune do vhodné vzdálenosti ke čtení, též nazývané konvenční zraková vzdálenost, jejíž hodnota je 25 cm [7].

Nejméně zakřivená je čočka naopak v momentě uvolnění ciliárního svalu, oko je v tu dobu zaostřeno na vzdálené předměty čili neakomodované. Index lomu čočky se pohybuje od 1,38, který měříme na krajích, až po 1,41, což je index lomu uprostřed čočky [7].



Obr. 5: Zobrazení blízkého a vzdáleného bodu [45]

2.3 SÍTNICE

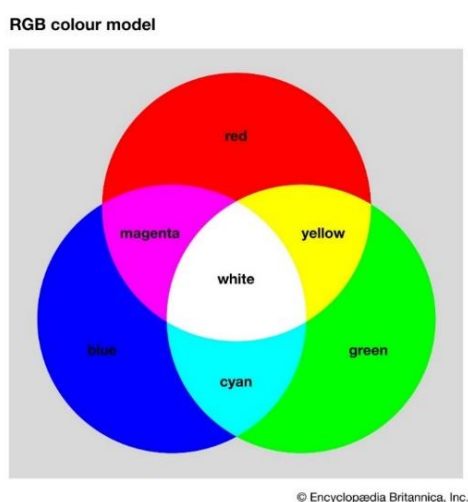
Jakmile projde čočkou, vstupuje světelný paprsek do sklivce. Je to průhledná, čirá, vodnatá a bezbuněčná hmota, vyplňující prostor uvnitř oční koule. Funkci stínítka zastává u oka sítnice. Tu označujeme jako vlastní světločivný orgán oka. Sítnice tvoří vnitřní vrstvu oční koule. V podstatě jde o tenkou vrstvu s tloušťkou od 0,1 mm do 0,5 mm.

Na sítnici nalezneme dva druhy fotocitlivých buněk. První z nich jsou tyčinky, které jsou velmi citlivé na změnu intenzity světla, jejich počet se pohybuje v rozmezí 100 až 130 milionů, nerozlišují však barvy [7, 12]. V tyčinkách je obsažen rhodopsin, pigment citlivý na světlo. Koncentrace tohoto pigmentu se zvyšuje ve tmě, což má za následek, že oko reaguje ve tmě mnohem citlivěji než ve dne. V případě, že tyčinky neplní svou funkci správně, mluvíme o šerosleposti, což je onemocnění, které se vyznačuje zhoršeným nebo zaniklým viděním za šera [2].

Druhým typem fotocitlivých buněk jsou čípky, kterých je v lidském oku asi 6 až 10 milionů [7, 12]. Člověk má tři typy čípků, z nichž každý reaguje na jinou barvu. První z nich rozeznává zelenou barvu, druhý modrou a poslední červenou barvu spektra. V porovnání s tyčinkami potřebují čípky výrazně více osvětlení, zároveň však zajišťují lepší vidění než tyčinky. Čípky nalezneme ve střední části sítnice, která nese označení žlutá skvrna. Ta je nejcitlivějším místem na sítnici i místem nejostřejšího vidění [7].

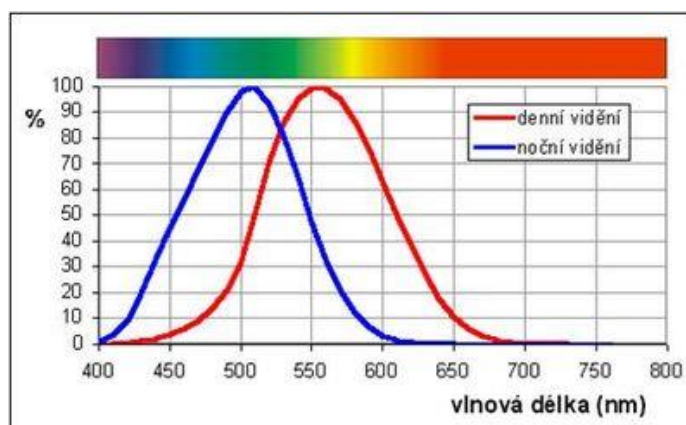
Jak již bylo zmíněno výše, člověk je schopen díky čípkům rozeznávat barvy. Schopnost rozeznávat barvy nazýváme barvocit. Znamená to, že můžeme vnímat vlnovou délku určité části spektra, která se odrazí od předmětu, nebo jím projde. Každou z barev můžeme rozlišit nejen díky fyzikální charakteristice, ale také subjektivními vjemy. Fyzikální charakteristikou rozumíme různé vlnové délky světelných impulsů nebo frekvenci světla dopadajícího na pozorovaný objekt. Jednotlivé vlnové délky jsou pro různé odstíny barev specifické a nesou označení barevný tón [8]. Jednotlivé barvy nejsou nijak ohraničené, jedna barva plynule přejde ve druhou. Ne všechny barvy jsou na spektru přítomné, řada z nich vznikla smícháním několika vlnových délek. Základní jsou podle přítomnosti tří typů čípků barvy červená, modrá a zelená. Každou další barvu, kterou je oko schopno vnímat, můžeme složit v libovolných poměrech z těchto tří základních barev. Skládáním barev se zabývali Thomas Young a Hermann von Helmholtz.

Youngova–Helmholtzova teorie je založena na fungování modelu RGB (red–green–blue). Young předpokládal, že uvnitř oka dochází k mísení těchto barev a ke vzniku různých kombinací, což nazýváme aditivní mísení barev. Na Younga navázal německý fyziolog Hermann von Helmholtz. Ten měl za to, že receptory nereagují pouze na jednu barvu, ale jsou drážděny všemi třemi barvami s různou intenzitou, z toho pak lze vytvořit jakýkoliv barevný odstín. V případě, že k tomuto míchání dojde ve stejných poměrech a se stejnou intenzitou, vznikne vjem bílé barvy [12].



Obr. 6: Barevný RGB-model [44]

Jestliže mluvíme o vnímání barev, pak určitě musíme zmínit i Purkyňův jev. Ten souvisí se změnami intenzity světla, čímž se mění citlivost oka k barvám. Pokud je oko slabě osvětleno, maximální citlivost se posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám. Na základě množství světla dopadajícího do oka rozlišujeme dva druhy vidění: denní a noční. Při denním nebo též fotopickém vidění hrají klíčovou úlohu čípky, jejichž pomocí je světlo zaznamenáno. V případě fotopického vidění je maximum citlivosti při vlnové délce přibližně 550 nm. U nočního neboli skotopického vidění jsou hlavním aktérem vnímání světla tyčinky, v tomto případě maximum citlivosti popisujeme pro vlnovou délku 500 nm [12].



Obr. 7: Křivka spektrální citlivosti při denním a nočním vidění [44]

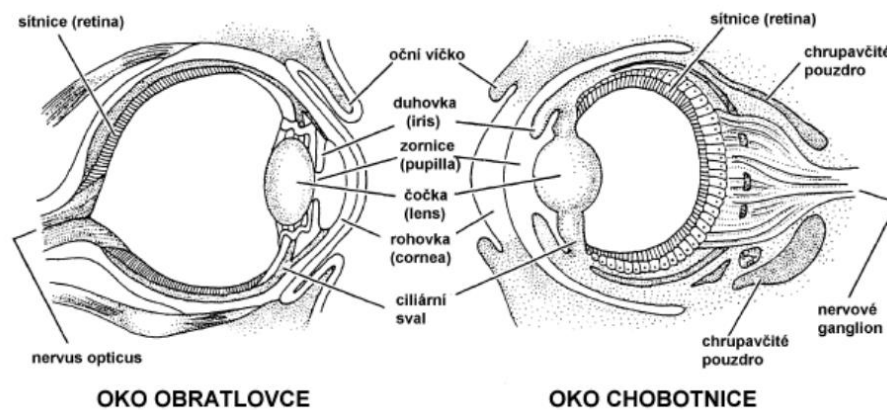
Obraz se vytváří v oku téměř vždy ve žluté skvrně. Nejméně citlivá je naopak slepá skvrna, což je místo, kde zrakový nerv vstupuje do oka [30]. Slepá skvrna je popisována jako kruh s průměrem asi 1,5 mm [15]. Slepá skvrna neobsahuje tyčinky ani čípky. Pokud chceme zjistit přítomnost slepé skvrny, využijeme k tomu experiment zvaný Mariottův test z roku 1668:

„Na papír nakreslete tužkou dva malé tmavé kroužky vzdálené 10 cm od sebe. Zakryjte si levé oko dlaní a pravým okem sledujte pouze levý kroužek. Papír přitom posunujte do různé vzdálenosti od oka. Ve vzdálenosti kolem 30 cm náhle pravý kroužek zmizí. Při pozorování jednoho ze dvou bodů z určité vzdálenosti dopadne světlo z druhého bodu na slepou skvrnu“ [13].

3 OČI ŽIVOČICHŮ

3.1 KOMOROVÉ A FASETOVÉ OKO

Na naší planetě nalezneme několik milionů živočišných druhů a drtivá většina z nich má oči. Optické struktury v různých formách nalezneme asi u 96 % zástupců živočišné říše. U živočichů pozorujeme dva základní typy očí, a to komorové a fasetové. Komorové oko nalezneme u obratlovců, zatímco fasetové oko je charakteristické především pro bezobratlé živočichy, jako jsou například hmyz či drobní korýši. Oba typy oka mají výrazné rozdíly v anatomii, vnímání světla a přizpůsobení se různým prostředím.



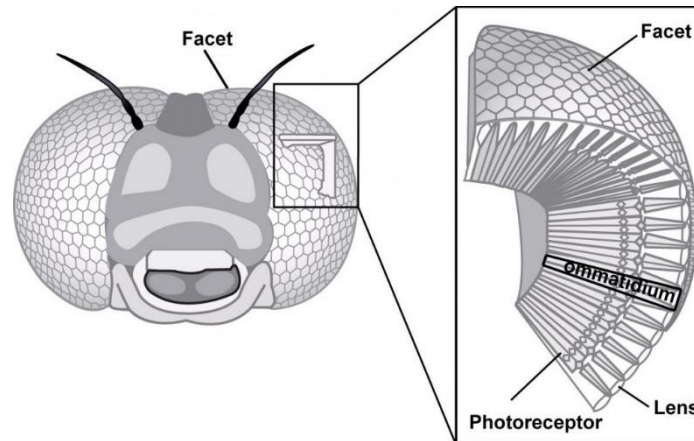
Obr. 8: Stavba komorového oka [49]

Komorové oko u zvířat se svou stavbou velmi podobá lidskému. Najdeme zde všechny důležité části, které stejně jako u člověka pomáhají s vnímáním okolního světa. Komorové oko se skládá z několika vrstev, vnější vrstvu tvoří oční rohovka, která chrání oko, a duhovka, jež reguluje množství světla vstupujícího do oka. Za duhovkou se nachází jedna velká čočka, která dokáže měnit svůj tvar, tak aby byla schopna zaměřovat na různé vzdálenosti. Po průchodu světla čočkou dopadne světlo na sítnici, kde jsou umístěny tyčinky a čípky. O rozdílu mezi těmito fotoreceptory jsem se již zmiňoval v kapitole o lidském oku. Fotoreceptory zachytávají světlo a přeměňují ho na signály, které se pak přenášejí do mozku a vytvářejí výsledný obraz. Komorové oko poskytuje živočichům vysokou kvalitu obrazu a dokáže rozpoznat detaily na větší vzdálenosti. U komorového oka živočichů zároveň můžeme pozorovat různé odchylky v barevném vnímání v porovnání s člověkem, stejně jako ve srovnání s fasetovým okem. Na ty se blíže podíváme v následujících kapitolách [21].

Na druhé straně stojí fasetové oko, to se skládá z mnoha malých jednotek zvaných omatidia. Ta jsou uspořádána jako mozaika na povrchu hlavy a sama o sobě již představují samostatné jednotky s vlastním světlořadným a světločivným aparátem. Veškeré pohyby jsou brány jako přechody mezi jednotlivými omatidii, z jednotlivých obrazů pak vzniká obraz výsledný. Povrch jednotlivých omatidií je kryt průsvitnou rohovkou označovanou jako kutikulární faseta, jde o pevnou průhlednou hmotu, jež chrání vnitřní struktury oka. Zároveň plní důležitou úlohu v optickém aparátu omatidia, jelikož má podíl na koncentraci světla na smyslové buňky. Pod rohovkou pozorujeme drobný kuželík, který zastává roli čočky. Čočky nejsou u fasetového oka schopny zaostřovat na různé vzdálenosti. Za tímto kuželíkem je sítnice, tvořená tyčinkovitým rhabdomem, jde o kruh sítnicových buněk. Ve srovnání s komorovým okem má fasetové oko konvexní sítnici a tvoří vzpřímený obraz. Množství fotocitlivých receptorů jednotlivých omatidií se označuje jako retinula. U vyspělejšího hmyzu existuje jen jednovrstevná řada fotoreceptorů.

Další důležitý rozdíl mezi komorovým a fasetovým okem je to, že zatímco u obratlovců po dopadu světla na sítnici a jeho zpracování v mozku vzniká plastický zrakový obraz, u hmyzu vzniká pouze mozaika světlých a tmavých bodů, která umožní hmyzu lepší orientaci v prostoru, měření rychlosti letu nebo vzdáleností. Jde o poměrně užitečnou funkci vzhledem k lovu nebo obraně před letícími predátory. Orientačními body jsou pro hmyz výrazné světelné body, jako Slunce nebo Měsíc.

Neméně důležitou oblastí, kde pozorujeme rozdíl u fasetového oka ve srovnání s komorovým okem, je vnímání barev. Hmyz má uloženy zrakové pigmenty v diskových membránách [28]. U většiny druhů hmyzu obsahuje fasetové oko dva druhy pigmentů. První z nich je schopen reagovat na ultrafialové světlo (UV) a světlo modré barvy [14]. Druhý typ pigmentu umožňuje u hmyzu reakci na zelené a žluté světlo. Někteří zástupci mají ve svém oku ještě jeden druh zrakového pigmentu, který umožňuje vnímání světla od ultrafialového po zelené [36]. U hmyzu se tedy citlivost ke spektru posouvá směrem ke krátkovlnné oblasti. Je tedy schopen vnímat barvy v blízkosti UV-spektra, což jsou pro člověka neviditelné délky, někteří obratlovci je však dokážou rovněž vidět [28].



Obr. 9: Fasetové oko [46]

3.2 KOMOROVÉ OKO U JEDNOTLIVÝCH SKUPIN OBRATLOVCŮ

3.2.1 PTÁCI

Ptáci mají velmi dobře vyvinutý zrak. Vidí daleko a detailně. Většina druhů ptáků má oči po stranách hlavy [23]. Díky tomu získávají široký zorný úhel. U některých ptačích druhů je to horizontálně až 360°. Ptáci mají ale poměrně úzké zorné pole, ve kterém vidí oběma očima, proto mají omezené prostorové vnímání [31]. Oko ptáků navíc obsahuje takzvanou mžurku, jde o chrupavku vyztuženou membránou ve vnitřním koutku oka. Obsahuje slznou žlázu ke zvlhčování povrchu oka nebo k ochraně oka před cizími tělesy. Například vodní ptáci mžurku používají při potápění. Ptáci jsou skupinou, u které pozorujeme nejvyvinutější systém barevného vidění. Stejně jako je tomu u fasetového oka hmyzu, mohou i ptáci kromě základních barev vidět také v ultrafialové oblasti spektra, zde leží také maximum spektrální citlivosti jednoho čípků. Kromě schopnosti vnímání UV-záření zároveň ptáci mohou rozlišovat i širší spektrum barevných odstínů. Jedním z důvodů je rovnoměrné rozložení čípků v rámci větší plochy, než je tomu v případě lidského oka. Ve srovnání s lidským okem pozorujeme u ptáků rozdíl v počtu žlutých skvrn. Zatímco člověk má pouze jednu, ptáci jich mají více, u některých druhů jsou podlouhlé, což umožňuje velmi dobré vidění v rámci celého horizontu [24]. Dolní žlutá skvrna umožňuje zaostření na vyhlédnutou kořist, horní žlutá skvrna pak zachycuje ostře oblohu, to dává ptákům možnost vyhnout se překvapení v podobě vysoko letícího dravce.

Kromě toho nalezneme u ptáků na sítnici ještě jeden důležitý mechanismus, jenž pomáhá zlepšit rozlišovací schopnosti a adaptivnost barevného vidění. Fotoreceptory mají na své vnitřní části barevné olejové kapénky vytvářející filtr. Tímto filtrem světlo projde předtím, než je zachyceno zrakovým pigmentem.

Kapénky nepropouští celé pásmo viditelného spektra, ale na základě zbarvení pásmo zúžené. Hrají tak klíčovou roli v procesu míchání barev ve fotoreceptorech, některé vjemy dokážou zesílit, jiné naopak oslabit. Příkladem ptáků s vysokým zastoupením olejových kapek jsou holub a mořští ptáci, ti podstatně hůře rozlišují v pásmu krátkých vln. Modrou nebo fialovou barvu tak ve srovnání s ostatními barvami vidí vybledle. U jiných ptáků, jako jsou datel nebo různé druhy dravců, je naopak obsah červených kapének výrazně nižší, což vede k předpokladu, že modrý vjem budou vidět podobně jako my [14].

„Nejvýkonnější ptačí oči mají zřejmě dravci, kteří vidí 3–6x ostřeji než člověk a dokážou rozlišit až 150 obrazů za sekundu, zatímco lidé jen 18–20.“ [31].

Zvláštní skupinou jsou sovy, jejich oči jsou stejně velké jako u člověk a jsou umístěné v lebce o velikosti golfového míčku. Sova je typická perfektním nočním viděním, její oko je zhruba stokrát citlivější než lidské. Velké oči však sebou nesou i nevýhody, sovy s nimi totiž nedokáží pohybovat a pokud chce vidět do strany, musí otočit celou hlavou [13].

3.2.2 SAVCI

Savci jsou velmi různorodou skupinou, která zahrnuje živočichy se specifickými potřebami a způsoby života. U jednotlivých druhů savců s komorovým okem zaznamenáváme různé odchylky, a to jak ve stavbě, tak i ve způsobu vidění. Vidění je u velkého počtu savců dichromatické, což znamená, že savci mají pouze dva druhy čípků. Třetí druh čípků se později vyvinul kromě člověka také u primátů.

První zástupci, na které se podíváme blíže, jsou psi. Ti mají kulaté oči s kruhovými zorničkami. Jsou schopni binokulárního vidění, tedy vidění oběma očima současně. Jejich zorné pole není tak široké jako u lidí, ale mají vyvinutou periferní vizuální schopnost, což jim umožňuje vnímat pohyby a objekty, které se nacházejí mimo jejich zorné pole. Zároveň mají psi ve svém oku větší počet tyčinek. To zajišťuje schopnost vnímat nízké intenzity světla [14].

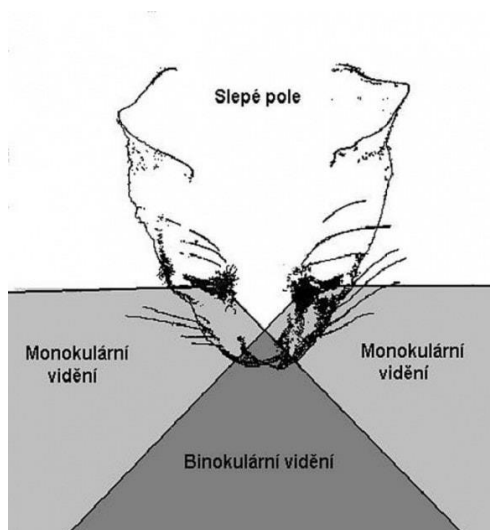
Mají tedy mnohem lepší noční vidění než člověk, ke zlepšení vidění psů v noci zároveň pomáhá reflexní vrstva označovaná *tapetum lucidum*, která umožňuje živočichům lepší vidění za šera. Na druhé straně je zde méně čípků, což vede ke snížení citlivosti na barvy a detaily. Psi vidí v méně jasných barvách než člověk, zároveň jsou však schopni rozeznat různé odstíny šedé. Mají pouze dva typy kuželových buněk, konkrétně modré a žluté, naopak nemají červené a zelené [25].



Obr. 10: Spektrum barevného vidění u člověka a u psa [47]

Unikátní strukturu, která se liší od psích i lidských očí, mají kočky. Ta jim umožňuje dobře vidět v jasných i tlumených světelných podmínkách. Kočičí oči mají větší rohovku a sférickou čočku, díky čemuž jsou schopny vidět širší zorné pole, než je tomu u psů.

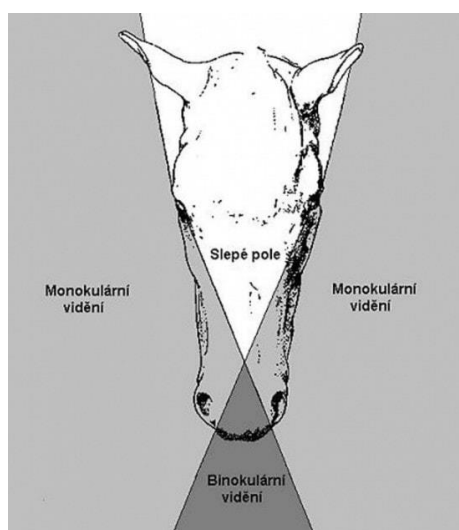
Zornice kočky je vertikální štěrbinu, která se může rychle zužovat a rozšiřovat, aby se přizpůsobila různým úrovním osvětlení. Kočky mají ve svém oku více tyčinek než čípků, to vede k vyšší citlivosti na světlo a lepšímu vidění v temném prostředí.



Obr. 11: Zorné pole kočky [20]

Stejně jako psi mají také kočky *tapetum lucidum*, která je zde silná a v temných prostředích způsobuje, že oči kočky září. Psí i kočičí oči jsou tak přizpůsobeny životním podmínkám daných druhů [19].

Odlišné oko mají v porovnání s kočkami a psy koně. Ti mají největší oči ze všech suchozemských živočichů. Jsou umístěny na bocích hlavy, což koním dává možnost širokého zorného pole. Koně jsou schopni vidět i část prostoru za sebou. Zároveň však mají dvě slepá místa, kde koně nevidí, jedno z nich je přímo před nimi a druhé je za hlavou [30]. Oko z vnějšku chrání horní a spodní víčko, ve vnitřním koutku oka opět nalezneme mžurku. Zornice jsou u koní horizontální. V sítnici nalezneme více tyčinek než čípků, což značí, že kůň vidí lépe za šera, lépe vnímá barevný kontrast a zvládne detekci pohybu, ale jeho vnímání barev je omezené [30].

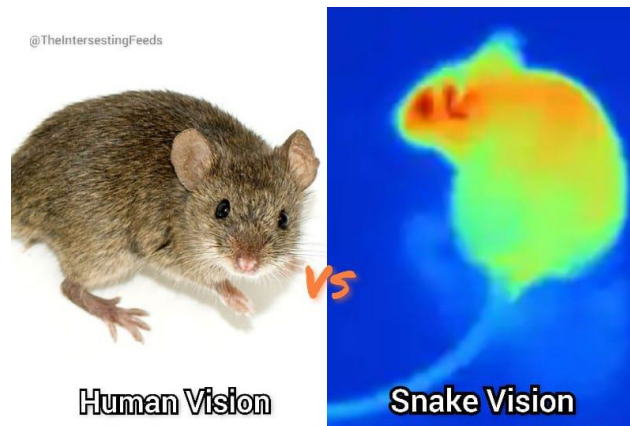


Obr. 12: Zorné pole koně [20]

3.2.3 PLAZI

Plazi mají obecně kulaté oči s čočkou a sítnicí, podobně jako savci a ptáci. Mezi jednotlivými druhy však existují výrazné rozdíly v uspořádání oka a jeho funkcí. U hadů se liší oči druh od druhu a v závislosti na životním stylu hada. Například hadi žijící v podzemí mají menší oči, kterými dokážou rozlišit pouze světlo a tmou. Hadi, kteří žijí na zemi a zrak používají k lovu, ho mají lepší, dobře vnímají pohyb a rozlišují vzdálenosti. Zatímco u člověka jsou oči trichromatické, u hadů reagují opsiny v čípkách pouze na dvě barvy, a to zelenou a modrou.

Hadi jsou rovněž schopni vnímat barvy v ultrafialové oblasti. Kromě toho se u nich objevuje v okolí čelistí jamkovitý orgán, v zásadě jde o mikroskopický infračervený senzor, díky kterému jsou hadi schopni lovit v noci a dokážou určit směr a vzdálenost pozorovaného objektu [37].



Obr. 13: Srovnání vidění u člověka a hadů [48]

Dobře vyvinutý zrak mají také krokodýli. Ti mají oči posazené na vrcholu hlavy, to je pro ně výhodné z toho důvodu, že mohou pozorovat kořist, zatímco zbytek těla je ponořen pod vodní hladinou. Krokodýli jsou převážně noční lovci, jejich zorničky jsou proto svislé rozšířitelné. Horní víčko krokodýlů je zrohovatělé a nepohyblivé. Na rozdíl od spodního víčka, jehož pohyblivost je velmi dobrá. Stejně jako ptáci mají krokodýli ve svém oku mžurku. Zároveň jsou schopni registrovat širokou barevnou škálu [32].

Skupinou se specifickým zrakovým aparátem jsou chameleoni. Právě zrak je u nich nejvíce vyvinut. Chameleoni mají velké oči umístěné na vrcholu hlavy. S výjimkou malého otvoru kolem zorničky jsou celé překryté srostlými víčky. Oči se u chameleonů vyznačují vysokou pohyblivostí, zároveň se mohou pohybovat různými směry nezávisle na sobě, dokážou tedy současně sledovat různé obrazy.

To vše zvládají chameleoni bez pohybu těla, vyhnou se tak možnému prozrazení se před kořistí. Každé oko se může otáčet všemi směry v úhlu $\pm 180^\circ$. Za hřbetem však mají tzv. mrtvý bod, tedy místo, kam oko chameleona nevidí. Tím, že se oči pohybují nezávisle na sobě, ani obrazy se neslučují v jeden, ale mozek je vyhodnotí každý zvlášť. Chameleon dokáže formovat oční čočku, což mu pomáhá k přesnému odhadu vzdálenosti kořisti, některé druhy dokážou vidět potravu na vzdálenost až 1 km [32].

3.2.4 OBOJŽIVELNÍCI

Obojživelníci mají různé tvary očí, v závislosti na jejich životním stylu. Jejich oči jsou přizpůsobeny pro vidění jak ve vodním prostředí, tak na souši. U obojživelníků je zrak důležitý především při lovu potravy, zpravidla totiž reagují na pohyb. O nehybné objekty obvykle nemívají zájem. Rozdíly pozorujeme i mezi jednotlivými skupinami obojživelníků. Stromové druhy žab mají velké oči namířené vpřed, což jim umožňuje přesné odhadování vzdáleností v prostoru. U ostatních žab jsou oči umístěny po stranách svrchní strany hlavy, to vede k tomu, že žáby mají široké zorné pole, zorná pole obou očí se překrývají, a horizontální rozsah vidění je tak takřka 360°. Žáby tedy mohou sledovat pohyby na souši i během toho, kdy mají tělo ponořené ve vodě. Po stranách hlavy nacházíme oči i u suchozemských ocasatých obojživelníků. Naopak zakrnělé nebo redukované jsou oči u některých jeskynních a podzemních druhů, u kterých bývají často pokryté kůží, či kostěnou tkání [35].

Při bližším pohledu na oko žab zjistíme, že je mají lépe vyvinuté než suchozemští ocasatí obojživelníci. Stejně jako u krokodýlů je horní víčko je nepohyblivé, a mrká tedy pouze spodní. Jestliže chtějí žáby mrknout, pak se zároveň využívají speciální svaly, které umožňují zatahování oční koule do lebky. Oči během toho tlačí na strop ústní dutiny, což může pomoci ke spolknutí větší potravy.

U žab dochází v případě akomodace k přitahování a zatahování čočky k rohovce, resp. zvedání celé oční koule [37]. Na sítnici pak mají žáby čtyři druhy světločivných buněk, konkrétně jde o zelené a červené tyčinky, jednoduché a dvojité čípky. Dá se tedy očekávat, že obojživelníci jsou schopni vnímat některé barvy. Žáby jsou zároveň schopny dobře vnímat změnu intenzity světla, světelné kontrasty a pohyb, dokážou tak sledovat pohyby kořisti i v husté vegetaci.

Zajímavým zástupcem obojživelníků je pak axolotl mexický. Ten má světločivné buňky kromě očí roztroušeny i v kůži po celém těle [35].

3.2.5 RYBY A PARYBY

Pro ryby je důležité přizpůsobit zrak, tak aby mohl ve vodním prostředí vidět i nepatrné pohyby. U samotného oka můžeme pozorovat rozdíly v porovnání s lidským okem nebo také okem ostatních savců. Je to způsobeno právě tím, že se ryby pohybují ve vodním prostředí. To vede k tomu, že oči nevystupují z lebky, jejich pohyblivost je poměrně dobrá, nalezneme je po stranách hlavy, vytvářejí tedy pouze úzké binokulární zorné pole a nemají slzné kanálky. Pouze u některých druhů pak nalezneme víčka, ta navíc mají jinou funkci než u suchozemských živočichů. Starají se o ochranu očí při rychlém pohybu ve vodě. Velikost oka je u jednotlivých druhů rozdílná, závisí na způsobu života a potravní orientaci. Denní ryby, jako jsou například štika nebo cejn, mají velké oči, jelikož potravu vyhledávají zrakem. Malé oči pak mají ryby, které loví v noci a k vyhledávání potravy využívají jiné smysly. Do této skupiny řadíme sumce nebo úhoře [38].

Rybí oko musí fungovat v těžších podmínkách, než je tomu u suchozemských živočichů. Většina světla dopadajícího na hladinu se totiž odrazí zpět, a ryby se tak musí pohybovat ve zhoršených světelných podmínkách. Z toho důvodu mají velkou zornici, která do oka propustí nejvyšší možné množství světla.

Při měnící se intenzitě nedochází ke smrštění ani rozšíření zornice, ryby jsou však schopny přizpůsobit zrak výrazným světelným změnám. Díky tvaru čočky jsou ryby schopny dobře vidět nablízko, což je pro ně výhodné, jelikož ve vodním prostředí není příliš daleko vidět. Pokud chtějí ryby zaostřit, jsou toho schopny díky speciálnímu svaly umožňujícímu přibližování a oddalování čočky vůči sítnici, kde se zachycuje obraz.

Stejně jako u dalších skupin živočichů, nalezneme i u ryb světločivné buňky. Ryby dokážou rozeznávat barvy, a to i v různých odstínech. Vnímání barev se mění s narůstající hloubkou vodního sloupce. Například červené světlo prochází jen nejvrchnějšími vrstvami. Ve větších hloubkách jsou pak ryby schopny rozeznávat impulsy především v modré a zelené části barevného spektra. Počet tyčinek a čípků se liší v závislosti na tom, kdy daný druh loví [37].

U nočních ryb a ryb lovcích za šera převládá na sítnici větší množství tyčinek. Na druhé straně jsou ryby aktivní ve dne, u kterých převládají čípky, a naopak tyčinky jsou zde zastoupeny pouze v nepatrném množství. Druhy aktivní ve dne tedy vidí mnohem lépe než noční druhy.

U paryb, jako jsou například žraloci, jsou smysly celkem dobře vyvinuty, jejich oči jsou umístěny na hlavě laterálně, což má za následek velké zorné pole. Kromě širokého zorného pole však najdeme i dvě slepá místa. Ve stavbě žraločího oka pozorujeme velkou podobnost s okem jiných obratlovců [26]. Stejně jako u některých savců, nalezneme i u žraloků *tapetum lucidum*. Tato vrstva jim umožňuje vidět ve dne i v noci, v temné hlubině i u osluněné hladiny. V případě zhoršených světelných podmínek vidí obraz ve světlých odstínech [17]. Mnoho žraloků je schopno, stejně jako my, regulovat množství světla vstupujícího do očí rozšířením nebo stažením zorniček. U žraloků je vidění pravděpodobně monochromatické, s primitivním barevným viděním. Zajímavé u žraloků je to, že nemají oční víčka [37].

3.3 FASETOVÉ OKO

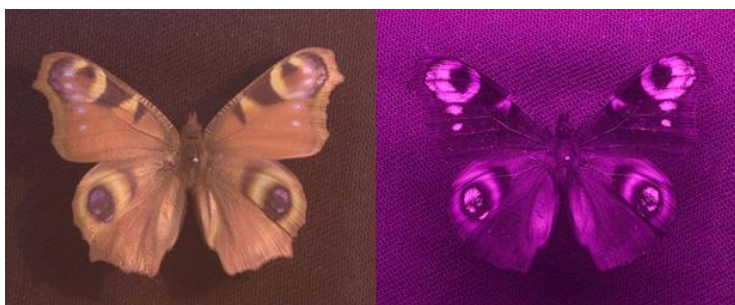
Jak již bylo zmíněno výše, hmyz je skupinou živočichů, která má fasetové oči. Zajímavými zástupci jsou opylovači, konkrétně pak včely. Včely mají stejně jako člověk tři druhy světločivných pigmentů, čímž se liší od většiny ostatních druhů hmyzu, kteří vnímají barvy pomocí dvou světločivných pigmentů, ve srovnání s člověkem zde však pozorujeme rozdílnou spektrální citlivost. Včely dokáží vnímat světlo v ultrafialové, zelené a modré oblasti. Naopak mají problémy s rozpoznáním červené barvy. Barvy květů tedy vidí v těchto třech barvách a v různých přechodných odstínech. Některé červené květy vidí včely achromaticky čili v odstínech šedi, jiné naopak jako čistě ultrafialové. V ultrafialové oblasti dokážou na květinách pozorovat různé vzory, které my nejsme schopni vnímat. Řada květin se již dokázala adaptovat, a tak často dochází ke zvýraznění květinového centra, což pomáhá k nalákání včel. Zde mohou být zvýrazněny pestíky, tyčinky nebo celé okvětní lístky [34].



Obr. 14: Jak vidí včela [50]

Mouchy již vnímají barvy pomocí dvou světločivných pigmentů, jejich vnímání okolního světa je však v některých směrech rozdílné. Mouchy dokážou velmi dobře registrovat pohyb. Nervový přenos mezi mozkem a očima probíhá rychleji, a vidění mouchy je tedy rychlejší než u lidí, což v praxi znamená, že jakýkoliv pohyb ve svém okolí zaregistruje moucha prakticky okamžitě, proto stihne ve většině případů ohrožení včas ulétnout, čemuž přispívá také široké zorné pole, které je v tomto případě téměř 360°.

Již jsme uvedli, že ultrafialová barva je důležitá v procesu opylení květů, u motýlů však plní ještě jednu úlohu. Křídla motýlů totiž mají kromě pro nás viditelných vzorů další vzory v ultrafialovém spektru, které jsou viditelné pouze pro motýly. Tyto vzory slouží ke vzájemné identifikaci, i když nám na první pohled mohou některé druhy motýlů připadat vzhledově naprosto shodné. Motýli mají ultrafialovou barvu na svých křídlech a využívají jí k nalákání partnerů [34]. U babočekovitých odrážejí křídla ultrafialovou část spektra především v oblasti takzvaných falešných očí, což pomáhá lépe plnit ochrannou funkci, tedy upoutat pozornost útočníka a poskytnou motýlovi čas na únik, případně směřovat útok predátora pryč od životně důležitých orgánů [38].



Obr. 15: Ultrafialová barva na křídlech babočky paví oko [51]

V úvodní kapitole bylo během popisu fasetového oka zmíněno, že živočichové používají k orientaci v prostoru v noci Měsíc a také světlo hvězd na obloze. Pokouší se při svém letu udržovat stále stejný úhel mezi směrem, kterým letí, a směrem, od kterého světlo přichází z oblohy. Jelikož jsou hvězdy velmi vzdálené a jejich poloha na obloze se v průběhu letu hmyzu nemění, dokáže hmyz dobře udržovat směr letu. V případě, že se však zdroj světla nachází příliš blízko, navigační systém selže. Takovým příkladem může být můra, která se snaží při letu kolem žárovky udržet světlo po svém pravém tykadle, nakonec to však skončí tím, že bezcílne krouží okolo žárovky [11].

Specifickou skupinou jsou straškovití, kteří patří mezi korýše. Jejich oči se pohybují nezávisle na sobě, důležitější je však to, co mohou vidět. Strašek se může z celé známé živočišné říše pochlubit nejkompexnějším vnímáním světla. Jeho oči totiž sestávají z dvanácti druhů barevných receptorů, což mu umožňuje vidět za hranice ultrafialového nebo infračerveného záření, a rozeznává barvy pro člověka nepředstavitelné [39].

4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 ANALÝZA UČEBNIC FYZIKY PRO ZÁKLADNÍ A STŘEDNÍ ŠKOLY

Při výuce ve školách jak pro žáky, tak pro učitele hrají učebnice nepostradatelnou roli. Považujeme je za důležitý prvek výuky, jež mohou učitelé v případě potřeby kdykoliv využít. Učitelé se o učebnice mohou opřít nejen při teoretické výuce, ale rovněž jsou užitečnou pomůckou pro demonstraci praktických úkolů nebo k procvičení probírané látky v podobě různých příkladů. Stejně důležitou roli plní i pro žáky, a to jak ve výuce, tak i mimo ni. Žáci mají díky učebnicím jednodušší přístup ke všem potřebným informacím k probíranému tématu a v případě nutnosti je mohou využít i jako alternativu k podanému výkladu během hodin. Největší využití naleznou učebnice u žáků během samostatné práce v podobě vypisování užitečných poznámek, řešení zadaných úloh nebo také při opakování probraného tématu. Ze své vlastní zkušenosti mohu říci, že u mě učebnice sehrály nesčetněkrát důležitou roli při samostudiu nebo doplnění určitých nejasností z výuky. Podle učebních osnov a rámcových vzdělávacích programů se studenti poprvé setkávají s problematikou optiky v rámci učiva sedmé třídy, u víceletých gymnázií přichází na řadu seznámení s okem v rámci učiva kvarty, což odpovídá devátému ročníku základní školy.

Tato bakalářská práce se zabývá optikou, primárně pak lidským a zvířecím okem. Cílem této analýzy tak bylo mimo jiné zjistit, v jakém rozsahu se učivo zabývající se okem v učebnicích fyziky pro základní a střední školy objevuje, zda je tento rozsah dostatečný, a která ze zkoumaných učebnic může být pro žáky nejlepší oporou. Ke zkoumání jsem zvolil analýzu z hlediska obsahu. Jelikož oko patří i do výuky biologie, zajímalo mě, zda dochází k mezioborovým přesahům a do jaké míry se ve fyzikálních učebnicích objevují i poznatky z biologie. Učebnice byly vybírány na základě aktuálnosti a jejich využití při výuce v českých základních a středních školách.

Všechny citované učebnice byly Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy schváleny k zařazení do seznamu učebnic určených ke vzdělávání pro základní či střední školy.

4.1.1 MARTIN MACHÁČEK: FYZIKA 7 PRO ZÁKLADNÍ ŠKOLY A VÍCELETÁ GYMNÁZIA

Jako první jsem si k analýze vybral učebnici Martina Macháčka, která se využívá jak při výuce na základní škole, tak i na víceletých gymnáziích. Učebnice byla sepsána a vydána nakladatelstvím Prometheus v roce 2001. Celkem učebnice obsahuje 160 stran a zabývá se řadou témat v rámci kompletního fyzikálního učiva. První zmínku o pojmech potřebných k pochopení zraku najdeme na straně 123 v kapitole Šíření světla. Zde se autor zamýšlí nad tím, jak člověk může vidět barvy a rozeznávat je. V další kapitole se blíže setkáváme s tím, co je infračervené a ultrafialové záření, což jsou pro člověka záření mimo jeho spektrum vnímání, ale například ptáci dokážou vnímat ultrafialové světlo, a je tedy určitě namístě se s touto problematikou blíže seznámit. V kapitole Lom světla autor seznamuje žáky s čočkou a průchodem světla čočkou, blíže se zde vysvětlují pojmy jako optická mohutnost, ohnisko a ohnisková vzdálenost. Vše je navíc doplněno obrazovou podporou. Čili si čtenář může udělat lepší náhled do studované látky, jinak tomu není ani v další části této kapitoly, kde prostřednictvím pokusů dochází k vysvětlení rozdílů mezi fungováním spojky a rozptylky. Část o našem zraku začíná na straně 146 popisem jednotlivých částí lidského oka, vše je popisováno na průřezu okem, a žáci tedy mají názornou představu o tom, kde se jaká část nachází. V souvislosti s lidským okem zde dochází k popisu jeho prostorového vnímání, v závěru této části se pak autor zaměřuje na onemocnění zrakového aparátu a rozdíly ve vzniku obrazu při krátkozrakosti a dalekozrakosti. Celé je to opět doplněno vhodnými obrázky a také pokusy, které si mohou žáci vyzkoušet pro lepší pochopení. Na úplném konci pak nalezneme dva odstavce věnující se také způsobu vidění u různých druhů zvířat. Zde se dozvíme, jací živočichové dokážou nejlépe vidět a jaký je rozdíl ve vidění člověka a živočichů.

Světlo a optické jevy v této publikaci zabírají celkem 34 stran, samotnému lidskému oku se autor věnuje na čtyřech stranách, kde se snaží celou problematiku vysvětlit. Podle mého názoru je zde dobře demonstrován rozdíl mezi krátkozrakým a dalekozrakým okem. Naopak bych si dovedl představit detailnější popis samotného oka, kde například autor mluví o tom, že oko nemá v místě výstupu očního nervu žádné citlivé buňky, ty zde však nejsou blíže popsány. Určitě bych ocenil cvičení na konci každé kapitoly, což může být vhodná pomůcka pro žáky k procvičení probírané látky.

Jelikož se v bakalářské práci zabývám i okem zvířat, tak mě zaujalo, že se i tomu autor ve své publikaci věnuje. Autor zde popisuje vývoj zraku u savců a plazů. Zmiňuje se o tom, jak viděli první savci a, že nejlepším zrakem jsou charakterističtí primáti, tedy kromě člověka také opice. V další části přichází na řadu informace o tom, že někteří živočichové jako například ovce nebo další zvířata, která se pasou mají oči uzpůsobené k tomu, aby se mohli rozhlížet po krajině a vyhledat tak překvapení nepřitelem. Závěr této krátké pasáže je věnován dravcům, kde si studenti mohou také pomocí jednoduchého testu vyzkoušet jak ostrý zrak dravci mají. I když tato kapitola není příliš dlouhá, tak může být pro žáky zajímavým zpestřením s pomocí kterého mohou získat další náhled na to, jak složité je naše vidění v rámci celé živočišné říše.

4.1.2 FRANTIŠEK JÁCHIM A JIŘÍ TESAŘ: FYZIKA PRO 7. ROČNÍK ZÁKLADNÍ ŠKOLY

K výuce fyziky na základních školách se rovněž využívá učebnice autorů Františka Jáchima a Jiřího Tesaře, kterou vydalo v roce 1999 Státní pedagogické nakladatelství. Učebnice je rozdělena do pěti velkých kapitol, celkový rozsah je 151 stran. Mě zajímala kapitola označovaná jako Světelné jevy. V ní autoři v úvodu přibližují, co to je světlo, v jakém rozsahu vlnových délek člověk vidí. Dále se zabývají barvami, jejich rozkladem a skládáním, s tím souvisí i tabulka, která uvádí intervaly vlnových délek u jednotlivých barev viditelného spektra. Také se zmiňují o barevném RGB-modelu. Na straně 59 pak přichází na řadu čočky, zde popisují různé druhy, a také jaké je zobrazení spojkou a rozptylkou, zároveň se zde zmiňují i o zobrazovacích vadách čoček, žáci se tak seznámí s pojmy, jako jsou barevná vada, kulová vada, zkreslení obrazu nebo astigmatismus. Co se týká oka, tato kapitola začíná jeho popisem, kde jsou postupně popisovány jeho jednotlivé části a jejich funkce, vše je doplněno přehledným obrázkem. Na rozdíl od přechozí učebnice zde autoři popisují přítomnost tyčinek a čípků na sítnici a rozdíl v jejich způsobu vnímání obrazu. V závěru jsou zde zmíněny krátkozrakost a dalekozrakost, celé je to doplněno o obrázek, na kterém je vidět, jak se změní vnímání obrazu bez brýlí a s brýlemi.

Celkově tato učebnice působí zajímavě, doplnění textu o fotografie a obrázky žákům umožní lepší pochopení, a zároveň to pro ně bude poutavější. V rámci základní školy je učebnice zpracována přehledně a je zde vše podstatné, co žáci potřebují k základnímu porozumění fungování oka.

Každá kapitola navíc obsahuje několik úkolů v rámci procvičení, ty jsou zde rozděleny do několika skupin: úlohy vyžadující naše vědomosti, úlohy na procvičení odhadu a dovedností, úlohy sloužící k učení vyhledávání poznatků mimo učebnici. Kromě toho v jednotlivých kapitolách nalezneme několik návodů k laboratorním pracím, které rovněž mohou sloužit k prohloubení znalostí. Na rozdíl od přechozí učebnice zde bohužel tentokrát chybí informace o zraku u zvířat.

4.1.3 MIROSLAV RANDA A KOLEKTIV: FYZIKA 7 PRO ZŠ A VÍCELETÁ GYMNÁZIA

Hojně využívána je při výuce také učebnice, kterou vytvořil kolektiv autorů z Katedry matematiky, fyziky a technické výchovy Fakulty pedagogické Západočeské univerzity v Plzni pod vedením RNDr. Miroslava Randy, Ph.D. Tato kniha vyšla ve spolupráci s nakladatelstvím Fraus postupně již v řadě vydání, já jsem měl k dispozici to z roku 2017. Kniha má celkem 140 stran a je rozdělena do šesti velkých kapitol, optika se vyskytuje v závěrečné kapitole nazvané Světelné jevy. Autor v úvodu seznamuje čtenáře s důležitými pojmy z oblasti šíření světla. Na straně 120 poté přichází první část, která souvisí s okem. Zde jsou žákům popsány jednotlivé typy čoček, rozdíly v jejich tvaru, způsobu průchodu světla a zobrazení předmětů těmito čočkami. K samotnému oku se dostaneme na straně 125. V úvodu nalezneme průřez lidským okem, který nám blíže představí jeho stavbu, poté se již autor zaměřuje na to, jakou funkci plní jednotlivé části při průchodu světla. Nechybí zde ani představení důležitých pojmů, jako jsou žlutá a slepá skvrna nebo akomodace. V souvislosti se sítnicí jsou zde popsány rozdíly mezi krátkozrakým a dalekozrakým okem, vše je doplněno opět vhodným obrázkem, kde si žáci mohou představit, kde u těchto poruch zraku vzniká obraz a jak je možné tyto výchyly korigovat. V samotném závěru je zde zmínka také o prostorovém vnímání. Krátce jsou zde popsány funkce a průchod světla zorničkou kočky. Kromě samotného oka v učebnici nalezneme kapitolu věnující se rozkladu světla a barvám. Dozvíme se zde, co je to barevné spektrum, jaké jsou jednoduché barvy, jsou zde rovněž zmíněny a popsány jednotlivé typy čípků v lidském oku. Závěr patří popisu RGB světelného modelu.

Učebnice z nakladatelství Fraus se řadí mezi ty nejvyužívanější ve výuce fyziky. Na první pohled jde o poutavě zpracovanou publikaci, výklad je zde doplněn o velké množství obrazového materiálu, jak ilustračních nákresů, tak snímků přímo z praktických pokusů. Široce jsou zde rovněž zastoupeny otázky na procvičení probírané látky, které se vyskytují v průběhu celého textu, stejně jako návody k praktickým pokusům na procvičení. V závěru každé kapitoly poté nalezneme krátké shrnutí nejdůležitějších informací.

Další možností k rozšíření znalostí je pro studenty doplněk učebnice ve formě pracovního sešitu, který nakladatelství vydává. Zde nalezneme řadu zajímavých úkolů ve formě křížovek, kvízů anebo praktických úloh z běžného života, které umožní studentům lépe proniknout do problematiky. Jeho vydání bych hodnotil určitě jako plus, jelikož ne všechna nakladatelství připravují k učebnicím také pracovní sešity.

Učitelé zároveň mají možnost jako oporu využít příručku určenou pro zkvalitnění výuky. Nalezneme v ní informace o tom, jaké jsou cíle výkladu, jak s probíraným učivem pracovat, na co si dát pozor nebo jaké jsou přesahy mezi probíraným tématem a dalšími vyučovanými předměty. Nechybí ani správné odpovědi k úkolům ve výše zmíněném pracovním sešitu.

Já bych určitě hodnotil tuto sérii učebnic pozitivně, je zpracována přehledně a na mě osobně působí poutavým dojmem. V učebnici nalezneme detailní popis stavby a funkce lidského oka, což lze považovat za přesah do výuky biologie. Příručka pro učitele, která je s touto učebnicí zároveň vydávána, nabízí pestrou škálu pokusů, které mohou pomoci k dalšímu prohloubení znalostí, jako je například Mariottův test.

4.1.4 PAVEL BANÁŠ A KOLEKTIV: FYZIKA II

Pavel Banáš ve spolupráci s dalšími autory a nakladatelstvím Prodos vydal v roce 2009 učebnici s názvem Fyzika II – 2. díl. Celkem má tato kniha 64 stran, na kterých se autor zabývá světelnými a zvukovými jevy. Hned v úvodu jsou žáci seznámeni s tím, co to vůbec světlo je a jak se šíří, v souvislosti s tím jsou zde zmíněny důležité pojmy, jako je například rychlost světla. Na straně 25 se poté nachází krátký odstavec, ve kterém je popsáno, jak člověk vidí předmět umístěný pod vodou. Na následující straně se autor zaměřuje na zobrazení čočkami, rozdíl mezi zobrazením spojkou a rozptylkou. Vše je doplněno o pojmy nezbytné k porozumění, autor zmiňuje ohniskovou vzdálenost nebo optickou mohutnost.

Kapitola o lidském oku přichází na řadu na straně 29. Tato část začíná schematickým nákresem oka, kde jsou popsány jednotlivé části. Následuje již podrobný popis jednotlivých částí a jejich funkce, tak jak jimi světlo prochází. Kromě teoretického výkladu zde najdeme u zornice fotografie porovnání rozšířené a zúžené zornice, pro zajímavost je zde uvedena také fotografie kočičí zornice. Dále se autor věnuje pojmu akomodace, kde je tato funkce vysvětlena na schematickém obrázku.

Po popisu zbylých částí oka přichází na řadu krátká kapitola, kde se autor snaží vysvětlit, jakou funkci plní při tvorbě obrazového vjemu mozek. Zbývající stránky této kapitoly jsou věnovány blízkému a dalekému bodu, a také poruchám zraku.

Zde autor kromě krátkozrakosti a dalekozrakosti zmiňuje také barvoslepost, šeroslepost nebo slepotu. S lidským okem souvisí i kapitola začínající na straně 38, která nese název Světelné spektrum. Zde je žákům přiblíženo, jaké barvy patří do barevného spektra, jak dochází k míchání barev. V obrazové formě je zde znázorněn RGB-model, v textu však tento pojem chybí. Závěr je poté věnován viditelnému záření, elektromagnetickému spektru a popisu, které barvy člověk dokáže vidět, a které naopak nikoliv.

Vzhledem k tomu, že je tato práce zaměřena také na oko u živočichů, nemohla zůstat bez povšimnutí kapitola začínající na straně 43 s názvem Příroda kolem nás. V ní je popsáno, jaké jsou rozdíly ve vidění živočichů ve srovnání s člověkem. Detailněji se autor věnuje fasetovému oku hmyzu, vše je doplněno fotografiemi, najdeme zde porovnání obrazu vzniklého hmyzím a lidským okem. Kromě hmyzu autor zmiňuje ještě podmořské živočichy.

Podle mého soudu jde o dobře zpracovanou učebnici. V dostatečném rozsahu jsou zde popsány všechny důležité poznatky z oblasti optiky a lidského oka, kladně hodnotím rovněž část věnující se zvířecímu oku, nebývá příliš časté, že by se v učebnicích fyziky autoři věnovali v takovémto rozsahu problematice živočišné říše. Text je doplněn o velké množství obrazového materiálu, ať už ve formě schematických nákresů, nebo fotografií příkladů z běžného života. V závěru každé kapitoly najdeme krátký odstavec, který shrnuje nejdůležitější poznatky. Kniha je rozdělena na dvě části a každá z nich je zakončena souborem otázek k procvičení. Součástí vydání je rovněž pracovní sešit.

Ten žákům nabízí širokou škálu úkolů k procvičení probraného učiva. Nalezneme zde nejen testovací úlohy, ale také zábavné křížovky, hádanky nebo úkoly z praxe.

4.1.5 OLDŘICH LEPIL A KOLEKTIV: FYZIKA PRO STŘEDNÍ ŠKOLY II

Jako opora k výuce ve středních školách je hojně využívána učebnice Fyzika II z dvojdílné série nakladatelství Prometheus kolektivu autorů pod vedením docenta Oldřicha Lepila. Já jsem využil ke své analýze 4. přepracované vydání, které vyšlo v roce 2012. Celkem má učebnice 233 stran, které jsou rozděleny do dvanácti kapitol. Důležitá kapitola pro mou analýzu začíná na straně 128 a nese název Světlo jako vlnění. V samotném úvodu autor seznamuje čtenáře s tím, co to světlo vůbec je, v jakých vlnových délkách se pohybujeme při jeho popisu. Dále popisuje barevné spektrum, rozdíly mezi vlnovými délkami u jednotlivých barev, rovněž se zde zmiňuje o RGB-modelu. Na straně 138 přicházejí na řadu pojmy jako infračervené a ultrafialové světlo, zde jsou popsány rozdíly mezi nimi a informace, zda jsou tato záření viditelná lidským okem. V kapitole Zobrazení zrcadlem a čočkou poté na straně 152 vysvětluje rozdíl mezi spojkou, rozptylkou, jejich stavbou a funkcí. Samotné oko přichází na řadu v téže kapitole na straně 156, kde jsou postupně představeny všechny důležité části, tak jak jimi světlo prostupuje. Nechybí zde ani vysvětlení důležitých pojmů, jako jsou tyčinky, čípky nebo akomodace. Dále se autor zmiňuje o blízkém a vzdáleném bodu oka a žákům nezůstane zapovězena ani konvenční zraková vzdálenost. V samotném závěru této třístránkové části o lidském oku jsou zde popsány krátkozrakost, dalekozrakost a rozdíly mezi nimi, vše je doplněno ilustračním nákresem. V souvislosti s tím jsou žáci seznámeni s optickou mohutností, její jednotkou a jejím vlivem na korekci očních vad. Co se týká oka u zvířat, této problematice není v knize věnován prostor.

V knize se podle mého názoru vyskytuje vše potřebné, co by studenti středních škol v rámci optiky a lidského oka měli vědět. Kniha působí přehledně, text je doplněn o řadu ilustračních nákresem, kde je vše podrobně vysvětleno pro lepší porozumění, nechybí ani fotografie, především praktického využití. Na konci každé z kapitol nechybí otázky a úkoly, stejně jako krátké shrnutí těch nejdůležitějších poznatků. Součástí vydání je také CD, které může posloužit jako další opora při studiu.

4.2 VÝZKUM

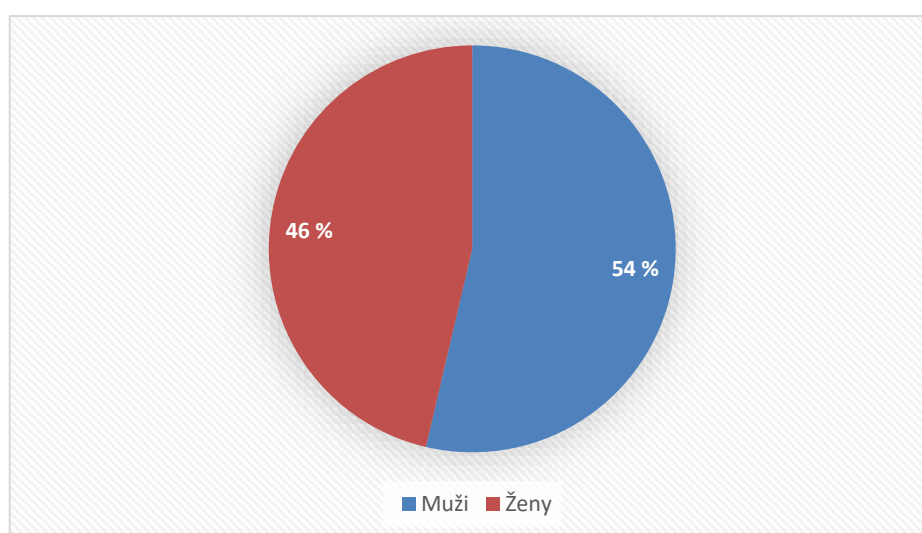
4.2.1 DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ

V této části bylo mým cílem s pomocí dotazníkového šetření zjistit, jaké jsou znalosti studentů čtyřletých a víceletých gymnázií v oblasti optiky, konkrétně pak zraku. Pomocí krátkého dotazníku jsem se snažil ověřit, zda znají základní stavbu lidského oka a jeho funkce, dále pak rozdíly ve stavbě a funkci ve srovnání s fasetovým okem hmyzu. Celkem dotazník obsahoval čtrnáct uzavřených otázek týkajících se právě tématu oka, žáci měli na výběr vždy ze čtyř možností, z nichž pouze jedna byla správná. Kromě toho obsahoval dotazník doplňující otázky na věk, pohlaví, a ročník ve kterém se žák aktuálně nachází. Zároveň mě zajímalo, jaké předměty byly pro studenty oporou při vyplňování dotazníku.

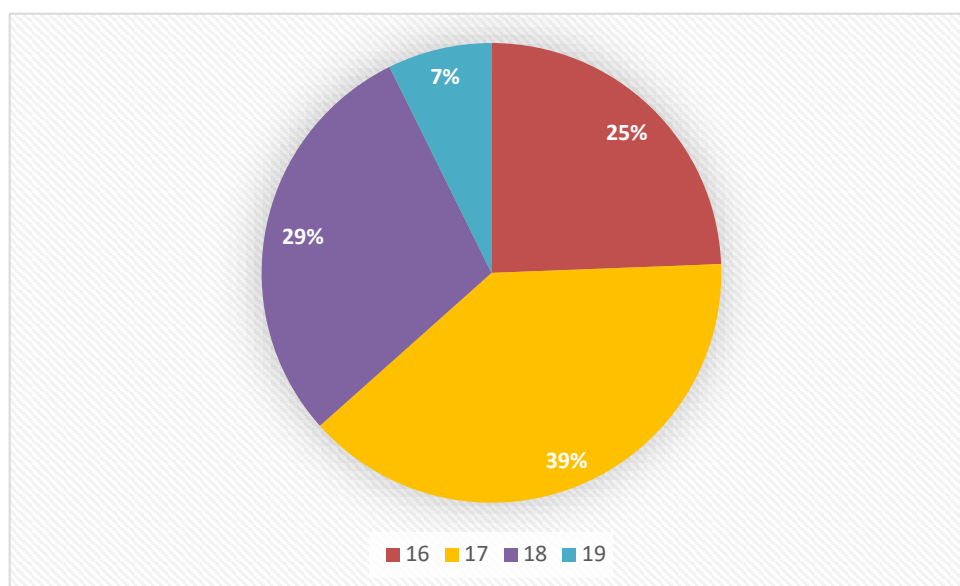
4.2.2 VYHODNOCENÍ DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ

První část vyhodnocení dotazníkového šetření rekapituluje složení souboru respondentů. Druhá část hodnocení zpracovává jednotlivé otázky a vyhodnocení odpovědí studentů. Všechny odpovědi jsou zpracovány i graficky. Správné odpovědi v grafech vždy reprezentuje výšeč zelené barvy.

Dotazníkové šetření se uskutečnilo v období dubna a května roku 2023, zúčastnili se jej studenti a studentky z Prvního českého gymnázia v Karlových Varech a Gymnázia Třeboň. Celkem se do výzkumu zapojilo 82 respondentů, v pozorované skupině byli více zastoupeni chlapci, kterých bylo 54 % (44), dívek se zúčastnilo 46 % (38).



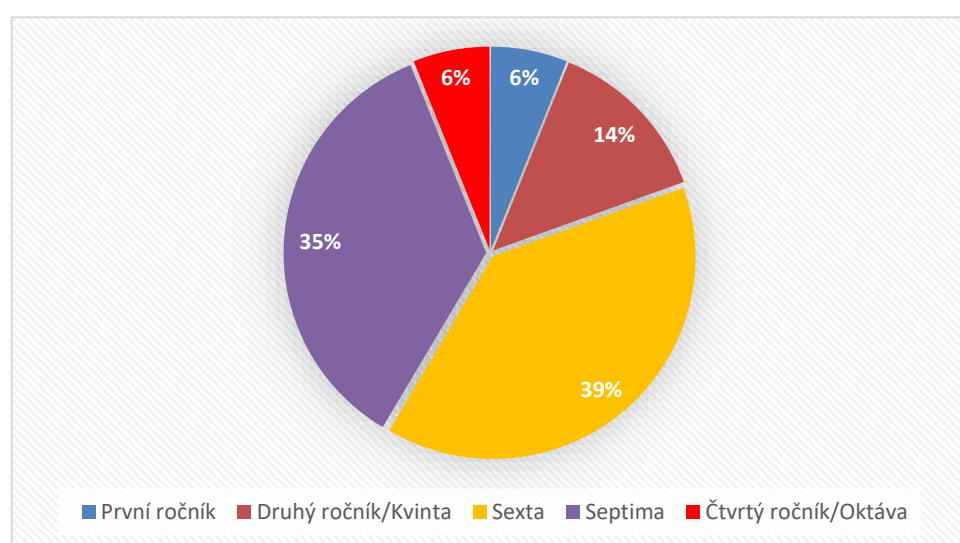
Graf 1: Počet chlapců a dívek



Graf 2: Zastoupení věkových skupin v pozorovaném vzorku

Dotazník byl rozdán žákům ve čtyřech věkových skupinách, nejvíce bylo žáků ve věku 17 let, konkrétně 39 % (32), o něco méně poté bylo žáků, jimž bylo 18 let 29 % (24) a 16 let 25 % (20). Nejmenší zastoupení měli žáci ve věku 19 let, těch se vyplňování dotazníku zúčastnilo pouze 7 % (6).

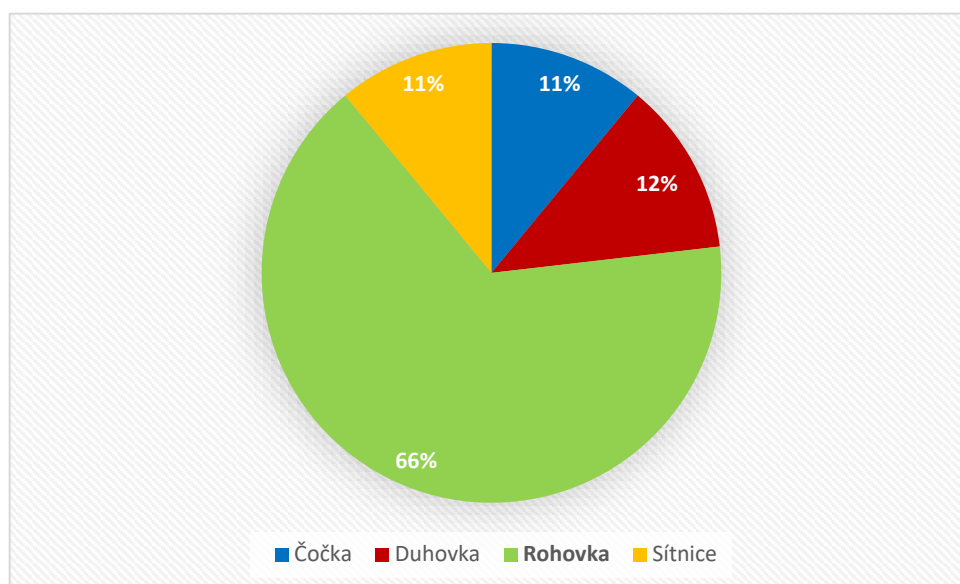
Co se týká zastoupení jednotlivých tříd, zde největší část tvořila sexta víceletého gymnázia, kde se dotazníkového šetření zúčastnilo 39 % (32) z celkového počtu respondentů. Druhou nejpočetnější skupinou byli žáci septimy v počtu 35 % (29). Třetí v počtu zastoupení byli studenti druhého ročníku, kterých se zúčastnilo 14 % (11). Zbylé třídy měly v rámci výzkumu minimální zastoupení.



Graf 3: Zastoupení jednotlivých tříd v pozorovaném vzorku

Otázka 1: Jak se nazývá průhledná vrstva, která chrání přední část oka?

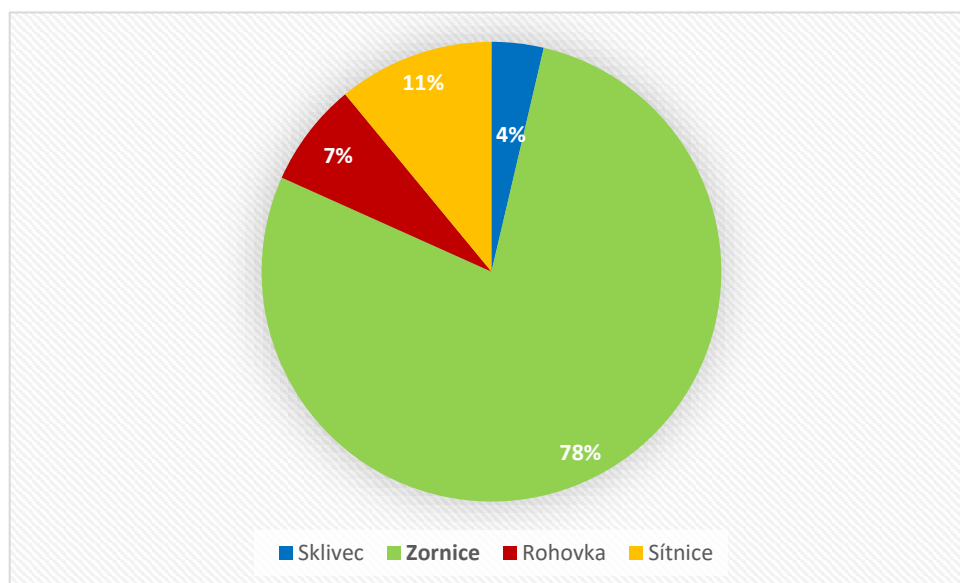
Z grafu 4 lze vyčíst, že 66 % (54) respondentů uvedlo jako správnou odpověď na tuto otázku rohovku, a odpověděli tak správně, 12 % (10) respondentů zvolilo jako svou odpověď, že přední část oka chrání duhovka. Sítnici a čočku pak uvedlo shodně chybně 11 % (9) dotázaných.



Graf 4: Graf k otázce 1

Otázka 2: Jaká část oka se přizpůsobuje změnám intenzity světla?

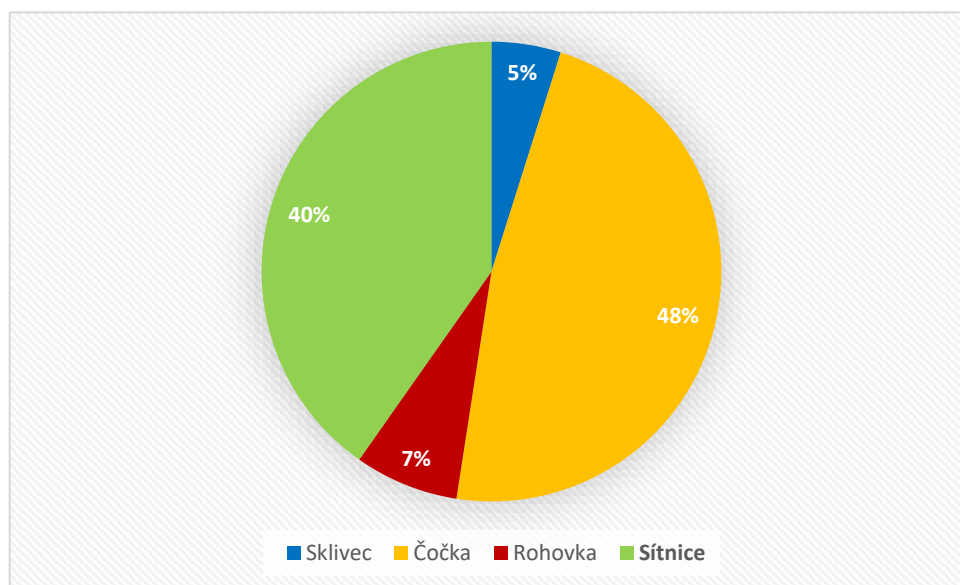
U druhé otázky 78 % (64) žáků správně uvedlo, že se změnám intenzity světla v oku přizpůsobuje zornice. Asi pětina žáků vybrala ostatní nesprávné odpovědi.



Graf 5: Graf k otázce 2

Otázka 3: Která část zdravého oka je zodpovědná za ostrost vidění?

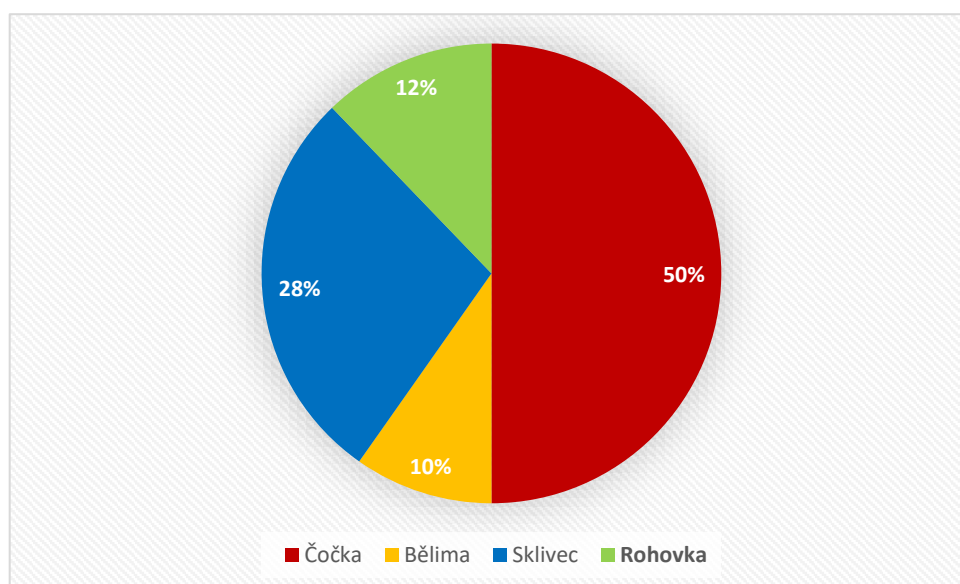
Z grafu 6 vyplývá, že 48 % (39) studentů zvolilo jako odpověď čočku, což je chybná odpověď. Za ostrost vidění je totiž zodpovědná sítnice, kterou označilo správně 40 % (33) respondentů.



Graf 6: Graf k otázce 3

Otázka 4: Kde se v lidském oku světlo nejvíce láme?

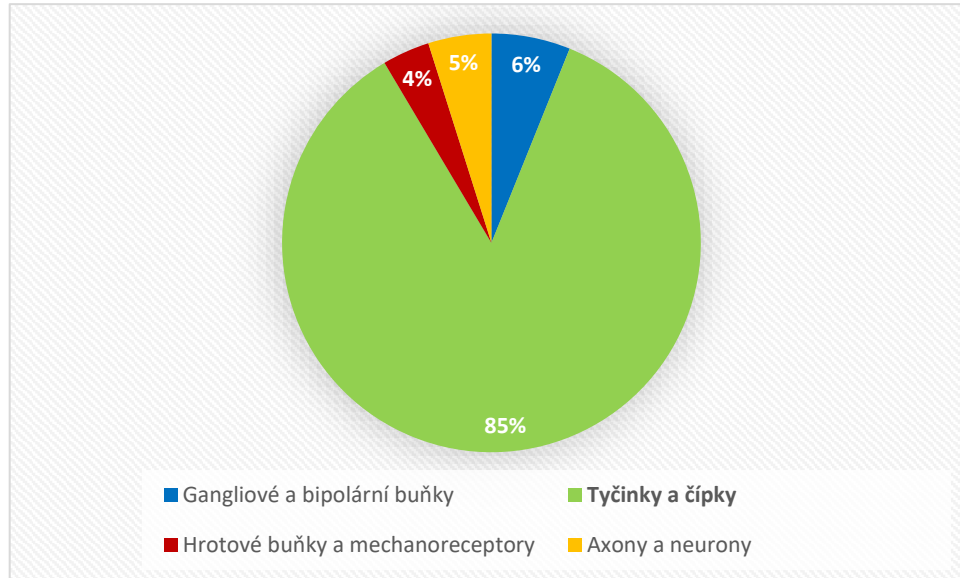
V odpovědi na tuto otázku studenti nejvíce chybovali. Správně odpovědělo pouze 12 % (10) žáků. Největší část chybných odpovědí, konkrétně 50 % (41), směřovala k čočce.



Graf 7: Graf k otázce 4

Otázka 5: Jaké jsou základní typy fotoreceptorů v lidském oku?

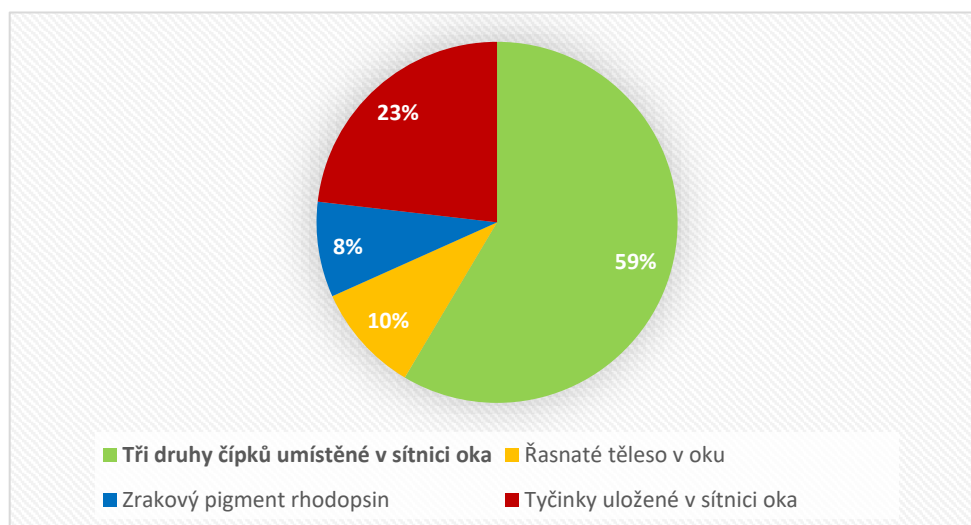
Naopak s touto otázkou si studenti poradili nejlépe, 85 % (70) správně zvolilo, že základními typy fotoreceptorů v lidském oku jsou tyčinky a čípky. Pouze 15 % (12) respondentů neznalo správnou odpověď, a zvolili tedy chybnou možnost.



Graf 8: Graf k otázce 5

Otázka 6: Jaká část lidského oka umožňuje vnímání barev?

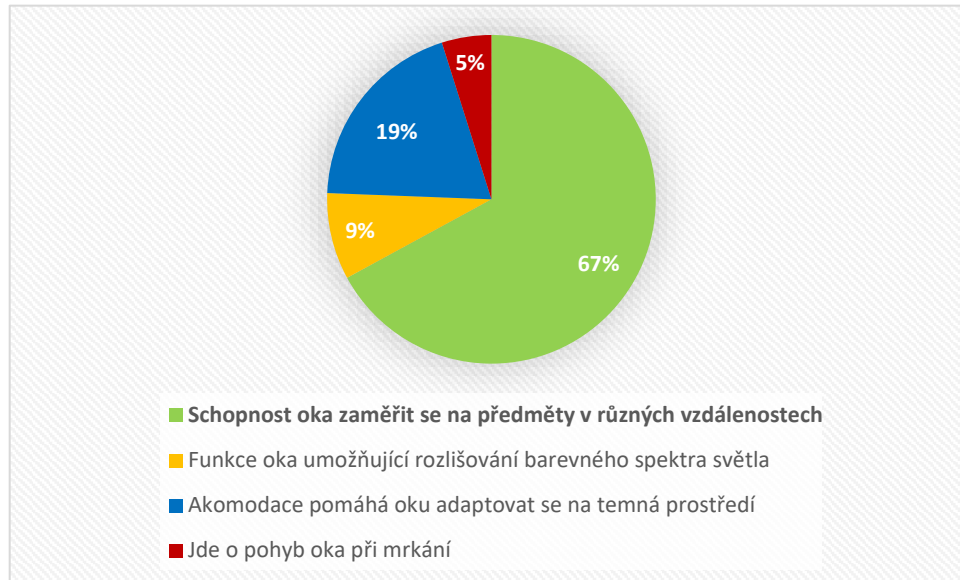
Šestá otázka měla u studentů ověřit, zda vědí, díky čemu jsme schopni vnímat barvy. Z grafu je patrné, že 59 % (48) studentů zná správnou odpověď a ví, že za vnímání barev jsou zodpovědné tři druhy čípků umístěných v sítnici. Celkem 23 % (19) dotazovaných pak odpovědělo, že za barevné vidění je zodpovědný druhý druh světločivných buněk, tedy tyčinky.



Graf 9: Graf k otázce 6

Otázka 7: Která z následujících definic popisuje nejlépe pojem akomodace v kontextu lidského zraku?

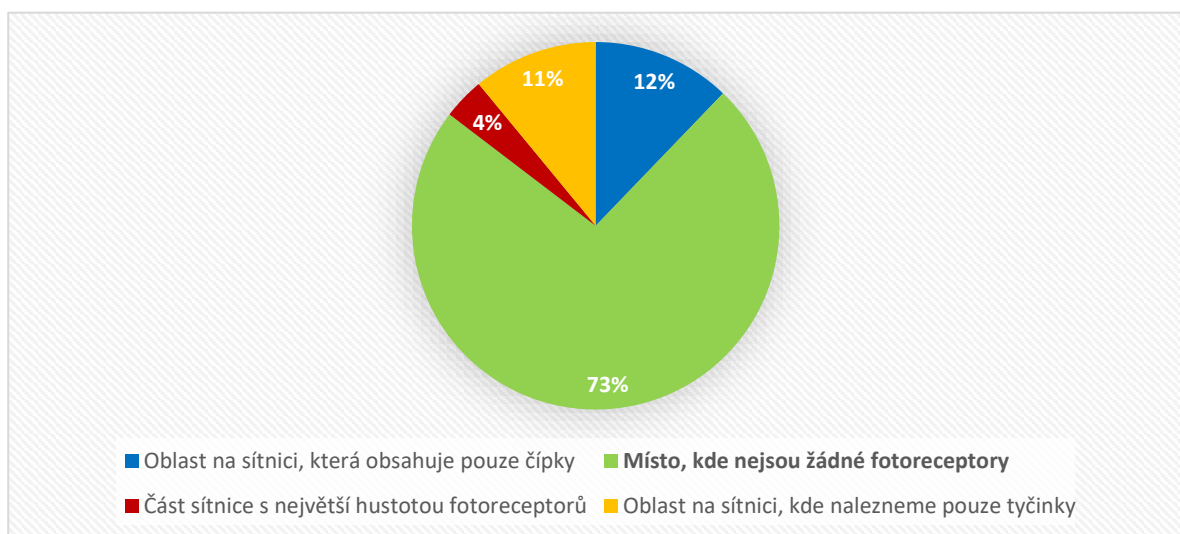
Akomodace není pro žáky neznámý pojem. Správnou definici vybralo celkem 67 % (55) dotázaných, 19 % (16) chybně vyhodnotilo, že akomodace pomáhá oku adaptovat se na temné prostředí.



Graf 10: Graf k otázce 7

Otázka 8: Co je slepá skvrna v lidském oku?

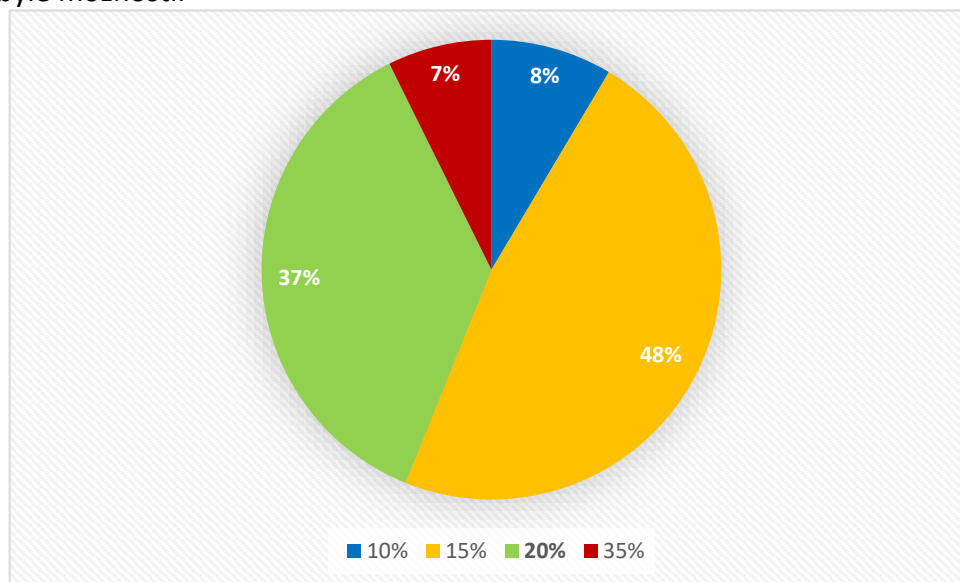
Ani otázka týkající se slepé skvrny nedělala studentům větší problémy. Správně tuto otázku zodpovědělo 73 % (60) respondentů, v menší míře se poté ve zpracovaných dotaznících objevovaly ostatní odpovědi.



Graf 11: Graf k otázce 8

Otázka 9: Odhadněte, kolik % oční koule pokrývá rohovka.

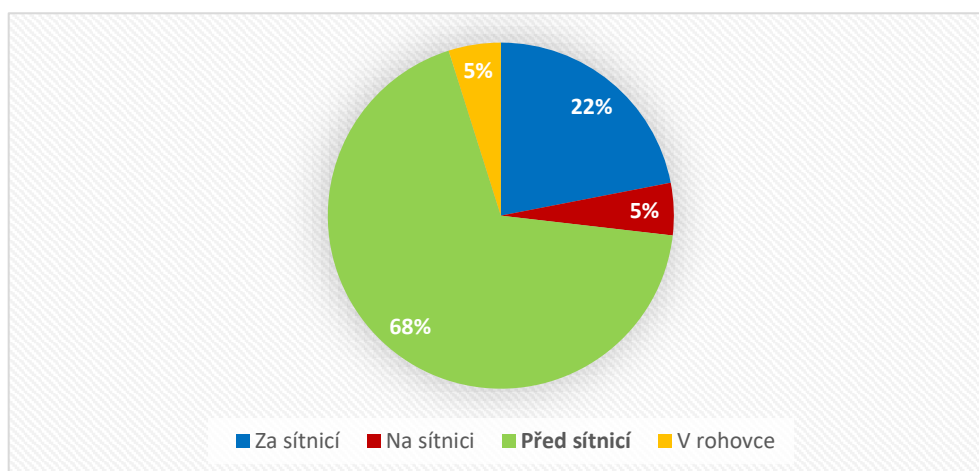
V otázce 9 se respondenti rozdělili v podstatě na dvě části, nejvíce z nich, konkrétně 48 % (39), odpovědělo, že rohovka pokrývá 15 % oční koule. Správnou odpověď, tedy že rohovka kryje 20 % povrchu oční koule, zvolilo 37 % (30) dotázaných. Celkem 15 % (12) žáků volilo zbylé možnosti.



Graf 12: Graf k otázce 9

Otázka 10: Kde vzniká obraz u krátkozrakého oka?

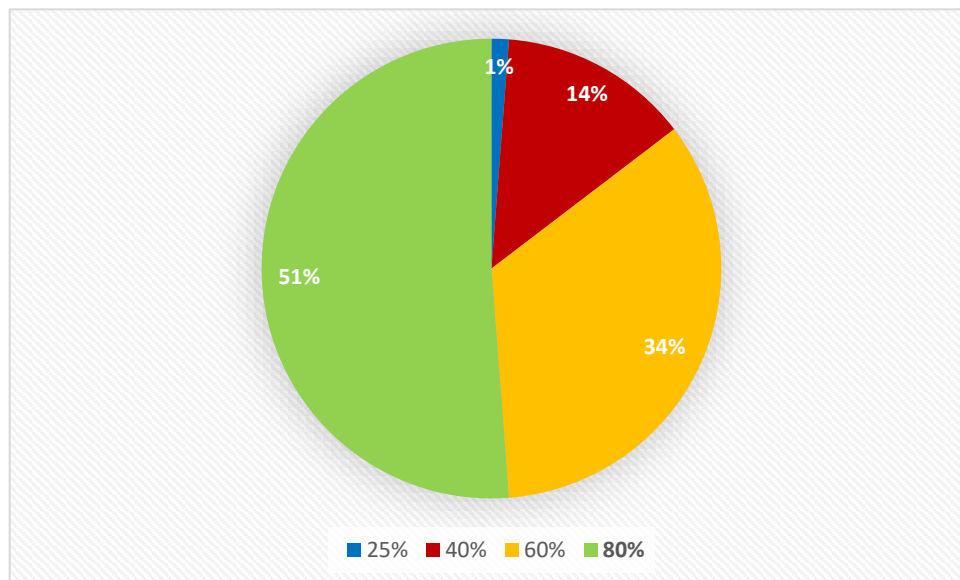
Vznik obrazu u krátkozrakého a dalekozrakého oka patří mezi základní informace, které učitelé předávají žákům při popisu funkcí oka. Jak můžeme vidět z grafu 13, 68 % (56) z nich ví, že u krátkozrakého oka vzniká obraz před sítnicí. Celkem 22 % (18) žáků si myslí, že obraz vzniká za sítnicí, což je však typické pro dalekozrakost.



Graf 13: Graf k otázce 10

Otázka 11: Odhadněte, kolik % informací vnímáme zrakem.

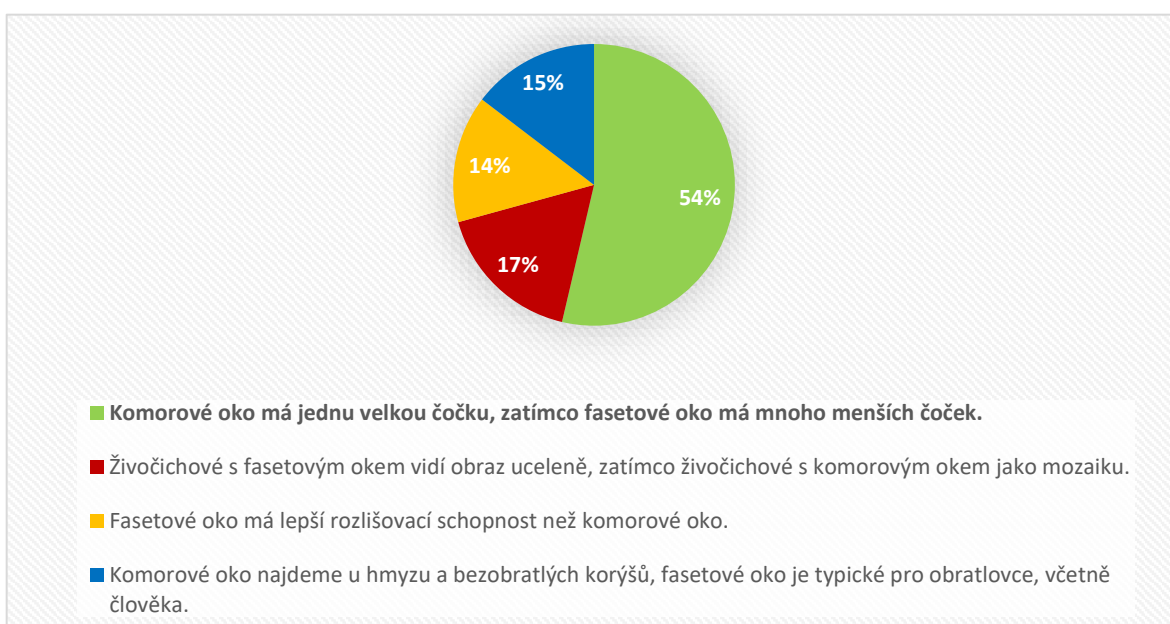
V této otázce 51 % (42) žáků správně odhadlo, že 80 % informací přicházejících z okolí vnímáme zrakem. Celkem 34 % (28) respondentů odpovědělo, že zrakem přijímáme 60 % informací.



Graf 14: Graf k otázce 11

Otázka 12: Které z následujících tvrzení platí o komorovém a fasetovém oku?

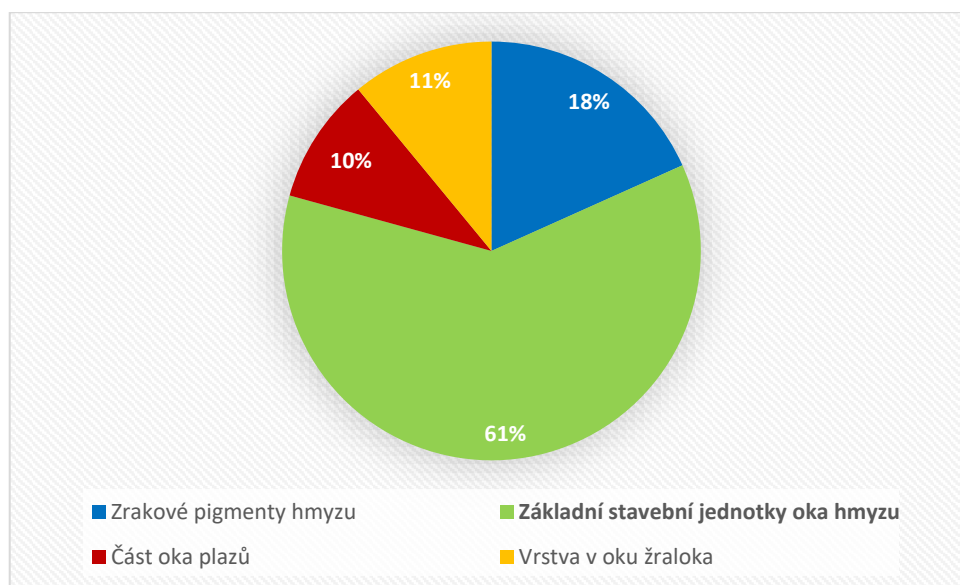
Otázka 12 měla u žáků ověřit, zda znají rozdíl mezi komorovým a fasetovým okem. Správnou odpověď znalo celkem 54 % (44) respondentů. Zbylé chybné odpovědi byly rozděleny zhruba ve stejném poměru.



Graf 15: Graf k otázce 12

Otázka 13: Co jsou to omatidia?

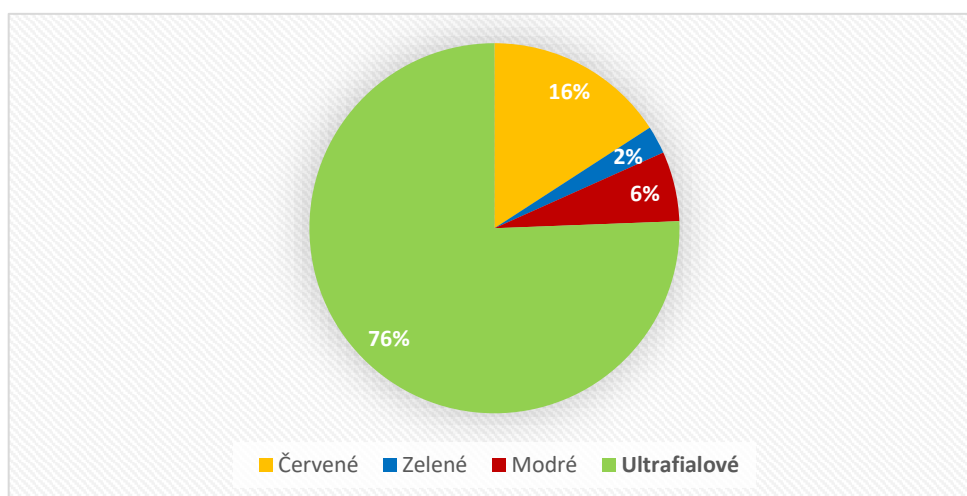
Celkem 79 % (65) žáků odpovědělo, že pojem omatidia souvisí s okem hmyzu, 18 % (15) z nich však chybně uvedlo, že se jedná o zrakový pigment hmyzu. Téměř dvě třetiny všech zúčastněných pak správně uvedlo, že jde o základní stavební jednotky oka hmyzu.



Graf 16: Graf k otázce 13

Otázka 14: Jaké světelné impulsy dokáže hmyz vnímat svým okem ve srovnání s člověkem?

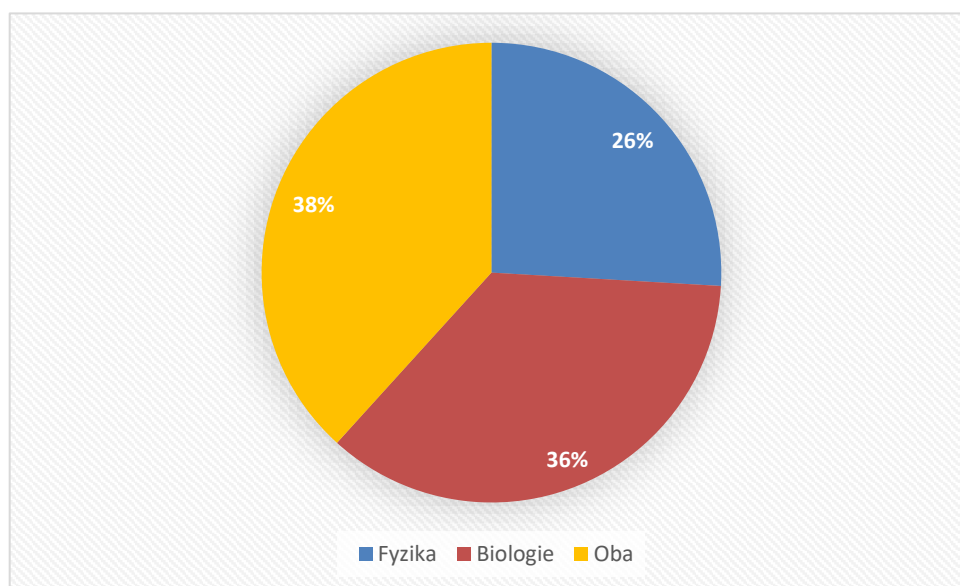
Otázka 14 byla poslední, která byla zaměřena na zrak. Tři čtvrtiny žáků si s ní dokázaly poradit a označit správnou odpověď, že hmyz vnímá ultrafialové impulsy, 16 % (13) studentů zvolilo chybně červenou barvu.



Graf 17: Graf k otázce 14

Otázka 15: Ze kterých předmětů jste čerpali poznatky při vyplňování dotazníku?

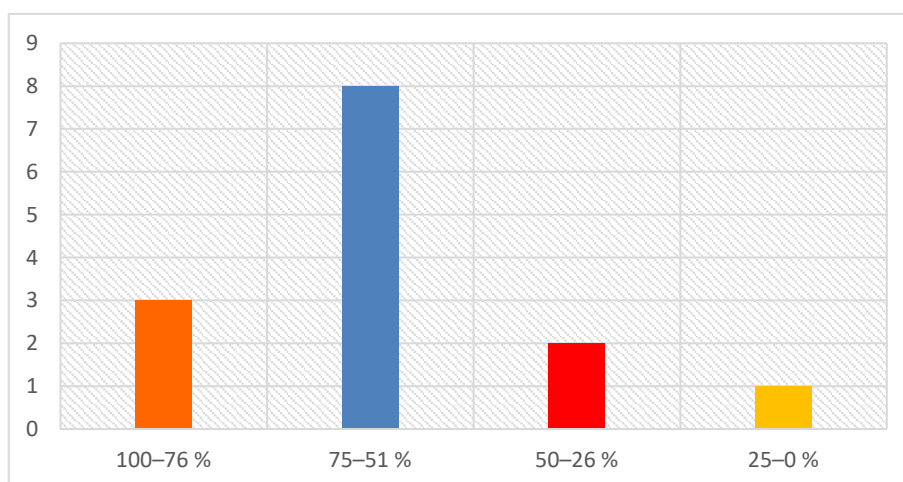
Jelikož oči a zrak jsou témata, která se vyučují nejen v hodinách fyziky, ale také biologie, zajímalo mě, kde se žáci s touto problematikou setkali a v jakých předmětech získali znalosti, které uplatnili při vyplňování dotazníku. Nejvíce 38 % (32) žáků vybralo, že čerpali ze znalostí jak fyziky, tak biologie. Celkem 36 % (29) pak vybralo jako stěžejní předmět biologii. Pouze fyziku zvolilo 26 % (21) dotázaných.



Graf 18: Graf k otázce 15

4.2.3 SHRNU TÍ DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ

Dotazníkového šetření se zúčastnilo celkem 82 respondentů z řad studentů čtyřletých a víceletých gymnázií. Jak lze vyčíst z grafu 19, u 11 z celkových 14 otázek týkajících se oka vybralo správnou odpověď více než 50 % respondentů.



Graf 19: Graf procentuální úspěšnosti otázek

Největší problémy dělala žákům otázka 4, týkající se lomu světla v lidském oku, kde správně odpovědělo pouze 12 % žáků. Naopak nejlepší úspěšnost správných odpovědí byla zaznamenána hned u následující otázky 5, zabývající se fotoreceptory. Zde uspělo 85 % respondentů. Otázky zaměřené na fasetové oko živočichů studenti zvládli dobře, ačkoliv se této problematice ve výuce fyziky a biologie nevěnuje tak velká pozornost. V tomto tématu uspěla vždy nadpoloviční část žáků. Celková průměrná úspěšnost všech odpovědí dosáhla 59 %.

Výsledky dotazníkového šetření ukazují dobré znalosti studentů a přehled v dotazované problematice. Jak se dalo předpokládat, studenti při vyplňování dotazníku čerpali ze znalostí získaných jak při výuce fyziky, tak i biologie. Překvapivě relativně malé procento respondentů, tedy 38 %, uvedlo, že využili znalostí z obou předmětů současně. Zde bych očekával výrazně vyšší procentuální zastoupení, jelikož v tématu optiky a zraku se oba předměty vzájemně prolínají.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo podat ucelený přehled základních informací o problematice zraku u člověka, vybraných tříd obratlovců a bezobratlých. V první části jsem se zabýval problematikou lidského oka, kde jsem uvedl jeho nejdůležitější části, jejich stavbu a funkci. Ve druhé polovině teoretické části jsem se pokusil zpracovat získané poznatky týkající se stavby komorového oka u jednotlivých tříd obratlovců, jako jsou savci, plazi, obojživelníci, ptáci, ryby a paryby, popsat rozdíly v jejich stavbě a funkci nejen v porovnání mezi nimi, ale také ve srovnání s lidským okem. Závěr teoretické části poté patřil fasetovému oku, kde jsem opět popsal jeho stavbu u jednotlivých druhů bezobratlých a rozdíly ve funkci oproti komorovému oku.

Dalším cílem bakalářské práce bylo ověřit znalosti studentů v oblasti zraku a zjistit, zda mají pro studium dostatek podpůrných materiálů. K těmto cílům jsem se snažil dojít v praktické části, kde první část sestávala z analýzy učebnic fyziky pro základní a střední školy. Zde jsem zjistil, že existuje pestrá škála učebnic, které se využívají jako opora k výuce. Řada z nich je navíc vytvořena velmi přehledně a na první pohled působí poutavým dojmem. Žáci a i učitelé tak mají na výběr širokou paletu kvalitních učebnic, které mohou využít jako oporou ke standardní výuce.

Ve druhé polovině praktické části bylo poté 82 studentů podrobena dotazníkovému šetření s cílem ověřit jejich znalosti v oblasti optiky a zraku. Z výsledků vyplynulo, že se většina studentů v této problematice orientuje, dokázali si poradit i s otázkami týkajícími se fasetového oka hmyzu, což je téma, kterému se učitelé během mého studia na střední škole příliš nevěnovali. Zároveň jsem zjistil, že jim oporou při vyplňování dotazníku byla nejen fyzika, ale také biologie. Můžeme tedy vidět, že se ve výuce objevují mezioborové přesahy, které mohou být dalším nástrojem k rozšíření znalostí dané problematiky, a pokud je to možné, je podle mého názoru správné snažit se o propojení mezi předměty.

RESUMÉ

Bakalářská práce se zabývá tématem zraku. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Úvod teoretické části je věnován lidskému oku, jeho stavbě a funkci. V další části je představeno oko živočichů, jsou zde blíže popsány komorové a fasetové oko. Závěr je rozdělen do dvou částí, nejprve je provedena analýza výukových materiálů využívaných při výuce na základních a středních školách, kde je zkoumáno, v jakém rozsahu se témata týkající se zraku v učebnicích vyskytují. Druhá část je poté věnována dotazníkovému šetření, kterému byli podrobeni studenti s cílem zjistit, jak široké jsou jejich znalosti v oblasti oka a zraku.

Klíčová slova: optika, zrak, komorové oko, fasetové oko, vnímání, akomodace, barvy

Summary

The bachelor thesis is aimed at the topic of eyesight. It is divided into the theoretical and practical part. The introduction to the theoretical part concerns the human eye, its structure and its function. In the next part, the animal eye is introduced, and the chambered eye as well as the faset eye are described in more detail there. The closing is divided into two parts. In the first one, analysis of educational material used in lessons in both primary and secondary schools, which studies the extent of occurrence of the topics related to eyesight in the textbooks, is performed. The second one is devoted to the research via questionnaires in which students were interrogated in order to find out how extensive their knowledge in the field of the eye and eyesight is.

Key words: optics, eyesight, chambered eye, compound eye, perception, accommodation, colours

SEZNAM LITERATURY

- [1] KOČÁREK, Eduard. *Biologie člověka*. Praha: Scientia, 2010. ISBN 978-80-86960-47-0.
- [2] NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 4.přepracované. Praha: Fortuna, 2008. ISBN 978-80-7373-007-9.
- [3] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-140-2.
- [4] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. *Optika a atomová fyzika*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961.
- [7] MALÝ, Petr. *Optika*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Karolinum, 2013. ISBN 978-80-246-2246-0.
- [8] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-384-4.
- [9] KYMPLOVÁ, Jaroslava. *Katalog metod v biofyzice* [online]. In: Praha, 2008 [cit. 2022-10-30]. ISSN 1803-6619. Dostupné z: <https://connect.cuni.cz/p2kvdbio5po/>
- [10] KODRÍK, Dalibor. *Fyziologie hmyzu učební texty* [online]. České Budějovice, 2004 [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Bi7630/um/fyz-hmyz-2004.pdf. Entomologický ústav Akademie věd České republiky a Biologická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích.
- [11] BANÁŠ, Pavel, Renata HOLUBOVÁ a Roman KUBÍNEK. *Fyzika II*. Olomouc: Prodos, c2009. ISBN 978-80-7230-240-6.
- [12] RAICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: www.fyzika.jreichl.com/editions/kindle.pdf
- [13] KRÁLOVÁ, Magda Mgr. *Lidské oko*. *Techmania Science Center/Eduportál* [online]. [cit. 2023-06-02]. Dostupné z: edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/lidske-oko
- [14] ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- [15] ŠPELDA, Antonín. *Geometrická a fyziologická optika a fotometrie*. Plzeň: Pedagogická fakulta, 1970.

- [16] BORKOVÁ, Kateřina. *Život bez barev. Šance dětem* [online]. 2023 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: sancedetem.cz/zivot-bez-barev
- [17] SHARK SENSES. *THE ELASMODIVER SHARK AND RAY FIELD GUIDE* [online]. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: www.elasmodiver.com/shark_senses.htm
- [18] EDMONDS, Molly. *How do sharks see, smell and hear?* [online]. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: www.animals.howstuffworks.com/fish/sharks/shark-senses3.htm
- [19] REECE, O.WILLIAM, *Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat - 2.*, rozšířené vydání, 2011, Grada Publishing, ISBN 978-80+-247-3282-4
- [20] ŠVEHLOVÁ, Dominika, *Jak funguje kůň*, 2023, [online], [citace 2023-02-25], Dostupné z: www.ifauna.cz/kone/clanky/r/detail/5233/jak-funguje-kun-cast-34-oko-do-duse-okno/#Prostor+oka
- [21] ZOO PRAHA, *Jak zvířata vidí*, 2019, [online], [citace 2023-02-25], Dostupné z: www.zoopraha.cz/aktualne/ostatni-clanky/11699-jak-zvirata-vidi
- [22] HORÁK, K., *Evoluce bezobratlých pro pokročilé*, 2018, [online], [citace 2023-02-25], Dostupné z: is.muni.cz/el/sci/podzim2018/Bi7870/Smysly_Horak.pdf
- [23] KRÁSA, A., *Jak pozorovat ptáky*, 2019, CPRES, ISBN 978-80-264-2508-3
- [24] NOVÁKOVÁ, M., *Jak ptáci vidí svět*, 2023, [online], [citace 2023-02-25], Dostupné z: www.zelenadomacnost.com/blog/index.php/2023/01/26/jak-ptaci-vidi-svet/
- [25] OHL, F., *Pes – jak ho pochopit: logicky, jednoduše, jasně*, 2007, Grada Publishing, ISBN 978-80-247-2055-5
- [26] The University of Arizona, *Shark Eyes: How Do They Compare to Ours?*, 2018, [online], [citace 2023-02-28], Dostupné z azretina.sites.arizona.edu/node/353
- [27] Teličková, Zuzana, *Svět v ultrafialovém světle: Jak vidí okolní svět ptáci?* 2021, [online], [citace 2023-02-28], Dostupné z: www.stoplusjednicka.cz/svet-v-ultrafialovem-svetle-jak-vidi-okolni-svet-ptaci
- [28] SYNEK, S., Skorkovská, Š., *Fyziologie oka a vidění: 2.*, doplněné a přepracované vydání, 2014, Grada Publishing, ISBN 978-80-247-3992-2

- [29] VLČKOVÁ, Lucie. *Jak vidí hmyz* [online]. 2012 [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: www.4oci.cz/jak-vidi-hmyz_4c603
- [30] ŠVEHLOVÁ, Dominika. *Jak funguje kůň Část 34.: Oko, do duše okno*. ifauna [online]. 2010 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: www.ifauna.cz/kone/clanky/r/detail/5233/jak-funguje-kun-cast-34-okno-do-duse-okno/
- [31] KLIMEŠ, Jiří. *Zoologie pro bakaláře* [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: cit.vfu.cz/zoologiebc/skripta_zologie_bakalari.pdf. Veterinární a Farmaceutická Univerzita Brno.
- [32] MORAVEC, Jiří. *Obojživelníci, plazi: želvy, krokodýli, haterie, ještěři, dvouplazi, hadi, ocasatí, červoři, žáby*. Praha: Albatros, 1999. Svět zvířat (Albatros). ISBN 80-000-0719-3.
- [33] OREL, M., Facová, V., *Člověk, jeho smysly a svět*, 2010, str.57., Grada Publishing, ISBN 9788024773063
- [34] SOBOTKA, Petr a Leona MATUŠKOVÁ. *Lepší oko než člověk? Chobotnice i hmyz* [online]. 2018 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: dvojka.rozhlas.cz/lepsi-oko-nez-clovek-chobotnice-i-hmyz-7527868
- [35] FOKT, Michael. *Chováme obojživelníky*. Praha: Grada, 2008. Průvodce chovatele (Grada). ISBN 978-80-247-2162-0.
- [36] GAISLER, Jiří a Jan ZIMA. *Zoologie obratlovců: želvy, krokodýli, haterie, ještěři, dvouplazi, hadi, ocasatí, červoři, žáby*. 3., přepracované vydání. Praha: Academia, 2018. Svět zvířat (Albatros). ISBN 978-80-200-2702-3.
- [37] LOTOCKI, Tomáš. *Biologie ryb – Smyslová ústrojí – zrak* [online]. 2018 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: www.mrk.cz/clanek.php?id=1735
- [38] MACEK, Jan. *Bezobratlí*. Praha: Albatros, 2001. Svět zvířat (Albatros). ISBN 80-000-0918-8.
- [39] JUSTIN, Marshall, Cronin THOMAS a Kleinlogel SONJA. *Stomatopod eye structure and function: a review* [online]. National Library of Medicine, 2007 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18089120/

Obrázky

- [40] Viditelné světlo. In: *Wikiskripta* [online]. 2018 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: www.wikiskripta.eu/w/Viditeln%C3%A9_sv%C4%9Btlo
- [41] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2010. ISBN 978-80-7196-384-4.
- [42] Oko (histologie). *Wikiskripta* [online]. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: www.wikiskripta.eu/w/Oko_%28histologie%29
- [43] JANDOVÁ, Kateřina. *PRAKTICKÁ CVIČENÍ „VYŠETŘENÍ ZRAKU“ pro studenty zubního lékařství* [online]. 11 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: fyziologie.lf1.cuni.cz/Data/files/fyziologie/vysetreni-zraku.pdf
- [44] RGB Colour model. In: *Britannica* [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: www.britannica.com/science/RGB-colour-model
- [45] Lidské oko. In: *Bmedic online* [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: bmedic-online.cz/lekce/opticke-pristroje/?v=928568b84963
- [46] GILLES, Benoit. *Vision in Insects (Part 1): Anatomy and structure of compound eyes* [online]. [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: passion-entomologie.fr/vision-in-insects-part-1-anatomy-and-structure-of-compound-eyes/
- [47] Jak vidí pes. *Vaschovatel.cz* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: www.vaschovatel.cz/blog/38-jak-vidi-pes.html
- [48] What colors snakes do see?. *How it see* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: howitsee.com/what-colors-do-snakes-see/
- [49] *Svět a barvy v přírodě* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: slideplayer.cz/slide/3000428/
- [50] HODGSON, Larry. *What bees see* [online]. [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: laidbackgardener.blog/2017/10/12/what-bees-see/
- [51] PECHÁČEK, Pavel. *Pohlednice z ultrafialových krajů* [online]. [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: www.prirodovedci.cz/magazin/pohlednice-z-ultrafialovych-kraju

[51] *Obrazové formáty a rozlišení* [online]. [cit. 2023-06-08]. Dostupné z: www.vovcr.cz/odz/tech/596/page03.html

Praktická část

JÁCHIM, František a Jiří TESAŘ. *Fyzika pro 7. ročník základní školy*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 80-723-5116-8.

MACHÁČEK, Martin a Jiří TESAŘ. *Fyzika 7: pro základní školy a víceletá gymnázia*. 2. vyd., dotisk. Praha: Prometheus, 2001. ISBN 80-719-6217-1.

RANDA, Miroslav, Václav HAVEL, Jiří KOHOUT, Václav KOHOUT, Pavel KRATOCHVÍL, Pavel MASOPUST, Jitka PROKŠOVÁ a Karel RAUNER. *Fyzika 7: pro základní školy a víceletá gymnázia*. 2. vyd., dotisk. Plzeň: Fraus, 2017. ISBN 978-80-7489-345-2.

BANÁŠ, Pavel, Renata HOLUBOVÁ a Roman KUBÍNEK. *Fyzika II*. Olomouc: Prodos, 2009. ISBN 978-80-7230-240-6.

LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy II*. 4., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2012. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 978-80-7196-429-2.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ

Obr. 1: Barevné spektrum viditelného světla [40].....	7
Obr. 2: Monokulární a binokulární vidění [51]	8
Obr. 3: Zobrazovací soustava oka [8]	8
Obr. 4: Stavba lidského oka [42]	9
Obr. 5: Zobrazení blízkého a vzdáleného bodu [45]	12
Obr. 6: Barevný RGB-model [44]	13
Obr. 7: Křivka spektrální citlivosti při denním a nočním vidění [44]	14
Obr. 8: Stavba komorového oka [49].....	15
Obr. 9: Fasetové oko [46].....	17
Obr. 10: Spektrum barevného vidění u člověka a u psa [47]	19
Obr. 11: Zorné pole kočky [20]	19
Obr. 12: Zorné pole koně [20]	20
Obr. 13: Srovnání vidění u člověka a hadů [48].....	21
Obr. 14: Jak vidí včela [50]	25
Obr. 15: Ultrafialová barva na křídlech babočky paví oko [51].....	25
Graf 1: Počet chlapců a dívek.....	34
Graf 2: Zastoupení věkových skupin v pozorovaném vzorku.....	35
Graf 3: Zastoupení jednotlivých tříd v pozorovaném vzorku.....	35
Graf 4: Graf k otázce 1	36
Graf 5: Graf k otázce 2	36
Graf 6: Graf k otázce 3	37
Graf 7: Graf k otázce 4	37
Graf 8: Graf k otázce 5	38
Graf 9: Graf k otázce 6	38
Graf 10: Graf k otázce 7	39
Graf 11: Graf k otázce 8	39
Graf 12: Graf k otázce 9	40
Graf 13: Graf k otázce 10	40
Graf 14: Graf k otázce 11	41
Graf 15: Graf k otázce 12	41
Graf 16: Graf k otázce 13	42
Graf 17: Graf k otázce 14	42
Graf 18: Graf k otázce 15	43
Graf 19: Graf procentuální úspěšnosti otázek	43

PŘÍLOHY**Dotazník I**

Vážený respondente, rád bych Vás požádal o vyplnění krátkého dotazníku, které slouží k ověření znalostí z oblasti optiky, především pak poznatků, které se týkají lidského a zvířecího oka, zraku, způsobů vnímání světla a barevného vidění. Dotazník obsahuje čtrnáct uzavřených otázek, u kterých máte na výběr ze čtyř možností. Vždy je správná pouze jedna odpověď. Poslední doplňková otázka se týká předmětů, ze kterých jste čerpali poznatky. Výsledky poslouží pro výzkum při psaní mé bakalářské práce. Mockrát Vám děkuji za čas věnovaný tomuto dotazníku a za jeho vyplnění.

Lukáš Korběl, student Fakulty pedagogické Západočeské univerzity v Plzni

Věk.....

Pohlaví.....

Třída.....

1) Jak se nazývá průhledná vrstva, která chrání přední část oka?

- A. Čočka
- B. Duhovka
- C. Rohovka
- D. Sítnice

2) Jaká část oka se přizpůsobuje změnám intenzity světla?

- A. Sklivec
- B. Rohovka
- C. Zornice
- D. Sítnice

3) Která část zdravého oka je zodpovědná za ostrost vidění?

- A. Sklivec
- B. Rohovka
- C. Sítnice
- D. Čočka

4) Kde se v lidském oku světlo nejvíce láme?

- A. V čočce
- B. V sítnici
- C. Ve sklivci
- D. V rohovce

5) Jaké jsou základní typy fotoreceptorů v lidském oku?

- A. Gangliové a bipolární buňky
- B. Tyčinky a čípky
- C. Mechanoreceptory
- D. Axony a neurony

6) Jaká část lidského oka umožňuje vnímání barev?

- A. Tři druhy čípků umístěné v sítnici oka
- B. Řasnaté těleso v oku
- C. Zrakový pigment rhodopsin
- D. Tyčinky uložené v sítnici oka

7) Která z následujících definic popisuje nejlépe pojem akomodace v kontextu lidského zraku?

- A. Jedná se o schopnost oka zaměřit se na předměty v různých vzdálenostech.
- B. Jde o funkci oka, která umožňuje rozlišovat barevné spektrum světla.
- C. Akomodace pomáhá oku adaptovat se na temné prostředí.
- D. Jde o pohyb oka při mrkání.

8) Co je slepá skvrna v lidském oku?

- A. Oblast na sítnici, která obsahuje pouze čípky
- B. Místo na sítnici, kde nejsou žádné fotoreceptory
- C. Část sítnice s největší hustotou fotoreceptorů
- D. Oblast na sítnici, kde nalezneme pouze tyčinky

9) Odhadněte, kolik % oční koule pokrývá rohovka.

- A. 10 %
- B. 15 %
- C. 20 %
- D. 35 %

10) Kde vzniká obraz u krátkozrakého oka?

- A. Za sítnicí
- B. Na sítnici
- C. Před sítnicí
- D. V rohovce

11) Odhadněte kolik % informací vnímáme zrakem:

- A. 25 %
- B. 40 %
- C. 60 %
- D. 80 %

12) Které z následujících tvrzení platí o komorovém a fasetovém oku?

- A. Komorové oko má jednu velkou čočku, zatímco fasetové oko má mnoho menších čoček.
- B. Živočichové s fasetovým okem vidí obraz uceleně, zatímco živočichové s komorovým okem jako mozaiku.
- C. Fasetové oko má lepší rozlišovací schopnost než komorové oko.
- D. Komorové oko najdeme u hmyzu a bezobratlých korýšů, fasetové oko je typické pro obratlovce, včetně člověka.

13) Co jsou to omatidia?

- A. Zrakové pigmenty hmyzu
- B. Základní stavební jednotky oka hmyzu
- C. Část oka plazů
- D. Vrstva v oku žraloka

14) Jaké světelné impulsy dokáže hmyz vnímat svým okem ve srovnání s člověkem?

- A. Červené
- B. Modré
- C. Zelené
- D. Ultrafialové

15) Ze kterých předmětů jste čerpali poznatky při vyplňování dotazníku?

- A. Fyzika
- B. Biologie
- C. Oba