

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra veterinárních disciplín



Barevné vidění u koně

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MVDr. Helena Härtlová, CSc.

Autor práce: Denisa Füllsacková

2012

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Barevné vidění u koně vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne: .....

Podpis autora práce: .....

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat MVDr. Heleně Härtlové, CSc., vedoucí mé bakalářské práce za cenné připomínky a účinnou pomoc při zpracování. Dále bych chtěla poděkovat Ivě Füllsackové, Kláře Sváčkové, Miroslavu Magurovi a Tereze Šáliové za zapůjčení svých koní a Stanislavu Škochovi za možnost provést testování koní v jeho areálu.

## Souhrn

Tato práce je zaměřena na problematiku barevného vidění u koně. Záměrem bylo shrnout nové poznatky o barevném vidění a pokusem zjistit, zda má barevné vidění vliv na orientaci a lokomoci koně. V literární rešerši je popsáno uložení a stavba oka koně, jeho funkce a přídatné orgány, mechanismus vidění, adaptace na intenzitu světla a prostorové vidění. V rámci literární rešerše jsou pak popsány studie, které se zabývaly tímto tématem, přičemž studie Smith and Goldman (1998), Timney and Macuda (2001), Ahmadinejad *et al.* (2008), Pick *et al.* (1994), Macuda and Timney (1999), Carroll *et al.* (2001), Hangii *et al.* (2007) se shodují na tom, že koně mají dichromatické vidění. Nelze však tvrdit, že všichni koně mají schopnost vidět všechny barvy.

V části nazvané vliv barevného vidění na orientaci a lokomoci koně je pak popsán provedený pokus, ve kterém bylo testováno, zda je kůň schopen orientovat se podle barvy. Šest koní bylo testováno za použití čtyř barev, a to modré, zelené, červené a žluté. Tři ze šesti testovaných koní byli schopni rozlišit červenou barvu a dosáhnout tak stanovené hranice úspěšnosti 66 %. V případě modré a žluté barvy dosáhli stanovené hranice pouze dva koně a zelenou barvu dokázal rozlišit a dosáhnout tak stanovené hranice pouze jeden kůň. Z výsledků tohoto pokusu vyplývá, že koně nejlépe reagovali na červenou barvu. Z celkového počtu šesti koní dokázal pouze jeden kůň dosáhnout stanovené hranice 66 % a výše se všemi čtyřmi barvami. Podle výsledků pokusu lze říci, že koně mají schopnost orientace podle barvy, ale nelze s jistotou tvrdit, že každý kůň této schopnosti využívá.

**Klíčová slova:** kůň, koňské oko, barevné vidění, barva, čípek, rozlišování barev, vlnová délka, vidění.

## Summary

The thesis deals with the issue of horse colour vision. The aim was to summarize new information about colour vision and to find out within an experiment whether there is an influence of the colour vision to orientation and locomotion of a horse. In literary studies there are described structure and organization of an eye of the horse, its function and additional organs, mechanism of sight, adaptation on light intensity and depth perception. Under the literary studies there are described the studies dealing with this topic. The studies Smith and Goldman (1998), Timney and Macuda (2001), Ahmadinejad *et al.* (2008), Pick *et al.* (1994), Macuda and Timney (1999), Carroll *et al.* (2001), Hangii *et al.* (2007) agree that a horse has dichromate vision. However, it cannot be said that all horses have the ability of all colour recognition.

The part called The Influence of Colour Vision to Orientation and Locomotion of a Horse describes the experiment; there was tested whether the horse is able to orientate according to the colour. Six horses were tested on four colours: blue, green, red and yellow. Three from six tested horses were able to differentiate red colour and to reach fix limit which was 66% of success. Only two horses reached the limit in case of blue and yellow colour and the only one horse was able to differentiate green colour and reach the limit. The result is that horses responded the most on red colour. The only one horse from total number of six horses was able to reach the limit of 66% and more with all four colours. According to results it can be said that horses have the ability to orientate according to colours; however it cannot be surely claim that every horse uses this ability.

**Key words:** horse, horse eye, colour vision, colour, retinal cone, colour difference, wavelength, vision.

## Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl.....	8
3	Literární rešerše.....	9
3.1	Oko koně.....	9
3.1.1	Uložení a stavba oka .....	9
3.2	Funkce jednotlivých částí oka.....	9
3.3	Přídavné orgány .....	12
3.4	Mechanismus vidění (vznik obrazu) .....	14
3.5	Adaptace na intenzitu světla .....	16
3.6	Prostorové vidění .....	17
3.7	Barevné vidění .....	17
4	Vlastní část - Vliv barevného vidění na orientaci a lokomoci koně .....	23
4.1	Úvod .....	23
4.2	Materiál a metodika.....	24
4.2.1	Materiál.....	24
4.2.2	Metodika.....	24
4.3	Výsledky.....	25
4.3.1	Modrá barva.....	25
4.3.2	Červená barva .....	26
4.3.3	Zelená barva.....	27
4.3.4	Žlutá barva .....	28
4.3.5	Celkové výsledky.....	29
4.4	Diskuse .....	30
5	Závěr.....	34
6	Seznam literatury .....	35
7	Seznam příloh .....	37

## 1 Úvod

Oko je párový smyslový orgán reagující na světlo, tedy zajišťující zrak. Zrak je pro koně velmi důležitým smyslem zvláště v přirozeném prostředí, zajišťujícím mu především ochranu před predátory. Právě proto musí být schopen vnímat i sebemenší náznaky hrozícího nebezpečí. Zrak spolu s dalšími smysly je také důležitý např. při vyhledávání potravy, usnadňuje koni pohyb v terénu, vyhýbání se překážkám apod. Barevné vidění pak může mít zásadní vliv při těchto úkonech, kdy kůň může vykazovat negativní reakce na určité barvy, jiné barvy jeho pozornost zase neupoutají. V dnešních podmínkách chovu může mít barevné vidění zásadní vliv při jejich výcviku a manipulaci s nimi.

## **2 Cíl**

Cílem této práce je shrnout nové poznatky o barevném vidění u koně, které může mít zásadní vliv např. při výcviku koně, kdy s ohledem na možnou negativní reakci koně na některou z barev, je možné eliminovat její případný nežádoucí vliv. Záměrem provedeného pokusu bylo zjistit, zda má barva vliv na orientaci a lokomoci koně.



### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Oko koně

##### 3.1.1 Uložení a stavba oka

Oko koně má ve skutečnosti stejnou stavbu jako oko jiných savců nebo člověka (Heüveldop, 2009). Oko je smyslový orgán zajišťující zrak a nachází se v obličejové části lebky. Skládá se z oční koule (*bulbu*), zrakového nervu a přídatných orgánů (Reeder *et al.*, 2009). Mezi přídatné orgány se řadí oční víčka, spojivky, slzné ústrojí a okohybné svaly s povázkami (Jelínek a kol., 2003).

Oční koule a přídatné orgány jsou uloženy v očnici (Jelínek a kol., 2003). Očnice (*orbita*), je hluboká kostěnná jáma a vystýlá ji fibroelastická povázka (*periorbita*). Funkční tuk v očnici je fibroelastickou povázkou rozdělen na tukové intraperiorbitální těleso, které vyplňuje prostor za očním bulbem, naléhá na jeho zadní stěnu a usnadňuje jeho pohyb. Extraperiorbitální tukové těleso naléhá na zevní plochu periorbity. V intraperiorbitálním prostoru probíhají okohybné svaly, které svou činností ovládají pohyb očního bulbu. Vchod do očnice ohraničuje zevní okraj oční jamky (*aditus orbitae*), který je u koně úplný a vzniká kaudálním spojením kostěných očnicových výběžků čelní a jařmové kosti. Očnicový vchod je dorzálně ohraničen čelní kostí, rostrálně slznou kostí a ventrálně jařmovou kostí (Černý, 2002).

Oční koule má tři odlišné vrstvy. První (zevní) vrstva je vazivový obal (vnější vrstva s podpůrnou funkcí), který má dvě části. Vpředu je průhledná rohovka, která přechází v tuhou bílou blánu – bělimu. Střední (vaskulární) vrstva oka je tvořena cévním obalem, který je složený z cévnatky, řasnatého tělesa a duhovky (Reece, 1998). Reece (1998) dále uvádí, že vnitřní (nervovou) vrstvu oka tvoří sítnice, která je citlivá na světlo a skládá se z několika vrstev. Tři z těchto vrstev jsou buňky. Vrstva složená ze světločivných buněk obsahuje elementy pro černobílé vidění – tyčinky a buňky pro barevné vidění – čípky.

#### 3.2 Funkce jednotlivých částí oka

Přední část bulbu tvoří průhledná rohovka, která umožňuje vstup světla do nitra oční koule. Na příčném řezu rohovkou rozlišujeme pět vrstev, a to v pořadí směrem dovnitř: epitel rohovky, Bowmanova membrána, stroma, Descemetova membrána a endotel. Rohovka není zásobena krví a krevní cévy tak nepřekážejí průchodu světelných paprsků. Rohovka je bohatě inervována nemyelinizovanými nervovými vlákny, která do ní vstupují z vnějšího obvodu duhovky a pronikají vnější epitelovou vrstvou. Rohovka je jednou z nejcitlivějších tkání

v těle. Okolo 90 % tloušťky rohovky je tvořeno vlákny kolagenu, která tak představují stroma rohovky. Tato pravidelně lamelárně uspořádaná vlákna kolagenu dodávají rohovce její průhlednost. Průhlednost rohovky závisí na stupni její hydratace. Normální, průhledná rohovka obsahuje méně vody, než je schopná do sebe nasát. Zvýšený příjem vody s následným snížením průhlednosti rohovky může nastat jako důsledek poškození rohovkového epitelu či endotelu nebo snížením obsahu kyslíku. Jestliže takový stav nastane, dojde ke změně v uspořádání vláken kolagenu v rohovce a ta se zakalí nebo zbledlá. Jinou příčinou zakalení nebo zblednutí rohovky je její ztenčení v důsledku zvýšení nitroočního tlaku, protržení v důsledku mechanického poranění oka a následné zjizvení. Větší propustnosti pro světlo se dosáhne zvětšením poměru povrchu rohovky k bělimě. Noční zvířata ve srovnání se zvířaty denními mají relativně větší plochu rohovky (Reece, 1998).

Bělima (*sclera*) udržuje tvar oční koule. Cévnatka (*choroidea*) leží mezi bělimou a sítnicí (Jelínek a kol., 2003).

Duhovka (*iris*) vybíhá z předního okraje řasnatého tělesa a rozprostírá se jako clona před čočkou (Jelínek a kol., 2003). Množství světla, které může do oka proniknout, je řízeno duhovkou, což je zbarvená část oka. Její otvor o různé velikosti se nazývá zornice. Zornice (*pupila*) je umístěna u domácích býložravců horizontálně (Reece, 1998). V horní části zornice se nacházejí duhovková zrna (*corpora nigra*), malé hnědé útvary různé velikosti. Podílejí se na tvorbě komorového moku a usnadňují koni dívání se v oslňujícím světle. Na rozdíl od člověka se zornice při silném světle nestahuje do malé kulaté dírky, ale do vodorovné štěrbiny (Heüveldop, 2009). Duhovka tvoří dvě skupiny hladkých svalů: kruhovitě (cirkulárně) uspořádané hladkosvalové buňky, inervované parasympatickými vlákny autonomní (vegetativní) nervové soustavy a paprskovitě (radiálně) uspořádané hladkosvalové buňky, inervované sympatikem. Kontrakce kruhové svaloviny zmenšuje zornici a umožňuje vstup menšího množství světla do oka. Kontrakce radiálně uspořádané svaloviny naopak zornici rozšiřuje a do oka pak vstupuje více světla. Prostor před čočkou je rozdělen duhovkou na dvě části. Prostor mezi rohovkou a duhovkou (tzn. za rohovkou, ale před duhovkou) tvoří přední oční komoru a prostor za duhovkou a před čočkou se nazývá zadní oční komora. Výběžky řasnatého tělesa odstupují z řasnatého tělesa do zadní oční komory. Tyto výběžky představují značný povrch, protože jsou zřasené a jsou velmi intenzivně prokrvené. Aktivně vylučují tekutinu (komorovou vodu) do zadní oční komory (Reece, 1998).

Čočka (*lens*) je uložena mezi rohovkou a sklivcem (Reece, 1998). Jedná se o sklovitý kompaktní orgán odpovědný za ostrost obrazu, který se promítá na sítnici. Změnami zakřivení čočky se pronikající paprsek světla různě láme. Proto je možné vidět předměty ostře, přestože se nacházejí v různých vzdálenostech (Heüveldop, 2009). Je upevněna pomocí závěsného aparátu na řasnaté těleso, které se zesiluje směrem k cévnatce. Řasnaté těleso obsahuje tři skupiny vláken hladké svaloviny (sval řasnatého tělesa), které jsou uspořádány různými směry. Svalové kontrakce způsobují pohyb řasnatého tělesa vpřed a vzad a to snižuje napětí závěsného aparátu čočky. Snížené napětí závěsného aparátu umožňuje čočce nabýt normálního klidového tvaru (má elastické pouzdro), který je více konvexní (Reece, 1998).

Komorová voda volně komunikuje s přední oční komorou, a vyplňuje tak všechny prostory před čočkou. Průhledný materiál umístěný za čočkou, který zaujímá v oční kouli největší objem, se nazývá sklivce. Není tekutý, spíše připomíná želatinu, a proto je lépe jej nazývat sklivcové těleso než sklivcová tekutina. Komorová voda může difundovat přes sklivcové těleso. Difuze je ale velmi pomalá. Základní tok vytvořené komorové vody probíhá zornicí do přední oční komory. Zde je resorbován v úhlu, kde se stýká rohovka s duhovkou do Schlemmova kanálu, který lemuje oční bulbus v místě styku duhovky s rohovkou. Síť vaziva odděluje tento kanál (žilní splav bělimy) od přední oční komory. Tvorba komorové vody probíhá neustále, a proto se musí také neustále odvádět. To je umožněno Schlemmovým kanálem. Komorová voda je vracena zpět do krve. Komorová voda poskytuje výživu neprokrvené čočce a rohovce, odplavuje odpadní produkty jejich metabolismu a vyplňuje prostor očních komor a udržuje tak vzdálenost mezi lomivými strukturami. Tlak udržovaný komorovou vodou uvnitř oční koule se dá měřit. Nitrooční tlak udržuje normální tvar oční koule a zpevňuje ji. Pokud je zpětná resorpce komorové vody znemožněna, nitrooční tlak stoupá. Takový stav se nazývá glaukom (zelený zákal) a pokud není léčen, může vést k oslepnutí (Reece, 1998).

Vnitřní plochu oční koule pokrývá vrstva světločivná neboli sítnice, a to s výjimkou slepé skvrny, kde zrakový nerv opouští oční kouli. Sítnice se skládá z deseti vrstev. Fotoreceptory sítnice jsou tyčinky a čípky, které jsou lokalizovány blízko zevního povrchu sítnice, těsně nad pigmentovým epitelem. Přenos impulzů je vnitřně směřován ke sklivci. Ve dvou interpolovaných vrstvách gangliových buněk sítnice dochází k setkání impulzů vycházejících z receptorů. Nejhlubší je vrstva bipolárních a multipolárních neuronů (Reece, 1998). Na tyčinky a čípky jsou napojeny bipolární buňky. Výběžky bipolárních buněk mají kontakt s gangliovými buňkami, jejichž axony tvoří zrakový nerv. Příčnému spojení světločivných

elementů slouží horizontální a amakrinní buňky (Jelínek a kol., 2003). Tyčinky jsou fotoreceptory pro černobílé vidění, jsou tenčí a využívány pro vidění v noci. Čípky jsou fotoreceptory pro barevné vidění, jsou širší a uplatňují se při vidění za denního světla (Reece, 1998).

### 3.3 Přídavné orgány

Na povrchu krajiny očnice se nacházejí oční víčka. Horní a dolní víčko (*palpebra superior et inferior*) kryjí a uzavírají vchod do očnice. Víčka se stýkají v mediálním a laterálním očním koutku a uzavírají příčnou víčkovou štěrbinu. Na konci víček jsou patrné dva okraje. Z předního okraje vyrůstají řasy, na zadním okraji vyúsťují v řadě tarzální žlázy a za nimi se upíná na víčko spojivka. Řasy jsou na horním víčku delší než na dolním víčku. Horní víčko je vyklenuté a zakrývá větší část rohovky než dolní víčko. Víčko tvoří tři strukturálně odlišné vrstvy. První je povrchová, kožní vrstva, druhá je střední svalověvazivová vrstva a poslední hluboká neboli spojivková vrstva. Na povrchu víček se nachází jemná kůže porostlá drobnými, krátkými chlupy. Kůži víček poutá k hlubším vrstvám bohatě zastoupené podkožní vazivo, ve kterém probíhají nervy a cévní pleteně. Na povrchu kůže víček ústí svými vývody potní žlázy (Molloyovy žlázy), a poblíž řas nacházíme rudimentární mazové žlázy (Zeisovy žlázy). Ve svalověvazivové vrstvě víček se nachází kruhový oční sval a vazivová ploténka. Nejvnitřnější vrstvou víčka je spojivka (Černý, 2002). Víčka chrání oko před vniknutím cizích těles a vnějšími podněty tím, že se reflexně zavřou. Navíc při každém mrknutí potáhnou rohovku slzami. Horní víčko se přes oko reflexně stáhne 5 – 25 krát za minutu a tímto mechanismem ho udržuje vlhké a čisté. Nadbytečné slzy se hromadí ve vnitřním očním koutku a slzným kanálkem odtékají do nosní dutiny poblíž nozder (Heüveldop, 2009).

Spojivky (*tunica conjunctiva*) jsou membrány mající charakter sliznice. Vystýlají vnitřní povrch očních víček a povlékají přední část rohovky i bělimy. Část spojivky na vnitřní ploše víček se nazývá spojivka víčka a její část na oční kouli je pak spojivka oční koule. Prostor mezi nimi vytváří spojivkový vak. Tento prostor je za normálních okolností minimální a představuje rezervoár pro hromadící se slzy. Právě díky povrchovému uložení spojivky je možné vyšetřením indikovat např. anémii či nedostatek krve (vybledlá barva sliznice), nedostatek kyslíku (modrá barva sliznice). Žloutenku indikuje žlutá barva sliznice (Reece, 1998).

V slzném ústrojí se tvoří slzy (produkty slzných žláz), které jsou přenášeny do spojivkového vaku a odtud do nosních dutin. Slzná žláza je uložena v očnici, dorzálně od oční koule. Krátké slzné kanálky vedou slzy do horní části spojivkového vaku. Produkce slz udržuje oční kouli vlhkou a klzkou a odstraňuje z ní nečistoty. Slzovody vedoucí z vnitřních koutků očí pak odvádějí nadbytečné slzy do nosních dutin. Meibomské žlázy (mazové žlázy) produkují voskovitý sekret a jsou lokalizovány na okrajích víček. Voskovitý sekret slouží k tomu, aby slzy nepřetékaly ze spojivkového vaku ven z oka (Reece, 1998).

Rohovkový slzný film je tenká vrstvička tekutiny na povrchu rohovky. Skládá se z vnitřní vrstvy hlenu (mucinu), střední vrstvy slz a vnější vrstvy tukového filmu. Vnější tuková vrstva je tvořena sekretem meibomských a přídatných mazových žláz. Zmenšuje rychlost odpařování střední vrstvy slz a také zabraňuje přetékání slz z oka přes okraj víček. Střední vrstva tekutiny je složena z výměšků slzných žláz, zvlhčuje rohovku a snižuje odpařování z oka. Tekutina se tvoří v slzných žlázách (souvisejících s třetím víčkem). Vnitřní mucinózní vrstva je tvořena pohárkovými buňkami spojivky. Kromě mucinu obsahuje hojně lysozymu, který má baktericidní účinky. Kromě lysozymu obsahují slzy i gamaglobulinovou bílkovinnou frakci, která také přispívá k baktericidnímu účinku slz. Vlhkost povrchu rohovky se zajišťuje pomocí mucinové vnitřní vrstvy rohovkového filmu. Rohovkový film se obnovuje vždy po zavření očních víček, nebo když se přes oční kouli přetáhne mžurka při zatažení oční koule do očnice (Reece, 1998).

Třetí víčko – mžurka (*membrána nictitans*) vzniká jako zdvojení ventromediální části spojivky. Třetí víčko je zesíleno chrupavkou ve tvaru písmene T, která je při bázi obklopena žlázou vylučující slzný film. Třetí víčko se vyklenuje směrem ven tehdy, když se smrští všechny okoohybné svaly. Smrštění zatahuje oční kouli do očnice a stlačuje chrupavku mžurky, čímž dochází k jejímu vyklenutí ven (Reece, 1998).

Pohyby očních koulí se uskutečňují pomocí okoohybných svalů, které jsou inervovány hlavovými nervy (Reece, 1998). Mezi hlavové nervy inervující okoohybné svaly patří odtahující nerv (*nervus abducens*), který inervuje laterální přímý okoohybný sval a laterální část zatahovače oční koule, trojklanný nerv (*nervus trigeminus*) inervující senzorická vlákna pro oko, kladkový nerv (*nervus trochlearis*) inervující dorzální šikmý okoohybný sval, okoohybný nerv (*nervus oculomotorius*) inervující většinu svalů oka a parasympatická vlákna pro řasnatý sval a kruhový sval duhovky a zrakový nerv (*nervus opticus*) inervující sítnici oka. Okoohybné svaly připojují kouli na očnici a usnadňují pohyb oka. Čtyři odtahovací svaly,

dva šikmé svaly a zatahovač oční bulvy se připojují k bělimě a umožňují pohyb a rotaci oka (Reeder *et al.*, 2009). Okohybné svaly umožňují pohyby nahoru, dolů, do stran, otáčení okem a jeho zatáhnutí do očnice. Okohybné svaly také udržují oční kouli v tukovém lůžku v očnici. Pohyby očí do stran se provádějí kontrakcemi laterálně uloženého okohybného svalu a pohyby nahoru a dolu pak kontrakcemi dorzálně a ventrálně uložených okohybných svalů. Otáčení oční koulí se uskutečňuje kontrakcí dorzálního nebo ventrálního šikmého svalu. Dorzální šikmý okohybný sval otáčí horní částí oční koule mediálně a ventrální šikmý okohybný sval otáčí spodní částí oka mediálně (Reece, 1998). Zatahovač oční bulvy se váže na zadní část koule, obklopuje zrakový nerv a je zodpovědný za zatažení koule v očnici (Reeder *et al.*, 2009). Zatahovač bulvu umožňuje ochranu oční koule v situacích, kdy by se mohly poranit a také způsobí to, že se přes oko rozprostře třetí víčko (mžurka). Mezi svaly oční štěrbiny patří kruhový oční sval (*musculus orbicularis oculi*), zvedač mediálního očního koutku (*musculus levator anguli oculi medialis*), a lící sval (*musculus malaris*). Kruhový oční sval představuje více či méně uzavřený kruhovitý plochý svalový prstenec kolem oční štěrbiny. Jeho silnější hlubší část přiléhá těsně k orbitálnímu okraji a slouží k pevnému uzavření víček (zuzuje oční štěrbinu). Povrchová část je slabší, vyzařuje do očních víček a slouží k uzavírání víček. Zvedač mediálního očního koutku tvoří tenký svalový pruh, který vystupuje z čelní povázky a vyzařuje dorzomediálně do horního víčka. Lící sval je považován za víčkovou větev hlubokého svěrače krku (*musculus sphincter colli profundus*) a je u domácích savců většinou slabě vyvinut. U koně odstupuje tento slabý sval z hluboké obličejové povázky a vyzařuje do dolní poloviny kruhového očního svalu a upíná se na dolní víčko. Lící sval stahuje dolní víčko (König a Liebich, 2003).

### **3.4 Mechanismus vidění (vznik obrazu)**

Optickou soustavu oka tvoří čtyři prvky: rohovka, komorová voda, čočka a sklivec. Na rozhraní těchto čtyř světlolomných prostředí se světelný paprsek láme a na sítnici se tak promítá ostrý obraz pozorovaného předmětu, který je zmenšený a obrácený. Při průchodu okem se dopadající paprsky světla lomí díky zakřivení rohovky, pak procházejí přední oční komorou a zornicí. Nakonec projdou čočkou, kde se znovu lomí. Po průchodu sklivcem dopadají na sítnici na zadní stěně oční koule. Ta je vybavena četnými smyslovými buňkami a dokáže dopadající obraz poslat jako informaci zrakovým nervem do mozku, kde po fyzikálních funkcích oka probíhá vlastní zrakový postup a získaná informace se zpracuje (Heüveldop, 2009). Nastavení čočky, které je nutné pro vidění blízkých a vzdálených objektů, se nazývá akomodace čočky. Vidění je vždy ostřejší, jestliže vytvořený obraz leží přesně na

sítnici. Schopnost akomodace oka je u domácích zvířat omezená. Je to pravděpodobně důsledek nedostatečnosti řasnatého svalu. Absence možnosti nastavit refrakci (tj. stupeň lomu světelných paprsků) byla u některých druhů nahrazena jiným způsobem akomodace čočky. Tvar oční koule koně a z toho vyplývající uspořádání sítnice je takové, že vzdálené předměty se při správné ohniskové vzdálenosti promítají hned za čočkou (ohnisková vzdálenost je vyhovující). Blízké předměty ležící v krátké vzdálenosti na zemi jsou pak zaostřeny do bodu nad čočkou. V případě delší ohniskové vzdálenosti spojené s bližšími předměty nedosahuje sítnice lomem paprsků na konvexní čočce, ale spíše se posune na sítnici dále od čočky, kde vytvoří obraz. Tato sítnice se u koňského oka nazývá rampová sítnice. Akomodace oční čočky není u koně přesná a často je pozorováno, že zvíře má tendenci se plašit a odklánět od kontaktu s blízkými předměty (Reece, 1998). Reece (2011) však tento názor podle všeho přehodnotil, když v dalším vydání uvádí, že rampová sítnice u koně neexistuje. Proces vidění začíná v sítnici, v její zrakové části (fotoreceptory a fopigmenty) a tvorba obrazu se dokončí v mozku. Fotoreceptory dokážou přizpůsobit svou reakční citlivost konkrétním světelným podmínkám v rozsáhlém rozpětí, dokonce až v 100 000 násobném rozlišení. Podstatou přeměny světla na vzruchovou aktivitu ve smyslových receptorech jsou biochemické procesy. Důsledkem absorpce světelné energie receptory sítnice jsou chemické změny fotosenzitivního pigmentu a přeměna energie světelné v elektrickou (Jelínek a kol., 2003). Světlo, které vstupuje do oční koule, vyvolá v tyčinkách a čípcích chemické reakce. Chemické látky obsažené v tyčinkách a čípcích se účinkem světla rozkládají. Látka nacházející se v tyčinkách se nazývá rodopsin a látky citlivé na světlo obsažené v čípcích jsou mu velmi podobné. Stimulace tyčinek proběhne pravděpodobně ihned po excitaci (podráždění) molekuly rodopsinu světlem. Podráždění vzniklé zábleskem světla může přetrvávat po dobu 0,05 až 0,5 sekundy, a to podle intenzity světla. Rychlé následné světelné záblesky s proměnlivou intenzitou splývají a zdají se být nepřerušovaným světlem. Rodopsin, neboli zrkový purpur, je pigment citlivý na světlo (Reece, 1998). Množství molekul rodopsinu ve vezikulech tyčinek je druhově rozdílné a pohybuje se mezi  $2 \cdot 10^4$  až  $8 \cdot 10^5$ . Nachází se ve vnější části tyčinek zanořených v pigmentovaném epitelu. Rodopsin se skládá z 11 – cis - retinalu (někdy označovaný jako retinen) a opsinu. Opsin je bílkovina, která se nachází v čípcích. Vystavení rodopsinu světelné energii bezprostředně vyvolá jeho rozklad. Dochází ke vzniku většího počtu nestabilních meziproductů, které existují jen po velmi krátkou dobu (nanosekundy nebo sekundy). Postupně vznikají prelumirodopsin, lumirodopsin, metarodopsin I, metarodopsin II. Konečná sloučenina – metarodopsin II spouští velmi zesílenou zrkovou excitaci a štěpí se na opsin a all – trans - retinal. Ten je chemicky stejný jako 11 – cis - retinal, ale má jinou

strukturu. Jeho molekula je spíše rovná než zakřivená. Jeho přeměna na 11 – cis - retinal vyžaduje v sítnici přítomnost enzymu izomerázy. All – trans - retinal se přeměňuje na 11 – cis - retinal, který se pak spojuje s opsinem a znovu se pak tvoří rodopsin (Reece, 1998). Lumirodopsin zahajuje procesy vedoucí ke vzniku akčního potenciálu. Vzruchy se přenášejí v podobě akčních potenciálů prostřednictvím zrakových drah do CNS, a to přes talamus do korových oblastí. Na zpracování, zesílení a další přenos informace z fotoreceptorů sítnice do mozku se podílejí bipolární nervové buňky, amakrinní buňky, horizontální buňky a gangliové buňky (Jelínek a kol., 2003). Existuje vztah mezi biochemismem vidění a vitamínem A. Nedostatek vitamínu A má za následek nedostatečnou tvorbu rodopsinu. Noční vidění vyžaduje optimální množství rodopsinu a jeho nedostatek v důsledku deficience vitamínu A se označuje jako šeroslepost (xeroftalmie), tedy neschopnost vidět za šera (Reece, 1998).

### **3.5 Adaptace na intenzitu světla**

Koně také vidí v noci. Koňské oko zachytí více světelných paprsků než lidské oko. Přizpůsobení na vidění ve tmě ale více oslepí koně než člověka. Ve slunečním světle se kůň neoslepí a nereaguje na světlo přivíráním víček jako člověk (Dušek, 2011). Přizpůsobit se vidění za tmy znamená adaptaci na poměrně temné prostředí. Při vidění za šera dochází k tomu, že v důsledku menšího množství světla nastává vzestup koncentrace rodopsinu a umožňuje tak maximální reakci na to málo světla, které je k dispozici. Adaptace na světlo znamená adaptaci na jasné prostředí. Zvýšená koncentrace rodopsinu se snižuje, protože dochází k jeho rozkladu působením nadbytku světla. Obrazy viděných předmětů se zdají být přesvětleny. Normální vidění se pak vrací, když dojde k vyrovnání koncentrace rodopsinu a množství světla, které je k dispozici. Souběžně s adaptačními procesy probíhají zrakové reflexy, které zmenšují nebo zvětšují průměr zornice. V důsledku toho se ve tmě nezvyšuje pouze koncentrace rodopsinu, ale zvětšuje se také průměr zornice. Tím je umožněn vstup maximálního množství světla do oční koule. Na světle se naopak koncentrace rodopsinu snižuje a zúžením se zornice minimalizuje množství světla vstupujícího do oka. Lesklé políčko (*tapetum lucidum*) je vrstva buněk vnitřní cévnatky odrážející světlo, která se nachází těsně vedle pigmentovaného epitelu sítnice. Lesklé políčko neprostupuje celou cévnatkou a umožňuje světlu, které právě stimulovalo receptorové buňky, aby se na ně zpět odrazilo a podráždilo je podruhé. Tímto způsobem se dosahuje lepší viditelnosti i při minimálním množství světla. Odražené světlo pak vystupuje zornicí ven z oční koule a způsobuje světélkování očí těchto zvířat ve tmě (Reece, 1998).



### 3.6 Prostorové vidění

V přirozeném prostředí je kůň kořistí a potřebuje mít velké zorné pole ke zpozorování predátorů, aby mohl včas uprchnout (Evans, 2010). Adaptace vizuálního systému poskytuje koni účinný systém varování pro včasné zachycení blížících se predátorů (Harman *et al.*, 1999). Zorné pole je pro zvíře oblast v prostoru, který při pohledu kompletně vidí. Zvířata býložravá mají oči na hlavě umístěny po stranách a mají větší zorná pole monokulárního vidění. To jim poskytuje větší ochranu při pastvě, pokud jde o průběžné pozorování okolí a zpozorování predátora (Reece, 1998). Kůň udržuje optimální horizontální polohu oční bulvy bez ohledu na postavení hlavy vzhledem k zemi (Bartoš a kol., 2008). U všech domácích zvířat, a to bez ohledu na to, jak laterálně mají uložené oči, existuje různě velká plocha, kde se zorná pole očí překrývají, a vzniká tak zóna binokulárního (prostorového) vidění (Reece, 1998). Toto binokulární vidění poskytuje koni trojrozměrné vidění s hlubším vnímáním. Kůň nemůže využít monokulárního a binokulárního vidění najednou, ale přechází z jedné oblasti vidění do druhé (Evans, 2010). Některá zvířata skutečně mohou vidět vše, co se kolem nich děje, s výjimkou předmětů zcela za jejich tělem. Ty mohou vidět pomocí malého natočení hlavy (Reece, 1998). U koně se nachází slepé místo přímo před a za ním. Je důležité uvědomit si existenci těchto slepých míst z důvodu bezpečnosti nás a našeho koně. Proto bychom měli přistupovat ke koni v místech, kde jasně vidí (Evans, 2010).

Funkce oka je optimálně přizpůsobená původním životním podmínkám koní. Oči uložené po stranách hlavy poskytují lovenému zvířeti největší možné zorné pole a ve spojení s oválnou zornicí je to skoro 360 °. Kůň tak zaregistruje i sebemenší, velmi vzdálený pohyb. Pro koně, který jako lovené zvíře pochází ze stepí, je to životně důležitá schopnost, která se zachovala dodnes, ale ne vždy k radosti jeho jezdce. Schopnost prostorového vidění je u koní méně významná. Protože zvíře vidí prostorově tehdy, když se překrývají zorná pole obou jeho očí, pokrývá u koně s očima posazenými daleko od sebe jen malou oblast. V cévnatce jejich oka se nachází výše zmíněné lesklé políčko odrážející světlo, které v lidském oku chybí (Heüveldop, 2009).

### 3.7 Barevné vidění

Je dokázáno, že živočichové umí do určité míry rozlišovat barvy, avšak pravděpodobně pouze jako odstíny šedých barev (Carroll *et al.*, 2001). V současné době již není sporu o tom, že schopnost jednotlivých druhů zvířat vidět a vnímat jednotlivé barvy souvisí s jejich způsobem života. Není tedy pravdou, že by barevné vidění bylo výsadou pouze těch

nejvyvinutějších živočichů. Jestliže je světlo rozdílných vlnových délek zpracováno vizuálním systémem, vyvolává subjektivní dojem barvy. Tento barevný dojem může být dále charakterizován 3 rozměry: odstínem (zabarvením), jasem (světlostí) a sytostí barvy (Timney and Macuda, 2001). Dále tito autoři potvrzují přítomnost 2 odlišných typů čípků, první typ pro krátkou vlnovou délku a druhý pro střední a dlouhou vlnovou délku světla. Sítnice koní tedy obsahuje alespoň 2 typy čípků, a proto jsou koně definováni jako dichromatičtí (Timney and Macuda, 2001). Výsledky řady studií (Smith and Goldman, 1998; Timney and Macuda, 2001; Ahmadinejad *et al.*, 2008) dokazují, že koně umí rozlišovat barvy. Některé autoři (Smith and Goldman, 1998; Ahmadinejad *et al.*, 2008) se shodují na tom, že koně mohou rozlišit modrou, zelenou, žlutou a červenou barvu. Dušek (2011) tvrdí, že kůň dokáže rozeznat růžovou, šedou, zelenou, žlutou, modrou barvu, ale nerozezná červenou barvu od černé.

Jako první zkoumal barevné vidění u koně Grzimek v roce 1952, který svými testy na rozlišení barevných boxů (pozitivních podnětů) od šedých boxů (negativních podnětů) - za rozlišení pozitivních podnětů byli koně odměněni, dokázal, že koně byli schopni rozlišit žlutou, zelenou, červenou a modrou barvu (Timney and Macuda, 2001). Také Pick *et al.* (1994) se při zkoumání barevného vidění koní inspirovali studií Grzimek (1952). Ve své studii testoval jednoho koně plemene Quarter Horse ve věku 19 let. Subjekt měl za úkol rozlišit mezi barevným (pozitivním) a šedým (negativním) podnětem. Za pozitivní podnět byl odměněn. Kůň byl testován na tyto barvy: modrá o vlnové délce 462 nm, červená o vlnové délce 700 nm a zelená o vlnové délce 496 nm. Výsledky studie ukázaly, že subjekt uměl spolehlivě rozlišit modrou a červenou barvu, ale zelenou barvu se nedokázal naučit rozlišit. Tato studie potvrdila, že koně mají dichromatické (dvojbarevné) vidění. Také Smith and Goldman (1998) si vytkli za cíl zjistit, zda jsou koně schopni rozlišit jednotlivé barvy od šedé barvy. Ve své studii prokázali, že koně mají barevné vidění a jsou schopni rozlišit červenou, zelenou, žlutou a modrou barvu, i když u některých jedinců se může částečně objevit barevná slepota. Předností této studie bylo zařazení většího počtu koní. Do jejich pokusu bylo zařazeno pět koní plemene Arabský kůň a Anglický plnokrevník. Použité barvy byly: červená o vlnové délce 617 nm, žlutá o vlnové délce 581 nm, zelená o vlnové délce 538 nm a modrá o vlnové délce 470 nm. Testování bylo provedeno ve stáji, kde byla postavena stěna se dvěma průsvitnými panely. Tyto panely byly zezadu osvětleny světlem promítaným přes barevné nebo šedé filtry. Jako pozitivní podnět byl stanoven barevný filtr. Pokud koně vybrali správně tento filtr, byli odměněni krmivem. Šedý filtr byl určen jako negativní podnět. Vědci nejprve naučili koně zatlačit nosem na panel, a to směrem od sebe. Po odtlačení panelu byli koně

odměnění potravou, která byla umístěna za panelem. Po této fázi učení přišla na řadu fáze testu, kde byli koně testováni se všemi jednotlivými barvami. Hranice úspěšného splnění testu byla stanovena na 85 % správných odpovědí. Tři z pěti koní byli testováni na rozlišení všech čtyř barev, přičemž dva z nich úspěšně dosáhli stanovené hranice 85 % se všemi čtyřmi barvami a třetí kůň dosáhl stanovené hranice s červenou a modrou barvou, ale se žlutou a zelenou měl velké problémy. Čtvrtý kůň byl testován jen na rozlišení žluté a zelené barvy a pátý subjekt pouze s modrou barvou. Oba tito koně úspěšně u těchto barev dosáhli stanovené hranice. S výjimkou jednoho špatného výkonu, kdy subjekt (třetí kůň) nedosáhl stanovené hranice se žlutou a zelenou barvou, nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi výkony koní. Pokračovateli v bádání barevného vidění koní byli Macuda and Timney (1999), kteří se, stejně jako předchozí autoři zabývali barevným viděním, ovšem za určitých podmínek. V jejich studii bylo měřeno barevné vidění u koně za podmínky, které minimalizovaly možnost koní využít jas (světlost, lesk) k rozlišení barevných (pozitivních) podnětů od negativních podnětů, které tvořila uniformní šedá. Byly použity 4 různé barevné podněty. Podnět modré barvy o maximální vlnové délce 440 nm, podnět zelené barvy o maximální vlnové délce 530 nm, podnět žluté barvy s 80 % propustností nad 530 nm a podnět červené barvy s 80 % propustností nad 630 nm. K testu byli použiti dva koně - 8 let stará klisna plemene Appaloosa a 13 let stará klisna plemene Hannoverký kůň. Koně byli testováni na rozlišení mezi dvěma podněty, kdy pozitivní podnět se lišil od negativního podnětu barvou a jasnem. Testování bylo provedeno za pomoci speciálně sestaveného přístroje. Pokus spočíval v tom, že koně měli za úkol přistoupit k tomuto přístroji a za účelem získání odměny odtlačit dvířka (s pozitivním podnětem), která byla součástí tohoto přístroje. Na tyto dvířka byly promítány jednotlivé podněty. Výsledky ukázaly, že oba koně byli schopni výborně rozlišovat barvy při velkých jasových rozdílech, ale počet správných odpovědí klesal se snížením rozdílů v jasu jednotlivých barev. U zelené a žluté barvy byl zaznamenán pokles správných odpovědí při nízkých rozdílech jasu, což naznačuje, že koně nemohou snadno rozlišit žlutou a zelenou barvu od šedé. Na druhou stranu výsledky ukázaly, že při rozlišování červené a modré barvy si koně vedli s těmito barvami velmi dobře, a to jak při malém, tak velkém rozdílu jasů. Autoři této studie došli k závěru, že koně mají alespoň dichromatické (dvojbarevné) vidění. Na tuto výše uvedenou studii (Macuda and Timney, 1999) navazuje studie Geisbauer *et al.* (2004), ve které byli koně testováni na schopnost rozlišovat odstíny o různém jasu a barvy. Dva koně plemene Haflingský kůň byli cvičeni na rozlišování 30 různých odstínů šedé v rozmezí od nejnižšího jasu k nejvyššímu. Jejich schopnost rozlišovat odstíny různých jasů nebyla prokázána. V průběhu této studie se její autoři také zaměřili na

testování tzv. neutrálního bodu u koně (jedná se o „bezbarvý bod“, tedy bod, ve kterém kůň není schopen rozlišit barvy od šedé) pro stanovení rozmezí barevného vidění. Pro tento test byly využity tři odstíny modrozelené barvy, které koně měli odlišit od řady šedých odstínů. Neutrální bod byl naměřen přibližně v 480 nm. Studii, metodicky podobnou práci Smith and Goldman (1998) realizovali Ahmadinejad *et al.* (2008). Cílem této práce bylo zjistit, zda jsou koně schopni rozlišit určité barvy od šedé. Do pokusu byli zařazeni 4 klisny a 4 hřebci plemene Kaspický pony. Sledovány byly čtyři individuální barvy: červená o vlnové délce 617 nm, žlutá o vlnové délce 581 nm, zelená o vlnové délce 538 nm a modrá o vlnové délce 470 nm. Experiment proběhl ve stáji, kde byla postavena stěna se dvěma zabudovanými průsvitnými panely. Panely byly osvětleny zezadu světlem promítaným přes barevné nebo šedé filtry, kdy barevný filtr poskytoval pozitivní podnět a šedý filtr tvořil negativní podnět. Pokud koně vybrali správně pozitivní podnět, byli odměněni krmivem. Koně byli nejprve naučeni tlačit nosem na jeden z panelů při světle bez barevných filtrů s cílem získat odměnu. Po fázi učení nastala fáze testování s barvami. Hranice úspěšnosti byla stanovena na 85 % správných odpovědí. Všichni koně byli testováni se všemi jednotlivými barvami. Výsledky ukázaly, že jen šest koní bylo schopno dosáhnout hranice s modrou barvou a jen dva koně byli schopni rozlišit zelenou barvu na hranici úspěšnosti. Také červenou a žlutou barvu byli schopni rozlišit jen dva koně. Studie byla uzavřena konstatováním, že poníci mohou rozlišovat různé barvy, ale výsledek je ovlivněn individualitou koně.

Hluběji se do problematiky závislosti detekce barev a jasu ponořil Carroll *et al.* (2001). Vycházeli z předpokladu, že koně jsou aktivní ve dne, za soumraku, svítání a v noci a mají oči přizpůsobené k tomu, aby měli zajištěnou vysokou citlivost jak pro vidění v tlumeném světle, tak při vyšší intenzitě světla. V své studii použili elektroretinogram, přístroj měřící spektrální citlivost čípků. Při tomto testu se šesti poníkům se zdravými očima, kterým v narkóze umístili na oči elektrody a poté jim do očí svítily barevnými světly a měřili se změny elektrických reakcí na jejich sítnici, zjistili, že čím silnější byly reakce, tím citlivější byly čípky na danou barvu. Takto identifikovali dva typy čípků, a to čípek s citlivostí pro krátkou vlnovou délku a čípek s citlivostí na střední až dlouhou vlnovou délku. Bylo také zjištěno, že čípek s citlivostí pro krátkou vlnovou délku má vrchol 428 nm, zatímco čípek s citlivostí pro střední až dlouhou vlnovou délku má vrchol 539 nm. Tyto dva typy čípků tvoří základ pro dichromatické vidění. Ze získaných výsledků autoři odvodili, jak pravděpodobně vypadá barevné spektrum koní během dne. Studie ukázala, že dichromatické vidění koním neumožňuje rozeznávat červenou barvu, ale neznamená to, že ji koně nevidí. Neumí ji pouze

rozlišit v červenozelené oblasti spektra a jsou tudíž méně citliví na červené světlo. Ke stejnému výsledku jako Carroll *et al.* (2001) dospěli i Blackmore *et al.* (2008). Ve své studii zkoumali schopnost čtyř koní rozlišit barvy (tři odstíny modré, zelené, červené a žluté) od šedé. Každý barevný odstín byl náhodně párován s třemi typy odstínů šedé. Každý kůň byl testován na každou barvu v různém pořadí. Všichni čtyři koně dosáhli stanovené hranice úspěšnosti 85 % s modrou barvou. Tři koně dosáhli stanovené hranice také se zelenou a žlutou barvou. Žádný kůň nedosáhl stanovené hranice s červenou barvou. Výsledky prokázaly, že koně dokážou jistě vidět rozdíl mezi modrou a šedou, žlutou a šedou a mezi zelenou a šedou. Do určité míry umí rozeznat i červenou od šedé, ale s velkými obtížemi. Výsledky jsou shodné s histologickými a behaviorálními studiemi, které tvrdí, že koně mají dichromatické vidění.

Protože nežádoucí reakce koní na podněty způsobené prostředím mohou být problematické při výcviku a zacházení s koňmi, byl v další studii Cassaday and Hall (2006) hodnocen vliv jedné ze zrakových funkcí (barevné vidění) na chování domácích koní. V této studii byly zaznamenávány reakce 16 jezdeckých koní (šest klisen a deset valachů) různých plemen na 8 barevně odlišných podložek. Jejich věk se pohyboval od 4 do 20 let. Vliv umístění podnětu na reakce koní byl hodnocen dvěma způsoby: podnět (podložka) byl umístěn buďto na zemi, kdy koně museli přejít přes podložku, nebo na zdi, kdy koně museli projít okolo této podložky. Zaznamenával se čas potřebný k projití uličky a reakce koní na barvy. Každá kombinace barvy/pozice byla testována dvakrát, za účelem zjištění, zda na výsledky měla vliv předchozí zkušenost (pozn. byly zjištěny významné rozdíly ve výsledcích obou měření, a to jak ve vztahu k umístění barvy, tak s ohledem na předchozí zkušenosti s kombinací barva/pozice). Počáteční prezentace barev na zemi tvořila nejvyšší procento nežádoucích reakcí. U barev žlutá, bílá, černá a modrá, se kterými se koně setkali poprvé na zemi, byl zjištěn větší počet odmítavých reakcí než u barev zelená, červená, hnědá a šedá, stejně jako nárůst v čase při průchodu uličkou. Při druhé prezentaci byl zjištěn velký rozdíl ve vztahu k barvě, který byl pozorován v chování, ale nebyl zjištěn rozdíl ve vztahu k času potřebnému k projití uličky. Při umístění podložek na zeď nebyl zjištěn významný vliv barvy při první ani při druhé prezentaci. Výsledky této studie ukazují na to, že by měl být kladen velký důraz při výběru barvy podlahy v místech, kde je s koňmi manipulováno, aby se minimalizovaly nežádoucí reakce, zejména při prvotním výcviku koně. Tyto výsledky ukazují, že na barvě záleží pouze v tom případě, když je umístěna na zemi (vzhledem k citlivosti koňského vizuálního systému na podněty v dolní části zorného pole, můžou být

tyto podněty na úrovni země pro koně výraznější, než podněty zobrazené na zdi). Bylo prokázáno, že některé barvy vyvolávají nežádoucí reakce jen u některých koní a u jiných ne. Tento stav mohou vysvětlovat rozdíly v temperamentu koní. Ačkoliv se zdá být barva pro koně podstatná ve spojení s novou situací, účinek barvy na koně přetrvává i s ohledem na předchozí zkušenosti. Z těchto výsledků vyplývá, že při výběru podlahových ploch je třeba zvážit výběr vhodné barvy, především tam, kde je s koňmi běžně manipulováno.

Schopnostmi koní rozlišovat různé barvy od šedé se zabýval také Cassaday *et al.* (2006). Koně, v počtu šest, byli nejdříve naučeni na barvy a poté při testování jim byly barvy prezentovány v různém (jiném pořadí). Když se kůň nejdříve naučil vybrat barevný podnět od bezbarvého bez ohledu na barvu, byl okamžitě schopen aplikovat toto pravidlo na nové podněty, kdy třeba dvě sady nových barev byly párovány s šedou. Tato studie ukázala, že spektrální citlivost ftopigmentu čípku koně (měřená jako poměr podráždění čípku) souvisí s výkonem při rozlišování barev. Rok poté byl ve studii Hangii *et al.* (2007) u koní poprvé použit pseudoisochromatický tabulkový test ke zjištění nedostatků barevného vidění. Tento test je vysoce účinný při testování barevného vidění jak u malých dětí, tak u dospělých lidí. Testováním prošli čtyři koně, kteří rozlišovali mezi barevným a šedým podnětem. Žádný z koní nebyl schopen rozlišit buď kombinaci červenozelené barvy, nebo samostatně červenou a zelenou barvu od šedého podnětu. Naproti tomu všichni čtyři koně byli schopni rozlišit modrou barvu. Výsledky naznačují, že koně mají dichromatické vidění s nedostatky v rozlišování červenozelené barvy.

Zda je oko koně dostatečně citlivé k vidění barev v noci a zjistit tedy absolutní práh barevného vidění u koně bylo cílem studie Roth *et al.* (2008). Pro testování byli použiti tři koně: 14 let starý polokrevný valach, 11 let starý Anglický plnokrevník a klisna Shetlandského ponyho ve věku 33 let. Koně byli trénováni na rozlišování mezi modrými a zelenými podněty. U dvou koní (polokrevný valach a klisna Shetlandského ponyho) byla modrá barva určena jako pozitivní podnět a zelená barva jako negativní podnět. U Anglického plnokrevníka byly tyto podněty určeny opačně (tzn. zelená jako pozitivní podnět a modrá jako negativní podnět). Pro vytvoření určité intenzity světla bylo použito pět různých odstínů modré barvy a sedm různých odstínů zelené barvy. Pozitivní podnět byl tedy buď světlejší, nebo tmavší než negativní podnět, spárované podněty byly prezentovány v náhodném pořadí. Experiment probíhal ve stodole s malým počtem oken. Na začátku trénování byla použita jako zdroj osvětlení zářivka. Testování začínalo za světla, které odpovídá dennímu světlu a průběžně se intenzita světla snižovala až na úroveň odpovídající svitu měsíce (pozn. tato

intenzita odpovídá hodnotě  $0,02 \text{ cd/m}^2$  - cd je zkratka anglického názvu jednotky svítivosti (jasu) kandely). V rozmezí těchto podmínek koně vybírali správně na velmi vysoké úrovni. Všichni tři koně vybírali správně při intenzitě světla, která je srovnatelná se světelnou intenzitou při západu slunce. Jeden kůň (Anglický plnokrevník) během experimentu ztratil motivaci plnit úkol, a proto byl vyloučen z dalšího testování. Shetlandská klisna byla schopna rozlišit barvy na  $0,08 \text{ cd/m}^2$  (tedy při o něco málo vyšší intenzitě světla, než je svit měsíce), přičemž polokrevný valach rozlišoval barvy při intenzitě světla  $0,02 \text{ cd/m}^2$ . Pro srovnání limit barevného vidění pro několik lidských jedinců testovaných také v tomto experimentu byl také  $0,02 \text{ cd/m}^2$ . Výsledky této studie naznačují, že koně a lidé mají podobné prahy barevného vidění a schopnost rozlišovat barvy v intenzitě měsíčního světla  $0,02 \text{ cd/m}^2$ . Výhoda velkého oka koně nespočívá v barevném vidění v noci, ale pravděpodobně zvyšuje citlivost oka. Velké oko koně není přizpůsobeno na noční barevné vidění. Místo toho kůň pravděpodobně upřednostňuje nebarevné vidění pomocí tyčinek v šeru, kde velké oči a zorničky výjimečně dobře přenáší světlo, a kde součet podnětů pravděpodobně zlepšuje citlivost také bez větších ztrát prostorového rozlišení obrazu. S nyní potvrzenou schopností barevného vidění v intenzitě měsíčního světla lze konstatovat, že barevné vidění koně stále funguje, a to i přes největší změny v osvětlení barvy. Tyto změny je možno zaznamenat především při západu slunce a v období stmívání.

## **4 Vlastní část - Vliv barevného vidění na orientaci a lokomoci koně**

### **4.1 Úvod**

Úkolem této studie bylo zjistit, zda jsou koně schopni orientovat se podle barvy a tím ovlivnit svůj směr pohybu (lokomoci). V této studii bylo testováno šest koní na modrou, zelenou, žlutou a červenou barvu. Barvy byly vybrány na základě výše popsaných studií (Smith and Goldman, 1998; Ahmadinejad *et al.*, 1998; Carroll *et al.*, 2001; Blackmore *et al.*, 2008) a poznatků, kdy bylo zjištěno, že koně jsou schopni tyto barvy rozlišit. Koně byli vybráni bez ohledu na věk a plemeno se svolením jejich majitelů. Testování bylo provedeno v areálu „Indiana Ranč“ se souhlasem majitele Stanislavem Škochem. Ranč se nachází v Novém Čestíně u Klatov, Plzeňský kraj, Česká republika.

## 4.2 Materiál a metodika

### 4.2.1 Materiál

V pokusu bylo využito šest koní plemene Český teplokrevník, Appaloosa, Anglický plnokrevník a kříženec Českého teplokrevníka a Haflingského koně ve věku 9 – 27 let o hmotnosti 500 – 700 kg. Koně jsou ustájeni celoročně na pastvině s přístřeškem a to na pastvině po dvojicích. Koně v den testu nebyli využíváni k jiným účelům. Vždy mezi dvěma testovacími dny následoval den bez testování. V těchto dnech byli koně jezdecky využíváni. Pokus byl prováděn v kruhové ohradě ze dřeva o průměru 15 metrů s pískovým povrchem. V tomto prostředí byli koně zvyklí se pohybovat. Pokus byl proveden za denního světla, dopoledne mezi 9.00 a 12.00 hodinou nebo odpoledne mezi 13.00 a 17.00 hodinou. V areálu ranče byl neustálý provoz, takže koně mohli být rušeni různými zvuky, např. řeháním ostatních koní. Pro pokus byly zakoupeny čtyři nové kbelíky stejného tvaru v světle zelené, žluté, světle modré a červené barvě, aby byla vyloučena možnost, že si koně budou pamatovat např. tvar svého kbelíku na krmení. V kruhové ohradě byl vždy přítomen pouze jeden kůň, který byl přiveden na ohlávce a vodítku vodičem. Odměnou pro koně za provedení správné odpovědi byla mrkev obecná (*Daucus carota*) a tvrdý chléb. Při testování byly pořízeny fotografie digitálním fotoaparátem Olympus FE-240/X-795 (Olympus Czech Group s. r. o., Indonesie).

### 4.2.2 Metodika

Na každý testovací den byla vždy vymezena jedna barva. Testování probíhalo za přítomnosti dvou osob (vodič a hodnotitel). Než byl kůň skutečně testován (tzn. předtím, než mu byly zaznamenávány pokusy), byl nejprve naučen na barvu, která byla testována příslušný den. Kůň byl přiveden do kruhové ohrady pomocí vodiče na ohlávce a vodítku na předem určené místo, odkud byl vždy veden při učení barvy a v době testu byl odtud také vypouštěn. V kruhové ohradě byly v jedné úrovni rozestavěny všechny čtyři kbelíky vzdálené od sebe přibližně 3 metry. Kůň byl za pomoci vodiče doveden k danému kbelíku (kbelík testované barvy) stojícímu v jedné ze čtyř možných pozic. Kůň zjistil, že v kbelíku je odměna, zkonsumoval ji, a poté byl odveden vodičem zpět na původní, předem určené místo. Po odvedení koně byl daný kbelík zaměněn s libovolným kbelíkem dalších tří barev. Po změně místa byl kůň opět přiveden vodičem k danému kbelíku a opět odměněn. Účelem této přípravy bylo, aby si kůň kbelík příslušné barvy spojil s odměnou. Tento postup byl čtyřikrát zopakován. Po fázi učení nastala fáze testování. Testování probíhalo stejným způsobem s tím rozdílem, že kůň měl šest pokusů pro vybrání správné barvy. Změna nastala také v tom, že



kůň již nebyl veden vodičem, ale z určeného místa byl vypouštěn směrem k řadě kbelíků. Vzdálenost mezi řadou kbelíků a místem vypouštění koně byla přibližně 7 metrů, kůň měl tedy dostatečný prostor pro to, aby se vydal libovolným směrem, popřípadě tento směr změnil. Poslední změna se týkala odměny, která při testování již nebyla v kbelíku. Tím byla eliminována možnost, že by kůň odměnu uviděl. Nemohl se tedy orientovat podle odměny, ale pouze podle barvy. Pokud kůň vybral správnou barvu, odměna mu byla následně vhozena do kbelíku. Pokud kůň vybral kbelík nesprávné barvy, bylo mu umožněno najít správný kbelík, a to tím způsobem, že když došel ke správnému kbelíku, byla mu vhozena odměna do kbelíku stejně jako při správném výběru. Takový pokus byl pak koni započítán jako špatný. Po provedení pokusu byl kůň odchycen vodičem a odveden na dané místo tak, aby stál zády k řadě kbelíků. Tím bylo zajištěno, aby kůň neviděl přemístění daného kbelíku na jinou pozici a pokus se znovu opakoval. Po ukončení testování byl kůň odveden zpět na pastvinu.

Barvy byly testovány v pořadí modrá, červená, zelená a žlutá. Pořadí, ve kterém byli koně testováni, nebylo předem určeno. Koně byli přiváděni náhodně tak, aby nebyl každý testován vždy ve stejnou denní dobu, tzn. za stejných světelných podmínek. Jako úspěšný pokus byl zaznamenán ten, kdy kůň hned na poprvé vybral správnou barvu. Hranice úspěšnosti testu vlivu barvy na orientaci koně byla stanovena na čtyři úspěšné pokusy ze šesti, tedy úspěšnost 66 %.

## **4.3 Výsledky**

### **4.3.1 Modrá barva**

Test na tuto barvu probíhal od 9.00 do 12.00 hodin, za jasného slunečného počasí. Během šesti pokusů, které byly provedeny u všech koní na modrou barvu, byly zaznamenány reakce jednotlivých koní (Tab. 1), tedy zda kůň našel kbelík správné barvy na poprvé, nebo kolik potřeboval k jeho nalezení pokusů, popř. zda kůň vůbec našel správný kbelík nebo odmítl spolupracovat.

Žádný z testovaných koní neměl stoprocentní úspěšnost při detekci modré barvy. U nejlepšího z nich byl zaznamenán jeden neúspěšný pokus z šesti možných (při třetím pokusu našel správný kbelík napodruhé). Naopak nejhorší výsledek měl kůň, který pouze v jednom případě ze šesti uspěl (úspěšný byl při čtvrtém pokusu). Výsledky testu neprokazují zvyšující či snižující se tendenci v úspěšnosti jednotlivých koní v průběhu testování (statisticky se jako nejúspěšnější pokus ukázal pokus číslo 4, nejhorší celkový výsledek byl zaznamenán u pokusu číslo 6). Během tohoto testu byly zaznamenány také tři odmítavé reakce (ve dvou

případech během pokusu číslo 6, v jednom případě při pokusu číslo 3), kdy došlo ke ztrátě motivace splnit daný úkol.

Tab. 1 - Výsledky testu modré barvy

	<b>Pokus 1</b>	<b>Pokus 2</b>	<b>Pokus 3</b>	<b>Pokus 4</b>	<b>Pokus 5</b>	<b>Pokus 6</b>
<b>Kůň 1</b>	1	1	2	1	1	1
<b>Kůň 2</b>	2	1	1	1	1	3
<b>Kůň 3</b>	3	2	1	2	1	2
<b>Kůň 4</b>	3	1	3	2	4	1
<b>Kůň 5</b>	2	1	2	1	2	-
<b>Kůň 6</b>	2	4	-	1	2	-

Vysvětlivky: 1 (kůň našel správný kbelík na poprvé); 2 (kůň našel správný kbelík na druhý pokus); 3 (kůň našel správný kbelík na třetí pokus); 4 (kůň našel správný kbelík na čtvrtý pokus); - (odmítavá reakce, kdy kůň ztratil motivaci dokončit daný úkol).

#### 4.3.2 Červená barva

Test probíhal od 9.00 do 12 hodin při nízké oblačnosti s občasnými přeháňkami. Stejně jako v předchozím případě byly u jednotlivých koní zaznamenány jejich reakce (Tab. 2), které byly ohodnoceny stejným způsobem, jako v předchozím případě (tzn., zda byl správný kbelík nalezen na poprvé či na více pokusů, popř. zda kůň pokus nedokončil).

Ani v tomto testu neměl žádný z testovaných koní stoprocentní úspěšnost při detekci červené barvy. Nejúspěšnější z testovaných koní zaznamenal pouze jeden neúspěšný pokus (v šestém pokusu napodruhé našel správný kbelík), kůň s nejhorším výsledkem vykonal pouze dva úspěšné pokusy (úspěch u tohoto koně byl zaznamenán při prvním a šestém pokusu). Statisticky jako nejúspěšnější pokus se projevil pokus číslo 6, nejméně úspěšný pokus byl pak pokus číslo 3. Po vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých pokusů nelze ani zde dovést zvyšující nebo snižující se úspěšnost v průběhu testování červené barvy. Pouze v jednom případě byla zaznamenána odmítavá reakce (v průběhu pokusu číslo 5), kdy kůň ztratil motivaci dokončit daný úkol.

Tab. 2 - Výsledky testu červené barvy

	<b>Pokus 1</b>	<b>Pokus 2</b>	<b>Pokus 3</b>	<b>Pokus 4</b>	<b>Pokus 5</b>	<b>Pokus 6</b>
<b>Kůň 1</b>	1	1	1	1	1	2
<b>Kůň 2</b>	2	1	1	2	1	1
<b>Kůň 3</b>	1	2	3	2	3	1
<b>Kůň 4</b>	1	1	4	1	1	1
<b>Kůň 5</b>	1	2	1	3	2	1
<b>Kůň 6</b>	2	1	4	1	-	1

Vysvětlivky: 1 (kůň našel správný kbelík na poprvé); 2 (kůň našel správný kbelík na druhý pokus); 3 (kůň našel správný kbelík na třetí pokus); 4 (kůň našel správný kbelík na čtvrtý pokus); - (odmítavá reakce, kdy kůň ztratil motivaci dokončit daný úkol).

#### 4.3.3 Zelená barva

Test probíhal v odpoledních hodinách mezi 13.00 a 17.00 hod., za jasného a slunečného počasí. I při testu na zelenou barvu byly zaznamenány reakce jednotlivých koní a jejich úspěšnost byla ohodnocena stejným způsobem jako v předchozích případech (Tab. 3).

V průběhu tohoto testu nedosáhl žádný kůň stoprocentní úspěšnosti. Nejúspěšnější kůň zaznamenal při testování celkem pět úspěšných pokusů ze šesti (neuspěl pouze při pokusu číslo 1). Naopak nejméně úspěšný kůň nezaznamenal ani jeden úspěšný pokus. Statisticky se jako nejúspěšnější pokus projeví pokusy dva, a to s číslem 1 a 4. Nejméně úspěšný pokus byl pak pokus číslo 5. Ani v tomto testu nebyla zaznamenána žádná vzrůstající či klesající tendence v úspěšnosti jednotlivých pokusů, naopak výsledky v průběhu celého testu byly poměrně vyrovnané. Z tabulky pak vyplývá, že tento test nebyl příliš úspěšný, neboť tři z testovaných koní dosáhli špatných výsledků (jeden kůň neměl ani jeden úspěšný pokus; dva koně zaznamenali pouze jeden úspěšný pokus ze šesti). Na druhé straně v průběhu tohoto testu nebyla zaznamenána ani jedna odmítavá reakce.

Tab. 3 - Výsledky testu zelené barvy

	<b>Pokus 1</b>	<b>Pokus 2</b>	<b>Pokus 3</b>	<b>Pokus 4</b>	<b>Pokus 5</b>	<b>Pokus 6</b>
<b>Kůň 1</b>	2	1	1	1	1	1
<b>Kůň 2</b>	2	2	4	2	3	1
<b>Kůň 3</b>	1	2	1	1	4	2
<b>Kůň 4</b>	2	2	1	2	2	3
<b>Kůň 5</b>	2	3	2	2	3	3
<b>Kůň 6</b>	1	1	2	2	2	2

Vysvětlivky: 1 (kůň našel správný kbelík na poprvé); 2 (kůň našel správný kbelík na druhý pokus); 3 (kůň našel správný kbelík na třetí pokus); 4 (kůň našel správný kbelík na čtvrtý pokus); - (odmítavá reakce, kdy kůň ztratil motivaci dokončit daný úkol).

#### 4.3.4 Žlutá barva

Test probíhal v odpoledních hodinách v době od 13.00 do 17.00 hodin, za jasného a slunečného počasí. V rámci tohoto testu byly opět zaznamenány reakce jednotlivých koní během šesti pokusů (Tab. 4). Jejich hodnocení probíhalo stejným způsobem, jako u předchozích testů.

V testu žluté barvy, stejně jako ve všech předchozích testech nedosáhl žádný z testovaných koní stoprocentní úspěšnosti. Nejúspěšnější z šesti testovaných koní byl úspěšný v pěti pokusech ze šesti možných (neúspěch byl u něj zaznamenán pouze v pokusu číslo 3). Nejméně úspěšný kůň zaznamenal pouze jeden úspěšný pokus, kterým byl pokus číslo 4. Statisticky nejúspěšnějším pokusem byl pokus číslo 4, nejmenší úspěšnost byla zaznamenána u pokusů číslo 3 a 6. Ani v tomto případě nebyl zaznamenán žádný vývoj v úspěšnosti koní během jednotlivých pokusů. Stejně jako v předchozím případě jsou výsledky tohoto testu poměrně vyrovnané, přičemž i během tohoto testu nebyla zaznamenána žádná odmítavá reakce.

Tab. 2 - Výsledky testu žluté barvy

	<b>Pokus 1</b>	<b>Pokus 2</b>	<b>Pokus 3</b>	<b>Pokus 4</b>	<b>Pokus 5</b>	<b>Pokus 6</b>
<b>Kůň 1</b>	1	1	2	1	1	1
<b>Kůň 2</b>	4	2	1	1	1	2
<b>Kůň 3</b>	2	1	2	1	3	1
<b>Kůň 4</b>	1	1	2	1	1	2
<b>Kůň 5</b>	1	3	1	2	2	3
<b>Kůň 6</b>	2	2	4	1	3	3

Vysvětlivky: 1 (kůň našel správný kbelík na poprvé); 2 (kůň našel správný kbelík na druhý pokus); 3 (kůň našel správný kbelík na třetí pokus); 4 (kůň našel správný kbelík na čtvrtý pokus); - (odmítavá reakce, kdy kůň ztratil motivaci dokončit daný úkol).

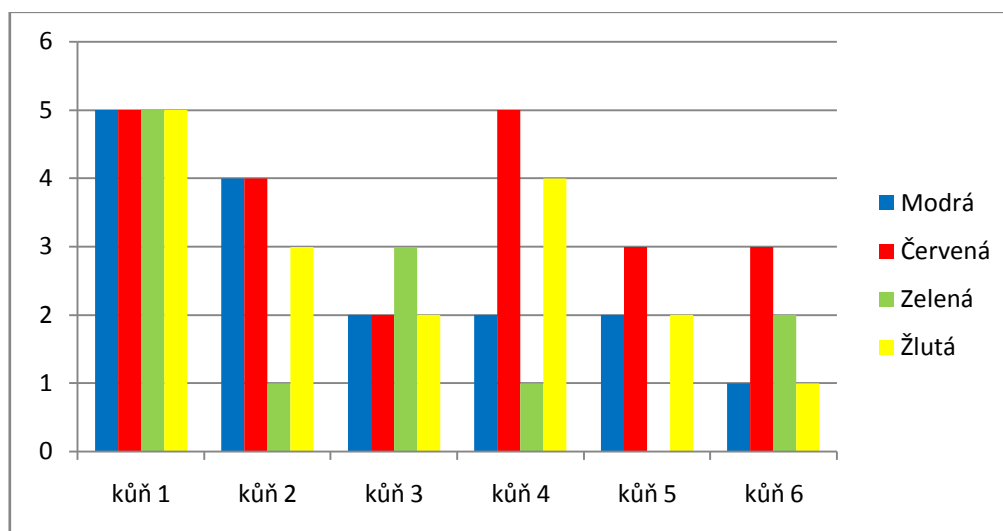
#### 4.3.5 Celkové výsledky

Během celého průběhu testování, které proběhlo u všech koní na všechny barvy, byly zaznamenány veškeré reakce testovaných koní. Pouze některé ze zaznamenaných reakcí (Tab. 5 a Graf 1) však lze vyhodnotit jako úspěšné.

Tab. 5 - Počet správných rozhodnutí šesti koní detekovat příslušnou barvu ze šesti možných pokusů

<b>Barva</b>	<b>Počet koní</b>	<b>Počet správných rozhodnutí</b>						<b>Průměr</b>
<b>Modrá</b>	6	5	4	2	2	2	1	2,6
<b>Červená</b>	6	5	4	3	2	5	3	3,6
<b>Zelená</b>	6	5	1	0	3	1	2	2,0
<b>Žlutá</b>	6	5	3	2	2	4	1	2,8

Graf 1 - Celková úspěšnost u všech barev



#### 4.4 Diskuse

U všech šesti koní byl proveden test na všechny barvy, tzn. na modrou, červenou, zelenou a žlutou barvu. V žádném ze čtyř provedených testů se žádnému koni nepodařilo dosáhnout stoprocentního výsledku. Jeden z šesti testovaných koní (kůň číslo 1) projevil nejlepší schopnost rozlišit dané barvy, když uspěl v pěti z šesti možných pokusů, a to v rámci testů na všechny čtyři barvy (jeho úspěšnost tedy byla ve všech testech 83 %).

Na základě provedeného testování nelze určit, který kůň si vedl nejhůře. Jedny z nejhorších výsledků byly zaznamenány u koně číslo 6, který byl nejhorší v testu na modrou a žlutou barvu. V případě koně číslo 5 nebyl zaznamenán ani jeden úspěšný pokus v testu na zelenou barvu.

Jak již vyplývá z hodnocení úspěšnosti jednotlivých testů, nelze v případě žádné barvy dovést žádnou klesající či vzrůstající tendenci v úspěšnosti detekovat příslušnou barvu, a to v průběhu celého testování. Odmítavé reakce koní, tzn. případy, kdy kůň ztratil motivaci dokončit daný úkol, byly zaznamenány celkem čtyřikrát během celého testování, třikrát při testování modré barvy a jednou při testování červené barvy.

Nejlépe si koně poradili při testování červené barvy, kdy tři koně dosáhli stanovené hranice úspěšnosti větší než 66 % (konkrétně koně číslo 1, 2 a 4). Při detekci modré barvy sledovaní koně prokázali značnou variabilitu. Pouze dva koně úspěšně zvolili modrou barvu v 66 % a více případů (kůň číslo 1 a 2). Ostatní koně napoprvé našli modrou barvu pouze

ve 33 % případů a méně. Žlutou barvu akceptovali pouze dva koně z více jak 66 % (koně číslo 1 a 4). Zelená barva byla pro koně nejhůře detekovatelná, kdy ji s úspěšností pohybující se nad hranicí 66 % dokázal rozlišit pouze jeden kůň (kůň číslo 1).

Testování probíhalo za využití kbelíků různých barev, přičemž úkolem jednotlivých koní bylo určit kbelík správné barvy (tj. prokázat schopnost orientace podle dané barvy). Tyto kbelíky byly umístěny na zemi. Jak vyplývá z výsledků studie Cassaday and Hall (2006), na barvě záleží pouze v tom případě, když je umístěna na zemi (vzhledem k citlivosti koňského vizuálního systému na podněty v dolní části zorného pole, můžou být tyto podněty na úrovni země pro koně výraznější, než podněty zobrazené na zdi). Bylo tedy počítáno s tím, že různé barevné kbelíky umístěné na zemi budou pro testované koně dostatečně výraznými podněty, na které budou koně schopni reagovat.

Dva ze čtyř testů, testy na zelenou a žlutou barvu probíhaly v dopoledních hodinách od 9.00 do 12.00 hodin, testy na červenou a modrou barvu byly provedeny v odpoledních hodinách v rozmezí od 13.00 do 17.00 hodin. V případě testu na červenou barvu bylo oblačno s občasnými přeháňkami, u ostatních testů bylo jasné a slunečné počasí. Je zřejmé, že se v průběhu testování měnily světelné podmínky a intenzita světla, přičemž z výsledků provedeného testování vyplývá, že změny v intenzitě světla neměly žádný vliv na výsledek testu, neboť právě v případě červené barvy (test byl prováděn za nejnižší intenzity světla) byly výsledky testu nejlepší ze všech testovaných barev. Tento závěr pak odpovídá výsledku, ke kterému dospěli vědci ve studii Roth *et al.* (2008), kteří uvedli, že koně mají barevné vidění a schopnost rozlišovat barvy v intenzitě měsíčního světla  $0,02 \text{ cd/m}^2$ . S takto potvrzenou schopností barevného vidění v intenzitě měsíčního světla lze konstatovat, že barevné vidění koně funguje i přes největší změny v osvětlení barvy.

Na výsledky jednotlivých testů pak také mohl mít vliv okolní provoz v areálu (např. pohyb ostatních lidí a koní, hluk způsobený mechanizací apod.), kdy tento provoz mohl koně rozptylovat a tím pádem se nesoustředili na svůj výkon. Testy byly provedeny ve známém prostředí (kruhové ohradě), kde jsou koně zvyklí se pohybovat. Tím byl eliminován možný vliv, že by kůň neznal prostředí, ve kterém byly testy provedeny, a nechtěl vstoupit do kruhové ohrady.

Z výsledků provedeného pokusu vyplývá, že koně se nejlépe orientovali podle červené barvy, kdy tři koně ze šesti byli schopni rozlišit červenou barvu nad stanovenou hranicí úspěšnosti. Tento výsledek je v souladu s výsledky studií Pick *et. al.* (1994), Smith

and Goldman (1998), které ukazují, že koně nemají problémy s rozlišením červené barvy. Na druhou stranu jsou tyto výsledky v rozporu se studii Blackmore *et al.* (2008), Hangii *et al.* (2007) a Carroll *et al.* (2001), které tvrdí, že koně umí rozeznávat červenou barvu jen s velkými obtížemi, a že mají v rozlišování červené barvy určité nedostatky. Při testu na červenou barvu, v rozporu s výsledky studie Cassaday and Hall (2006), kde je zmíněno, že červená barva nevyvolávala odmítavé reakce, byla zaznamenána jedna odmítavá reakce.

Nejhůře koně reagovali na zelenou barvu, kdy pouze jeden kůň byl schopen úspěšně rozlišit tuto barvu. Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky studie Pick *et al.* (1994), kdy testovaný kůň nebyl schopen se naučit rozlišit zelenou barvu. Dále se shodují výsledky se studií Macuda and Timney (1999), kdy testování koně měli také problémy s rozlišením zelené barvy. Ve studii Hangii *et al.* (2007) je též uváděno, že koně mají nedostatky v rozlišování zelené barvy.

Ve srovnání s téměř všemi závěry výše uvedených studií Pick *et al.* (1994), Smith and Goldman (1998), Blackmore *et al.* (2008), Hangii *et al.* (2007) a Carroll *et al.* (2001), které se v podstatě shodují na tom, že kůň je bez problémů schopen rozlišit modrou barvu, není výsledek provedeného testu příliš přesvědčivý, neboť úspěšně tento test splnili jen dva koně. V porovnání se studií Cassaday and Hall (2006), která ukazuje na zvýšený počet odmítavých reakcí při umístění podnětu modré barvy na zemi, bylo v provedeném testu dosaženo podobného výsledku, neboť při testu na modrou barvu byl zaznamenán nejvyšší počet odmítavých reakcí (celkem 3), které spočívaly v tom, že kůň zcela ztratil motivaci dokončit daný úkol.

Z výsledků studie Blackmore *et al.* (2008) vyplývá, že koně jsou schopni rozlišit žlutou barvu. Tomuto výsledku pouze částečně odpovídá výsledek provedeného pokusu, kdy stanovené hranice úspěšnosti dosáhli jen dva ze šesti testovaných koní. Ve studii Cassaday and Hall (2006) se její autoři zmiňují o odmítavé reakci na žlutou podložku umístěnou na zemi. Výsledky provedeného pokusu tomuto neodpovídají, neboť v jeho průběhu nebyla zaznamenána žádná odmítavá reakce.

Při celkovém vyhodnocení všech testů si nelze nevšimnout, že kůň číslo 1 zaznamenal ve všech testech absolutně nejlepší úroveň při rozeznávání barev, když úspěšně absolvoval pět pokusů z šesti možných. Tento výsledek mohl být způsoben také tím, že u koně číslo 1 byla upozorována mnohem větší chuť k jídlu než u ostatních koní. Vidina odměny pak mohla na tohoto koně působit jako mnohem větší motivace než u ostatních koní. Dva nejhorší



celkové výsledky testovaných koní naopak mohly být způsobeny jejich temperamentem, kdy kůň číslo 6, u kterého byl zaznamenán největší počet odmítavých reakcí, se vyznačuje flegmatickým temperamentem.

Na začátku testování panovaly určité obavy ohledně výkonu dvou koní, protože kůň číslo 2 trpí měsíční slepotou (zánětlivé onemocnění vnitřních struktur oka) a kůň číslo 4 trpí šeroslepotí (neschopnost vidět za šera). Výsledky testování prokázaly, že tyto obavy byly zbytečné, protože oba dva koně patří mezi tři nejúspěšnější koně celého testu. Nicméně není vyloučeno, že výsledky těchto koní mohly být na stejné nebo lepší úrovni než jaké dosáhl kůň číslo 1, pokud by je neomezoval tento handicap.

Tím, že koně byli schopni ve většině případů rozlišit mezi různě barevnými kbelíky, kdy se vydali v jejich směru motivováni odměnou, bylo prokázáno, že se koně mohou orientovat (zaměřit svůj směr chůze) v závislosti na určité barvě. V případě koně číslo 1 byl zaznamenán zvýšený zájem o kbelík příslušné barvy (pět úspěšných pokusů ze šesti), který se projevoval zvýšením rychlosti pohybu (téměř ve všech případech se tento kůň pohyboval klusem nebo cvalem).

## 5 Závěr

I když oko koně má ve skutečnosti stejnou stavbu jako lidské oko nebo oko jiných savců, najdeme mezi nimi určité rozdíly, ať již ve velikosti oka koně, v přítomnosti jiných částí oka (např. tapetum lucidum v cévnatce oka koně), nebo v jeho funkcích (např. koňské oko zachytí více světelných paprsků apod.).

Bylo zjištěno, že oko koně je schopné se přizpůsobit temnému prostředí a tak kůň vidí také v noci. Prostřednictvím monokulárního vidění a zorného pole, které zaujímá téměř 360 °, je kůň chráněn před predátory. Binokulární vidění pak koni poskytuje trojrozměrné vidění s hlubším vnímáním, i když zaujímá jen malou oblast.

I když nelze tvrdit, že každý kůň je schopen vidět všechny barvy, studie Carroll *et al.* (2001) potvrzuje, že koňská sítnice obsahuje 2 typy čípků s citlivostí pro krátkou, střední a dlouhou vlnovou délku. Koně by tedy měli být schopni rozlišit alespoň dvě barvy. Výsledky studií dalších autorů (Smith and Goldman, 1998; Ahmadinejad *et al.*; 2008), ukazují, že koně jsou schopni rozlišit modrou, červenou, žlutou a zelenou barvu.

Červená barva je kontroverzní a některými autory (Hangii *et al.*, 2007; Carroll *et al.*, 2007; Blackmore *et al.*, 2008) je poukazováno, že s jejím rozlišením mají koně problémy. Přes tyto určité rozdíly ve výše uvedených studiích můžeme říci, že koně jsou schopni rozlišit barvy s individuálními rozdíly, kdy určitý vliv může být způsoben odstínem, jasem a sytostí barvy nebo intenzitou světla.

Jak již bylo uvedeno výše, mohou se koně orientovat podle barvy (např. zaměřit směr své chůze), nicméně výsledky provedeného pokusu naznačují, že koně mohou mít problémy při rozlišování jednotlivých barev, kdy z realizovaných 24 testů (tzn., testem na všechny čtyři barvy prošlo 6 koní) bylo dosaženo hranice úspěšnosti 66 % a vyšší pouze v 8 případech.

## 6 Seznam literatury

Ahmadinejad, M., Pishkar, J., Asadi, M. R., Abavisani, A., Mahadavi, A., Bafarani, A. R. H. 2008. Color discrimination in Caspian pony. *Ippologia*. 19. (1). 27 – 37.

Bartoš, L., Bartošová, J., Starostová, L. 2008. Position of the head is not associated with ganges in horse vision. *Equine Veterinary Journal*. 40. (6). 599 – 601.

Blackmore, T. L., Foster, T. M., Sumpter, C. E., Temple, W. 2008. An investigation of colour discrimination with horses (*Equus caballus*). *Behavioural Processes*. 78. 387 - 396.

Carroll, J., Murphy, Ch. J., Neitz, M., Ver Hoeve, J. N., Neitz, J. 2001. Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse. *Journal of Vision*. 1. 80 – 87.

Černý, H. 2002. *Veterinární anatomie pro studium a praxi*. Noviko a. s. Brno. ISBN: 8086542017

Dušek, J. 2011. *Chov koní*. Brázda. Praha. 398 s. ISBN: 9788020903884

Evans, P. 2010. *Equine Vision and Its Effect on Behaviour*. Utah State University. p.1 - 3.

Geisbauer, G., Griebel, U., Schmid, A., Timney, B. 2004. Brightness discrimination and neutral point testing in the horse. *NRC Research Press Web*. 82. 660 – 670.

Hall, C. A., Cassaday, H. J. 2006. An investigation into the effect of floor colour on the behaviour of the horse. *Applied Animal Behaviour Science*. 99. 301 – 314.

Hall, C. A., Cassaday, H. J., Vincent, Ch. J., Derrington, A. M. 2006. Cone Excitation Ratios Correlate With Color Discrimination Performance in the Horse (*Equus caballus*). *Journal of Comparative Psychology*. 120. (4). 438 – 448.

Hangii, E. B., Ingersoll, J. F., Waggoner, T. L. 2007. Color Vision in Horses (*Equus caballus*): Deficiencies Identified Using a Pseudoisochromatic Plate Test. *Journal of Comparative Psychology*. 121. (1). 65 – 72.

Harman, A. M., Moore, S., Hoskins, R., Keller, P. 1999. Horse vision and an explanation for the visual behaviour originally explained by the “ramp retina”. *Equine Vet. J.* 31. 384–390.

Heüveldop, S. 2009. *První pomoc pro koně*. Brázda. Praha. 160 s. ISBN: 9788020903716.

- Jelínek, P., Koudela, K. 2003. Fyziologie hospodářských zvířat. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 414 s. ISBN: 8071576441
- König, H. E., Liebich, H. G. 2003. Anatomie domácích savců. Hajko & Hajková. Bratislava. 286 s. ISBN: 8088700566
- Macuda, T., Timney, B. 1999. Luminance and chromatic discrimination in the horse (*Equus caballus*). *Behavioural Processes*. 44. 301 – 307.
- Pick, D. F., Lovell, G., Brown, S., Dail, D. 1994. Equine color perception revisited. *Applied Animal Behaviour Science*. 42. 61 – 65.
- Reece, W. O. 1998. Fyziologie domácích zvířat. Grada Publishing. Praha. 456 s. ISBN: 8071695475.
- Reece, W. O. 2010. Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. Grada Publishing. Praha. 480 s. ISBN: 9788024732824. 2. vydání.
- Reeder, D., Miller, S., Wilfong, D., Leitch, M., Zimmer, D. 2009. *Equine Manual for Veterinary Technicians*. Wiley Blackwell. New York. 402 p. ISBN: 9780813829715
- Roth, L. S. V., Balkenius, A., Kelber, A. 2008. The Absolute Threshold of Colour Vision in the Horse. *Plos one*. 3. (11).
- Smith, S., Goldman, L. 1998. Color discrimination in horses. *Applied Animal Behaviour Science*. 62. 13 – 25.
- Timney, B., Macuda, T. 2001. Vision and hearing in horses. *JAVMA*. 218. (10). 1567 – 1574.

## 7 Seznam příloh

- Příloha 1 – kůň číslo 1
- Příloha 2 – kůň číslo 2
- Příloha 3 – kůň číslo 3
- Příloha 4 – kůň číslo 4
- Příloha 5 – kůň číslo 5
- Příloha 6 – kůň číslo 6
- Příloha 7 – kůň číslo 2 s vodičem (pomocníkem) při učení se barvy
- Příloha 8 - pozice koně při záměně kbelíků- kůň stojí zády ke kbelíkům
- Příloha 9 - oko postižené měsíční slepotou-kůň číslo 2
- Příloha 10 - zdravé oko-kůň číslo 2

Příloha 1 - kůň číslo 1



Fotografie Denisa Füllsacková

Kůň číslo 1



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 2 - kůň číslo 2



Fotografie Denisa Füllsacková

Kůň číslo 2



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 3 - kůň číslo 3



Fotografie Denisa Füllsacková

Kůň číslo 3



Fotografie Denisa Füllsacková



Příloha 4 - kůň číslo 4



Fotografie Denisa Füllsacková

Kůň číslo 4



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 5 - kůň číslo 5



Fotografie Denisa Füllsacková

Kůň číslo 5



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 6 - kůň číslo 6



Fotografie Denisa Füllsacková

Kůň číslo 6



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 7 - kůň číslo 2 s vodičem (pomocníkem) při učení se barvy



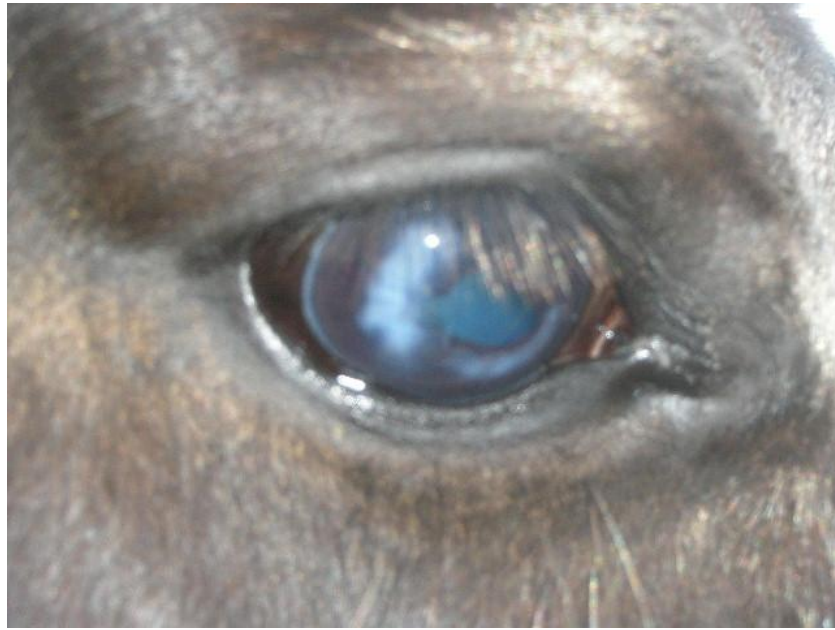
Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 8 - pozice koně při záměně kbelíků- kůň stojí zády ke kbelíkům



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 9 - oko postižené měsíční slepotou-kůň číslo 2



Fotografie Denisa Füllsacková

Příloha 10 - zdravé oko-kůň číslo 2



Fotografie Denisa Füllsacková