

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Barevná realita koňského vidění překážek v parkuru

Diplomová práce

**Bc. Magdaléna Křížová
Chov hospodářských zvířat**

Vedoucí práce: Ing. Cyril Neumann, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Barevná realita koňského vidění překážek v parkuru" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Cyrilu Neumannovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, trpělivost, ochotu a cenné rady, které mi k vypracování této práce poskytl. Mé poděkování dále patří paní Ing. Barboře Hoffmannové, Ph.D. za zapůjčení spektrofotometru k naměření barevnosti překážek a panu Ing. Lukáši Válkovi za jeho ochotu a čas, který mi věnoval pro zaučení se spektrofotometrem a při zpracování dat.

Barevná realita koňského vidění překážek v parkuru

Souhrn

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda má barevnost překážek vliv na jejich úspěšné překonání a také, zda různé barvy hrají v pozornosti koní významnější roli. Data byla sbírána na vybraných parkurových závodech v rámci Českého skokového poháru, během kterého jsou ve většině případů používány totožné překážky, což společně s početným startovním polem soutěžících poskytlo dostatečnou sumu dat k vypracování této diplomové práce. Byla zvolena střední obtížnost výšky překážek, tj. 125–130 cm.

K experimentu byly vybrány překážky v bílo-barevné a celobarevné kombinaci. Barevnost překážek byla měřena spektrofotometrem CM-2500d značky Konica Minolta, který změřil konkrétní barevnost na principu reflektance viditelného spektra v rozsahu 360 do 740nm zkoumaných barev. Na základě dostupných vědeckých studií bylo následně okomentováno pravděpodobné vnímání zkoumaných barev koňským okem. Za chybu na překážkách bylo považováno shození bariéry a ve vybraných případech neposlušnost koně nebo nadměrná obava z překážky. Chyby byly analyzovány pozorováním a zapisovány. Následně byla data v programu Statistica vyhodnocena pomocí dvouvýběrového Z-testu s 5% hladinou statistické významnosti, což umožnilo zodpovězení hypotéz.

Pro zodpovězení Hypotézy 1 se experimentu zúčastnilo celkem 930 koní. Přes bílo-barevnou variantu překážky přeskočilo 499 koní z toho 7,62 % koní chybovalo. Přes celobarevnou variantu překážky přeskočilo 431 koní a z toho se chyby dopustilo 14,6 % koní. Bylo zjištěno, že koně méně chybují na překážkách v bílo-barevné kombinaci než na překážkách celobarevných. Hypotéza 1 byla přijata.

K ověření Hypotézy 2 se experimentu zúčastnilo celkem 961 koní. Překážky s převažujícími odstíny červené barvy překonalo celkem 413 koní a z toho 13,1 % chybovalo. Přes překážky s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy přeskočilo celkem 548 koní, z čehož se 11,3 % koní dopustilo chyby. Jednalo se o statisticky nevýznamný rozdíl a Hypotéza 2 byla zamítnuta.

Největší počet chyb byl zaznamenán na celobarevné překážce v tmavě šedém odstínu, naopak nejmenší chybovost byla na překážkách v červeném a zeleném odstínu v kombinaci s bílou. Počet chyb na překážkách s převažujícími odstíny červené, modré a žluté barvy byl vyrovnaný.

Tato práce byla přiblížením k dosud nedostatečně prozkoumané oblasti a může posloužit jako metodický návod pro další studie. K pochopení vnímání a zpracování různých barevných odstínů koňským okem je třeba dalších výzkumů, jejichž výsledky mohou přispět k rozvoji parkurového sportu z pohledu jezdeckví i tvorby parkurových překážek.

Klíčová slova: zrak, koně, barevnost, překážky, parkur, zrak koně

The colorful reality of horse vision of obstacles in show jumping

Summary

The aim of this diploma thesis was to find out whether the color of obstacles has an effect on their successful overcoming and also whether different colors play a more important role in the attention of horses. Data were collected at selected show jumping competitions within the Czech Jumping Cup, during which identical obstacles are used in most cases which together with the numerous starting field of competitors provided a sufficient amount of data to develop this thesis. The medium difficulty of the height of the obstacles was chosen, i.e. 125–130 cm.

Obstacles in white-color and full-color combination were selected for the experiment. The color of the obstacles was measured with a CM-2500d spectrophotometer from Konica Minolta which measured the specific color on the principle of reflectance of the visible spectrum in the range of 360 to 740 nm of the examined colors. Based on available scientific studies, the probable perception of the examined colors by the horse's eye was subsequently commented. Dropping the barrier and in selected cases disobedience of the horse or excessive fear of the obstacle was considered as a fault on the obstacles. Faults were analyzed by observation and written down. Subsequently, the data in the Statistica program were evaluated using a two-sample Z-test with a 5% level of statistical significance which allowed the hypotheses to be answered.

A total of 930 horses participated in the experiment to answer Hypothesis 1. Over the white-colored variant of the obstacle 499 horses jumped of which 7,62% of horses faulted. Over the full-color variant of the obstacle 431 horses jumped of which 14,6% of horses faulted. It was found that horses make less faults on obstacles in white-color combination than on full-color obstacles. Hypothesis 1 was accepted.

A total of 961 horses participated in the experiment to test Hypothesis 2. A total of 413 horses overcame obstacles with predominant shades of red of which 13,1% faulted. A total of 548 horses jumped over obstacles with predominant shades of blue or yellow of which 11,3% of horses faulted. This was a statistically insignificant difference and Hypothesis 2 was rejected.

The largest number of faults was recorded on the full-color obstacle in dark gray. On the contrary, the lowest fault rate was on the obstacles in red and green in combination with white. The number of faults on the obstacles with the predominant shades of red, blue and yellow was balanced.

This diploma theses was an approach to the hitherto insufficiently researched area and can serve as a methodological guide for further studies. To understand the perception and processing of different color shades by the horse's eye further researches is needed. The results of them can contribute to the development of show jumping from the point of view of equestrian and also to the creation of show jumping obstacles.

Keywords: vision, horse, show jumping, obstacles, horse vision

Obsah

1	Úvod	8
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Základní fyzikální vlastnosti světla	10
3.1.1	Světlo	10
3.1.2	Vlnové spektrum – viditelné světlo	11
3.1.3	Šíření světla	12
3.1.4	Odraz a lom světla	13
3.1.5	Ohyb světla	14
3.1.6	Disperze světla	14
3.1.7	Barva světla a barva tělesa	15
3.1.8	Oko jako optická soustava s ohniskovou měřitelnou vzdáleností	15
3.2	Anatomie oka koně	16
3.2.1	Oční koule	17
3.2.2	Přídavné orgány oka	22
3.3	Fyziologie oka koně	23
3.3.1	Příjem a zpracování světelné informace	23
3.3.2	Adaptace oka na různou intenzitu světla	25
3.3.3	Akomodace čočky a zaostřování	26
3.4	Zrak koně	27
3.4.1	Zrak z pohledu evoluce	27
3.4.2	Zrakové schopnosti koní	27
3.4.3	Barevné vidění	30
3.5	Parkurový sport	32
3.5.1	Historie a současnost parkurového sportu	32
3.5.2	Základní pravidla parkurového skákání	33
3.5.3	Typy překážek	34
4	Metodika	37
4.1	Český skokový pohár	37
4.2	Spektrofotometr CM-2500d	38
4.3	Postup sběru dat	39
4.4	Vyhodnocení barev	39
4.5	Vybrané překážky pro H1	42
4.5.1	Překážka 1	42
4.5.2	Překážka 2	44
4.5.3	Překážka 3	46
4.5.4	Překážka 4	48

4.5.5	Překážka 5.....	50
4.5.6	Překážka 6.....	52
4.5.7	Překážka 7.....	53
4.5.8	Překážka 8.....	54
4.6	Vybrané překážky pro H2.....	55
4.6.1	Překážka 6.....	55
4.6.2	Překážka 9.....	56
4.6.3	Překážka 1.....	58
4.6.4	Překážka 2.....	60
4.6.5	Překážka 10.....	62
4.7	Statistické vyhodnocení	64
5	Výsledky	65
5.1	Výsledky pro H1	65
5.2	Výsledky pro H2	66
6	Diskuze	68
6.1.1	Diskuze pro H1	70
6.1.2	Diskuze pro H2	72
7	Závěr.....	74
8	Literatura.....	75
9	Samostatné přílohy.....	I
	Příloha 1: Porovnání pravděpodobného vnímání barev člověka a koně	I
	Příloha 2: Vnímání barev člověka a koně dle Paulové a Stevense (2019)	II
	Příloha 3: Tabulka obtížnosti soutěží	III
	Příloha 4: Penalizace na parkuru dle Tabulky A a Tabulky C	IV
	Příloha 5: Areály	V
	Příloha 6: Příklady olympijských překážek.....	VII

1 Úvod

Zrak současných koní prošel dlouhým vývojem a s ním spojenou potřebou se přizpůsobit danému prostředí. Koně ve volné přírodě trávili veškerý čas pasením a odpočinkem na otevřeném prostranství, a to ve dne i v noci. Z tohoto důvodu bylo nutné, aby jim zrak umožnil vidět široké zorné pole kolem sebe, protože na otevřených pláních se kůň stal vyhledávanou kořistí predátorů (Saslow 2002; Rørvang et al. 2020). Oči koně jsou umístěny anterolaterálně a celé zorné pole koně obsáhne až 360°. Slepá oblast koně se nachází přímo před nosem a přímo za ocasem (Hawthorn 2013). Binokulární, tedy prostorové vidění koně, obsáhne 55° až 65° (Rørvang et al. 2020) a je orientováno směrem dopředu a dolů v úhlu přibližně 65° – 70°. Z toho vyplývá, že potřebuje-li kůň na daný předmět zaostřit, musí přizvednout hlavu (Rørvang & Christensen 2018). Mnohé z těchto adaptací jsou užitečné i pro moderní použití koně jako sportovce (Hawthorn 2013).

Koně mají lépe vyvinuté noční vidění než člověk, na úkor tomu ale dokáží rozeznávat méně barev. Kůň disponuje dichromatickým typem vidění, který je založený na dvou různých typech čípků, tj. čípků citlivých na krátké vlnové délky a čípků citlivých na střední až dlouhé vlnové délky (Carroll et al. 2001; Roth et al. 2007). V porovnání s lidmi je křivka spektrální citlivosti mírně posunuta k levé straně. Kůň tedy vnímá spíše kratší vlnové délky viditelného spektra (Roth et al. 2007) a vidí barvy v nepřetržitém rozsahu od modré po žlutou (Timney & Macunda 1999; Roth et al. 2007). Proto koně nedokáží rozlišovat mnoho odstínů barev, které například lidé vidí jako červenou, oranžovou a zelenou (Murphy et al. 2009).

To, jak je barevná informace v mozku koně zpracovávána však přesně nevíme. Z našeho pohledu dokážeme pouze přibližně říci, jak by člověk viděl koňským okem, proto motivací k této práci bylo se přiblížit ke zjištění, jak jsou barevné informace z okolí v mozku koně zpracovávány a jaký vliv má barevnost překážek na jejich úspěšné překonání.

Parkurový sport se totiž za poslední roky v České republice i ve světě těší velké oblibě a prochází rozsáhlým rozvojem. S narůstajícím počtem koní ve skokovém sportu roste i obtížnost parkurových tratí, a to jak z hlediska technické náročnosti, tak právě barevnosti překážek. V dřívějších dobách bylo běžnější, že se v parkuru vyskytovaly překážky spíše přírodního vzhledu, doplněné o různé proutky nebo plůtky, popř. kombinace pár základních barev s bílou. Dnes se na kolbištích můžeme setkat s ohromnou škálou různých odstínů barev a jejich kombinací, které jsou navíc doplněny o profily či blendy nejrůznějších tvarů. Z hlediska bezpečnosti se v porovnání s dobami minulými v parkuru upustilo od různých typů skoků, oproti tomu dnes je patrný významný nárůst právě v barevnosti skoků, které nám dávají možnost experimentálního zjišťování, jak barevnost ovlivňuje úspěšnost zvládnutí překážky.

Pro parkurový svět by jistě bylo přínosem zjistit, které barvy překážek, jejich barevné kombinace a tvary nátěrů koním působí největší potíže.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem práce je zjistit, zda má barevnost překážek vliv na úspěšnost jejich překonání, a tím i zjistit, zda různé barvy hrají významnější roli v pozornosti koní na překážkách.

Hypotéza 1:

Koně méně chybují na skoku složeném z bariér v bílo-barevné kombinaci než na skoku z jednobarevných bariér.

Hypotéza 2:

Koně více chybují na skoku s převažujícími odstíny červené barvy, než na skoku s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy.

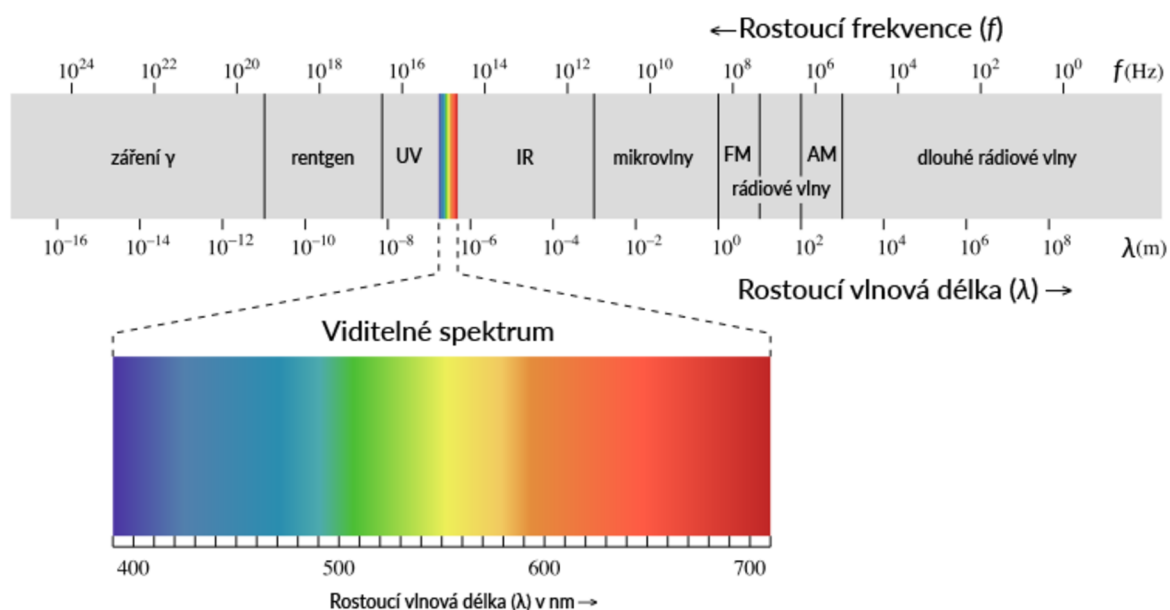
3 Literární rešerše

3.1 Základní fyzikální vlastnosti světla

3.1.1 Světlo

Světlo je elektromagnetické záření, které se šíří konstantní rychlostí o vlnových délkách 390–760 nm (i ve vakuu) a světlo určité vlnové délky je charakterizováno barvou světla. Toto rozmezí vlnových délek je pro oko člověka viditelné, proto je tato část spektra označována jako viditelné spektrum. Okem lze vnímat vlnění o frekvencích $7,6 \times 10^{14}$ Hz až $3,9 \times 10^{14}$ Hz. Elektromagnetické záření, jehož vlnové délky jsou menší než 390 nm je nazýváno jako záření ultrafialové. Naopak elektromagnetické záření o vlnových délkách větší než 760 nm je označováno jako infračervené (Saleh & Teich 1994, Svoboda et al. 2020). Schéma elektromagnetického spektra je znázorněno na Obr. 1.

Důležitou charakteristikou světla jakožto elektromagnetického vlnění je jeho rychlost, která se v optice označuje jako c . Přibližná rychlost světla ve vakuu je $c = 300\,000\text{ km} \times \text{s}^{-1}$. V látkovém prostředí je rychlost světla menší a je ovlivněna vlastnostmi prostředí i jeho frekvencí. Ve vzduchu má rychlost světla téměř totožnou rychlost jako ve vakuu, ve vodě přibližně $225\,000\text{ km} \times \text{s}^{-1}$. Rychlost šíření světla ve skle se liší dle jeho druhu a má hodnoty od $200\,000\text{ km} \times \text{s}^{-1}$ do $150\,000\text{ km} \times \text{s}^{-1}$ (Svoboda et al. 2020).



Obr. 1: Schéma elektromagnetického spektra.

Zdroj: <https://www.cs.khanacademy.org> (staženo v lednu 2022).

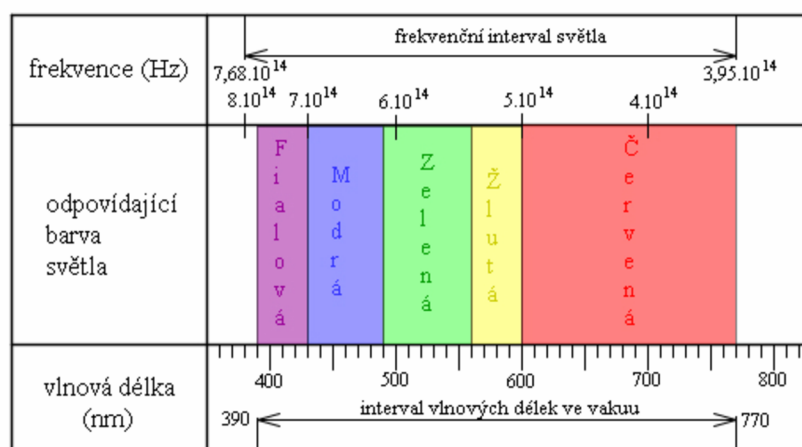
3.1.2 Vlnové spektrum – viditelné světlo

Jak je na Obr. 1 patrné, viditelné světlo o vlnových délkách s rozmezím 390–760 nm je pouze malá část elektromagnetického spektra, kterou dokáže oko vnímat. Optika kromě viditelného světla studuje také blízké ultrafialové a blízké infračervené spektrální oblasti (Malý 2013). V Tab. 1 jsou uvedeny všechny spektrální oblasti optického záření.

Tab. 1: Spektrální oblasti optického záření (Malý 2013)

Interval vln. délek	Název oblasti	Zkratka
25–200 nm	Vakuová ultrafialová	VUV
200–400 nm	Ultrafialová	UV
400–700 nm	Viditelná	VIS
700–1000 nm	Blízká infračervená	NIR
1–3 μm	Infračervená – krátké vlny	SWIR
3–5 μm	Infračervená – střední vlny	MWIR
5–14 μm	Infračervená – dlouhé vlny	LWIR
14–30 μm	Infračervená – velmi dlouhé vlny	VLWIR
30–100 μm	Daleká infračervená	FIR
100–1000 μm	Submilimetrová	SubMM

Na Obr. 2 je znázorněno přiřazení barev světla jednotlivým frekvencím. Světelný interval je vymezený fialovou (390 nm) a červenou barvou (760 nm). Jedná se o přibližné vymezení, jelikož je ovlivňováno individuálními vlastnostmi zraku jedince. Ve skutečnosti tedy není vnímáno jednoduché světlo určité frekvence, nýbrž světlo složené z vlnění různých frekvencí. Jednotlivé složky světla pak svým účinkem určují výsledný barevný vjem, pro který je charakteristický určitý odstín dané barvy. V určitém poměru barevných složek vzniká světlo bílé (Svoboda et al. 2020).



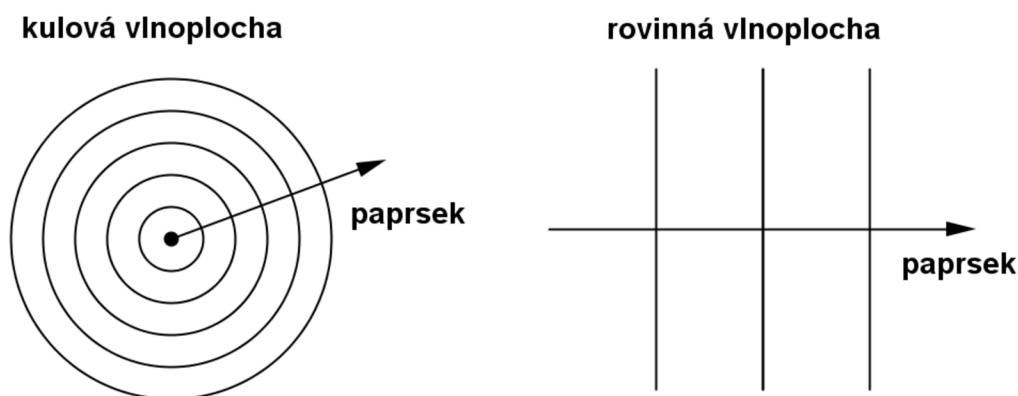
Obr. 2: Vztah barvy světla a frekvence světelného vlnění (upraveno dle Svobody et al. 2020).

3.1.3 Šíření světla

Světlo se šíří pomocí těles – světelných zdrojů, která jej vyzařují. V těchto zdrojích světlo vzniká přeměnou energie v elektronových obalech atomů. Světlo se šíří prostředím, které je označováno jako prostředí optické, a může být průhledné (nedochází v něm k rozptylu světla), průsvitné (světlo prochází prostředím, ale částečně se v něm rozptyluje) nebo neprůhledné (světlo je v něm silně pohlcováno nebo se na povrchu odráží) (Reichl & Všeticka 2010; Svoboda et al. 2020).

Prostředí lze rozdělit na homogenní, nehomogenní, izotropní a anizotropní. Jako opticky homogenní neboli stejnorodé prostředí je označováno takové prostředí, které má kdekoli ve svém objemu stejné optické vlastnosti a nezávisí na prostorové souřadnici. Naopak u prostředí nehomogenního na prostorové souřadnici závisí. U prostředí izotropního nezávisí rychlost šíření světla na směru, naopak v prostředí anizotropním rychlost světla na směru šíření závisí (Malý 2013).

V opticky stejnorodém izotropním prostředí se světlo šíří stejně všemi směry. Ve světelném zdroji vzniká vlnění, které se dále šíří ve vlnoplochách směrem od zdroje. Vlnoplochy mají tvar pravidelně uspořádaných kulových ploch. Čím dále od zdroje jsou, tím více přechází v rovinné vlnoplochy (viz Obr. 3). Směr šíření světla v homogenním prostředí udávají přímky, které jsou na vlnoplochy kolmé a nazývají se světelné paprsky. Zjednodušeně lze říci, že z každého bodu světelného zdroje vychází všemi směry paprsky, které se vzájemně protínají, nijak se neovlivňují a prostředím prostupují nezávisle na sobě. Jedná se o princip nezávislosti chodu světelných paprsků (Svoboda et al. 2020).

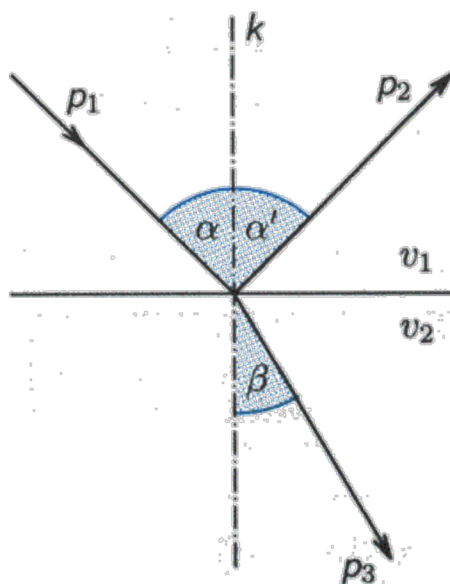


Obr. 3: Vlnoplochy světelného vlnění (upraveno dle Malého 2013).

V homogenním optickém prostředí se světlo šíří přímočaře a není zde přihlíženo k důležité vlastnosti světla jakožto vlnění, tj. k ohybu vlnění při styku s překážkou. Za předpokladu, že je vlnová délka světla vůči rozměrům překážky zanedbatelná, platí zákon přímočarého šíření světla, jehož důsledkem je stín vznikající za každou neprůhlednou překážkou (Svoboda et al. 2020).

3.1.4 Odraz a lom světla

Odraz a lom světla nastává, když světelný paprsek dopadá na rozhraní dvou prostředí s různými optickými vlastnostmi. Světlo se na tomto rozhraní částečně odráží a částečně láme (Reichl & Všetická 2010). Paprsek na rozhraní dopadá pod úhlem dopadu α , tento úhel svírá s kolmicí dopadu k , která je vztyčena v místě dopadu na rozhraní optických prostředí. Odražené světlo se odráží pod stejným úhlem jako úhel dopadu. Velikost úhlu odrazu α' je tedy stejná jako úhel dopadu α . Úhel odrazu není závislý na frekvenci světla, z toho důvodu se paprsky světla různých barev odrážejí stejně. Úhel β svírající lomený paprsek s kolmicí dopadu se nazývá úhel lomu. Toto schéma je patrné na Obr. 4. Další důležitá veličina charakterizující rozhraní optických prostředí je index lomu pro dané rozhraní a lze jej definovat jako podíl rychlosti šíření v optickém prostředí vzhledem k rychlosti světla ve vakuu nebo vzduchu (Saleh & Teich 1994; Svoboda et al. 2020).



Obr. 4: Odraz a lom světla (Svoboda et al. 2020).

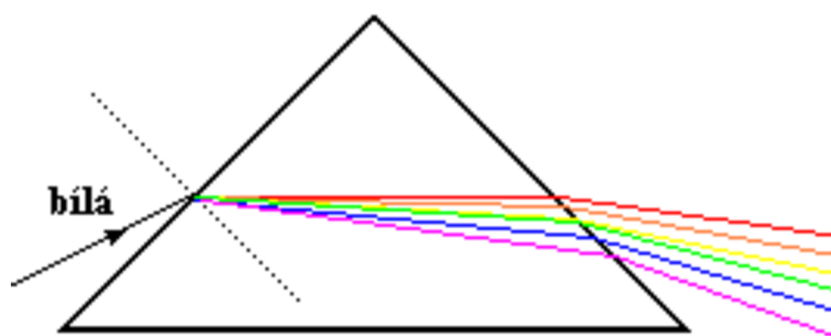
Zákon lomu říká, že přechází-li světlo z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí, dochází k lomu od kolmice ($\beta > \alpha$), a naopak při přechodu světla z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího dochází k lomu ke kolmici ($\beta < \alpha$). Prostor opticky řidší je prostředí o menším indexu lomu a prostředí opticky hustší o větším indexu lomu. Pokud je úhel lomu $\beta = 90^\circ$, je úhel dopadu nazýván mezní úhel α_m . Jestliže je úhel dopadu $\alpha > \alpha_m$, lom světla tak nenastává a vzniká úplný odraz světla (Svoboda et al. 2020).

3.1.5 Ohyb světla

Překážky, na které světlo při svém šíření dopadá ovlivňují jeho přímočaré šíření a vzniká za nimi nejen stín, ale vlnové délky za překážku i částečně pronikají. Po dopadu na okraj překážky se světlo šíří i za překážku, tzn. do oblasti, kam by dle teorie přímočarého šíření světla nemělo proniknout. Tento jev se projevuje ne zcela ostrou hranicí světla a stínu za překážkou (Svoboda et al. 2020).

3.1.6 Disperze světla

Disperze světla je jev, který vzniká v důsledku závislosti indexu lomu na vlnové délce, při kterém během průchodu světla látkou dochází k rozložení bílého světla na jednotlivé barvy. Jinými slovy, disperze světla je rozklad elektromagnetického záření na složky v různých vlnových délkách. Takto lze získat jednoduché, tzv. monochromatické (monofrekvenční) světlo dané barvy (Reichl & Všetická 2010). Paprsky světla různých barev se lámou pod určitými úhly, nejvíce se láme paprsek fialového světla, nejméně paprsek červeného světla. Jeden lom pro rozklad není tolik výrazný, protože paprsky fialového a červeného světla svírají malý úhel, proto se používá vícenásobný lom světla v několika rozhraních, nejčastěji skleněný optický hranol (viz Obr. 5). Světlo se na hranolu láme dvakrát a z toho důvodu je odchylka od původního směru šíření paprsku větší než při lomu pouze na jednom rozhraní. Za hranolem je světlo rozloženo na spektrum, ve kterém jsou zastoupeny všechny barvy odpovídající paprskům monochromatického světla (Svoboda et al. 2020).



Obr. 5: Disperzní hranol zobrazující rozklad světla (Reichl & Všetická 2010).

3.1.7 Barva světla a barva tělesa

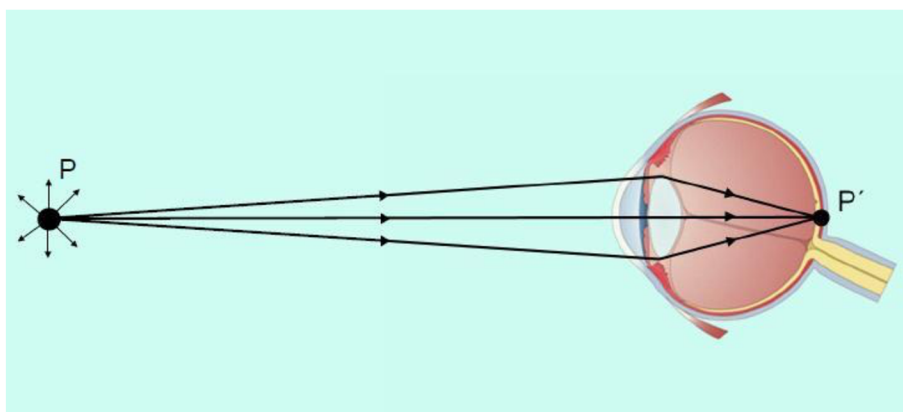
Barva světla z různých světelných zdrojů nebo barva osvětlených předmětů je výsledkem komplexního vnímání monochromatických světél různých barev, které jsou světelným zdrojem vyzařovány nebo jsou obsaženy v odraženém světle z povrchu tělesa. Finální barevný vjem je pak označován konkrétními názvy barev a jejich odstíny. Barva světla je tedy určována spektrálním složením, které dané světlo obsahuje a barva tělesa závisí na barvě světla, kterým je těleso osvětleno. Zároveň záleží i na barevných vlastnostech povrchu tělesa. Barva tělesa je určena podle toho, v jakém poměru se jednotlivé vlnové délky na povrchu odrážejí a pohlcují (Svoboda et al. 2020).

Obtížnost přesně posoudit barvy předmětů, povrchů a materiálů se projevuje změnami okolního světla, zorným úhlem, vzdáleností, a také kontrastů sousedních barev. Barevné vidění živých tvorů je nastaveno tak, aby barvy zůstávaly stabilní. Tato schopnost se nazývá jako stálost barev. Barevná stálost je však spolehlivá pouze do určité míry. Při extrémních světelných podmínkách, jako jsou například velmi nízká úroveň osvětlení nebo silně zkreslené chromatické osvětlení, se zcela rozpadá. Barvy se za těchto podmínek zdají změněny od „normálních“ (Arnkil 2012).

3.1.8 Oko jako optická soustava s ohniskovou měřitelnou vzdáleností

Optickou neboli zobrazovací soustavou je rozuměno uspořádání optických prostředí, které mění směr chodu světelných paprsků. Oko je přesně takovou soustavou.

Všechna tělesa, ze kterých světlo vyzařuje (např. Slunce, žárovka, svíčka atd.) nebo tělesa, která světlo odráží (např. Měsíc, osvětlené předměty, skla atd.) se nazývají viditelná tělesa. Jak je vidět na Obr. 6, z každé části viditelného tělesa P , ať už svítícího nebo osvětleného, vychází rozbíhavý svazek světelných paprsků. Po dopadu tohoto svazku paprsků do oka jej oko změní na sbíhavý a v průsečíku P' vzniká obraz bodu P (Svoboda et al. 2020).



Obr. 6: Vznik obrazu na sítnici oka.

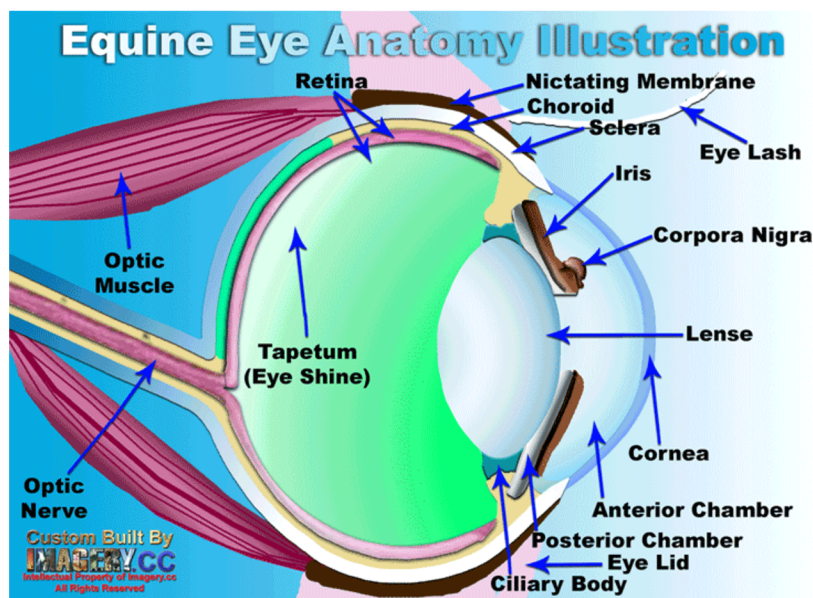
Zdroj: <https://www.eluc.ikap.cz> (staženo v únoru 2022).

Oko je spojná optická soustava s měřitelnou ohniskovou vzdáleností. Předtím, než se světelné paprsky dostanou k sítnici, musí projít celým optickým systémem oka, který zahrnuje několik opticky průhledných prostředí, což je tenká vrstva slz na povrchu rohovky, rohovka, komorová voda přední i zadní oční komory, čočka a sklivce (Orel & Facová 2010).

Paprsky při průchodu optickou soustavou oka vytvoří na sítnici skutečné, zmenšené a převrácené obrazy vnímaných předmětů, které se nacházejí před okem v různých vzdálenostech. Na sítnici se nachází dva druhy světločivných buněk – tyčinky a čípky. Tyčinky jsou buňky citlivé na světlo, čípky umožňují rozeznávat barvy. Oko má schopnost akomodace, tedy měnit mohutnost oční čočky, což umožňuje ostré vidění předmětů umístěných v různých vzdálenostech od oka (Svoboda et al. 2020).

3.2 Anatomie oka koně

Celé oko se anatomicky skládá z oční koule, zrakového nervu a přídatných orgánů oka – očních víček, spojivky, slzného ústrojí a okohybných svalů. Oči jsou párový orgán a jejich pohyby umožňují okohybné svaly, které jsou inervovány hlavovými nervy. Tyto svaly drží oční kouli v tukovém lůžku očníce a umožňují pohyby do stran, nahoru, dolů a otáčení (Reece 2011). V oku se nachází celkem tři oční komory. Duhovka rozděluje prostor mezi rohovkou a čočkou na přední a zadní komoru, obě komory jsou vyplněny komorovým mokem. Třetí komorou je sklivcová komora, která je vyplněna sklivcem a je umístěna za čočkou (Marvan 2017). Anatomický popis oka koně je zobrazen na Obr. 7.



Obr. 7: Anatomický popis oka koně (retina – sítnice, nictating membrane – třetí víčko, choroid – cévnatka, sclera – bělma, eye lash – řasa, iris – duhovka, corpora nigra – duhovkové zrno, lense – čočka, cornea – rohovka, anterior chambre – přední komora, posterior chambre – zadní komora, eye lid – oční víčko, ciliary body – řásnaté těleso, tapetum (eye shine) – lesklé políčko, optic nerve – zrakový nerv, optic muscle – okohybný sval).

Zdroj: <https://www.fourwaysequine.co.za> (staženo v únoru 2022).

3.2.1 Oční koule

Oční koule je párovým orgánem zraku. Má kulovitý tvar a je uložena v kostěné dutině očníce, chráněna tukovým lůžkem. Je tvořena třemi odlišnými vrstvami. První (fibrózní) – vnější vrstva s podpůrnou funkcí je vazivový obal, který se dělí na dvě části: vpředu průhlednou rohovku, která přechází v tuhou bílou blánu bělimu. Druhá (vaskulární) – střední vrstva je tvořena cévním obalem, jenž se skládá z cévnatky, řásnatého tělesa a duhovky. Třetí (nervovou) – vnitřní vrstvu tvoří sítnice, která se dělí na zrakovou a slepou část. Zraková část se skládá ze světločivých buněk a obsahuje tyčinky (černobílé vidění) a čípky (barevné vidění), které přeměňují světlo na nervový impuls (Reece 2011). Uvnitř oka je umístěna čočka, sklivec a komorový mok (Marvan 2017).

Rohovka

Rohovka je nejpřednější část oka, ležící před duhovkou a zornicí. Tvoří přibližně jednu pětinu povrchu oční koule, neobsahuje cévy a pigment, je bezbarvá a sklovitě průhledná, což umožňuje snadný průchod světelných paprsků (Marvan 2017). Jedná se o nejhustěji inervovanou tkáň senzitivními nervy v těle a většina rohovkových nervů je odvozena od oční větve trojklanného nervu (Willoughby et al. 2010). Hustota inervace je asi 300–400krát větší, než je inervace kůže (Cholkar et al. 2013). Jakékoliv poškození nebo ztráta epitelu rohovky vystavuje nervová zakončení vnějšímu prostředí, což způsobuje silnou bolest oka (Belmonte et al. 2004). Rohovka je neustále svlažována slzami, které ji chrání před vysycháním a její průhlednost je závislá na úrovni její hydratace (Reece 2011).

Okraj rohovky, hladkost jejího povrchu, průhlednost a index lomu určují optické vlastnosti. Její tkáň je tvořena z relativně homogenních a jednotně uspořádaných kolagenních vláken. Přesné uspořádání a funkce kolagenních vláken umožňují světelným paprskům procházet rohovkou bez jakéhokoliv rušení. Hladkost rohovky je udržována rohovkovým epitelem a slzným filmem. Jakákoliv odchylka od normální architektury rohovkových a kolagenních vláken nebo absence slzného filmu způsobuje suché oko a rozptýl dopadajících světelných paprsků vede ke ztrátě kontur rohovky, průhlednosti a hladkosti (Cholkar et al. 2013). Na rozhraní rohovky a vnějšího prostředí dochází k prvnímu lomu světelného paprsku vstupujícího do oka (Orel & Facová 2010).

Bělíma

Bělíma je tuhá, avaskulární, elastická tkáň bělavé barvy, nacházející se pod spojivkou a je propojená s rohovkou (Cholkar et al. 2013). Skládá se z neuspořádaného kolagenního vaziva a tvoří ochranný obal pro hlubší vrstvy oka (Marvan 2017). Jakožto vnější plášť oční bulvy je vystavována častým změnám vnějšího prostředí i nitroočního tlaku. Tloušťka bělimy závisí na jejím anatomickém umístění, směrem k zadní části oka svou tloušťku téměř zdvojnásobuje (Cholkar et al. 2013). Bělíma společně s nitroočním tlakem udržuje tvar oční koule (Silbernagl & Despopoulos 2016) a upíná se na ni šest okohybných svalů, které oční koulí pohybuje (Orel & Facová 2010).

Cévní obal

Cévní obal oční koule je tenká vazivová blanka, která obsahuje velké množství cév a pigmentu. Dělí se na tři na sebe navazující části, odlišené svou stavbou i funkcí. V zadní části je cévnatka, která vpředu přechází v řásnaté těleso a toto těleso pak přechází v duhovku se zornicí uprostřed. Cévní obal tvoří střední vrstvu oka (Marvan 2017).

Cévnatka

Cévnatka je uložena mezi bělimou a sítnicí v zadní části oční koule a jedná se o silně vaskularizovanou vrstvu, která stěnu oční koule vystýlá (König & Liebich 2002). Je to vysoce inervovaná tkáň obsahující melanocyty spolu s extracelulární tekutinou podobnou hlenu. Je protkána hustou sítí drobných cév, které vyživují další části oční koule, zejména sítnici (Orel & Facová 2010). Metabolické odpady sítnice jsou následně odstraněny spolu s měnicí se nitrooční teplotou generovanou vizuálním procesem. Zrychlený průtok krve také hraje roli při regulaci nitroočního tlaku (Cholkar et al. 2013).

Dorzálně od zrakového svazku se v blízkosti fotoreceptorů mezi choriokapilární vrstvou a vlastní substancí cévnatky u koně nachází bezcévní a nepigmentované tapetum lucidum (lesklé políčko), které podmiňuje tzv. svícení očí (Shinozaki et al. 2013; Marvan 2017). Tapetum lucidum je tkáň odrážející světlo, která se kromě koní nachází i v očích mnoha dalších obratlovců (Shinozaki et al. 2013). Světelné paprsky se v tomto místě nepohlcují, ale naopak se odrážejí. Zároveň opakovaně dráždí sítnici, což umožňuje lepší vidění v šeru (Marvan 2017).

Řásnaté těleso

Cévnatka v přední části přechází v kruhový val – řásnaté těleso. Strukturou se cévnatce podobá, ovšem obsahuje navíc hladkosvalové buňky, které vytváří sval řásnatého tělesa, jenž je řízen autonomními nervy. Z okraje řásnatého tělesa vystupují jemná vlákna, která tvoří závěsný aparát čočky, jenž se podílí na akomodaci čočky. Ta je nepostradatelná k ostrému vidění na různé vzdálenosti (Marvan 2017). Dále se podílí na produkci komorového moku a na jeho odvodu z oka pryč (Cholkar et al. 2013).

Duhovka

Duhovka je ploténka ve tvaru mezikruží umístěná pod rohovkou. Před čočkou vytváří malý kruhový prostor, zornici, která pomáhá regulovat množství světla procházejícího do oka (Cholkar et al. 2013). Zornice koně má horizontálně prodloužený tvar (Plummer et al. 2003) a je schopná se rozšířit na plochu až šestkrát větší než zornice lidská (Davis et al. 2003). Typ této podélné zornice je běžný u druhů zvířat aktivních ve dne i v noci a umožňuje širší výhled na horizont (Miller & Murphy 2016).

Duhovka má charakteristickou kresbu a její přední plocha je viditelná skrze rohovku. Pohyby duhovky jsou ovládány dvěma skupinami hladkých svalů. Kruhovitě uspořádané hladkosvalové buňky jsou inervovány parasymptickými vlákny autonomní nervové soustavy, a paprskovitě uspořádané hladkosvalové buňky jsou inervovány sympatikem. Kontrakce těchto

dvou skupin zmenšují a zvětšují velikost zornice, čímž je řízeno množství světla vstupujícího do oka (Reece 2011). Při slabém osvětlení se zornice automaticky rozšiřuje, při silném se zužuje. Duhovka tedy reaguje na různou intenzitu světla a funguje jako clona. Změnou průměru zornice reguluje množství světla přicházejícího do oka (Orel & Facová 2010). Z okraje zornice koně vystupují duhovková zrna, která produkují komorový mok. Mají hnědou barvu a ze všech hospodářských zvířat jsou duhovková zrna u koně nejzřetelnější (Marvan 2017). Duhovková zrna zároveň fungují jako vestavěné slunečníky a kvůli jejich umístění koni omezují výhled vzhůru (McBane 2011).

Duhovka dělí prostor mezi rohovkou a čočkou na dvě oční komory, které jsou vyplněny komorovou vodou. Přední oční komora je štěrbina mezi rohovkou a přední plochou duhovky, zadní oční komora je prostor mezi zadní plochou duhovky a přední stěnou čočky (Silbernagl & Despopoulos 2016).

Čočka

Čočka je průhledné těleso tvořené rosolovitou, elastickou hmotou, je avaskulární, neinervovaná a bikonvexního tvaru. Je umístěna za zornicí a duhovkou, je uložena ve vazivovém pouzdře zavěšeném na vláknech řásnatého tělesa a řídí vstup světla do oka a jeho lom (Danysh & Duncan 2009). Vyklenutím nebo naopak zploštěním se mění úhel lomu procházejících světelných paprsků, což umožňuje zaostřovat na různě vzdálené předměty. Je ovládána ciliárním svalem, vyživována komorovým mokem a odpovídá za ostrost obrazu, jenž se promítá na sítnici (Reece 2011; Marvan 2017). Čočka koně je zavěšena malými a dosti slabými svaly. Kůň má tedy horší schopnost pomocí čočky zaostřit na blízké předměty (McBane 2011).

Přední část čočky omývá komorová voda a zadní část sklivec. Skládá se ze čtyř odlišných částí: pouzdra, epitelu, kůry a jádra. Pouzdro čočky je nepřerušovaná, pevná, průhledná membrána, která celou čočku zapouzdřuje a poskytuje jí v oku strukturální podporu. Tloušťka pouzdra se meziduhově liší (Danysh et al. 2008). Membrána pouzdra čočku separuje od přímého kontaktu s okolními očními tkáněmi a tekutinami a poskytuje ochrannou bariéru proti mikrobiálnímu napadení. Kůra leží pod pouzdrém a skládá se ze sekundárních buněčných vláken. Jádro čočky je díky svému umístění vysoce chráněno a vzniká ukládáním starých vláknitých buněk, které se z periferie přesouvají do středu čočky (Cholkar et al. 2013).

Sítnice

Sítnice je tenká černá blanka s průměrnou tloušťkou asi 0,5 mm, vystylá zadní část oka a zasahuje až do duhovky (Kolb 2012). Představuje světločivnou část stěny oční koule, kde dochází k transdukcii světelných paprsků na elektrické impulzy zrakového nervu. Sítnice je vrstevnatě uspořádána a některé vrstvy se prolínají. Je tvořena fotoreceptory (tyčinky a čípky), nervovými buňkami (bipolární, horizontální, amakrinní a gangliové buňky), buňkami pigmentového epitelu a podpůrnými buňkami (Orel & Facová 2010). Sítnice se dělí na zrakovou a slepou část (Reece 2011). Schéma organizace buněk sítnice je patrné na Obr. 8.

Tmavá pigmentová vrstva se nachází na nejsvrchnější vrstvě sítnice a skládá se z kubických a cylindrických pigmentových buněk, které jsou tvořeny černým barvivem

fuscinem (Marvan 2017). Díky pigmentaci zde dochází k absorpci světelných paprsků, které prošly ostatními vrstvami sítnice a fotoreceptorům je tak poskytnuta světelná izolace (Orel & Facová 2010).

Fotoreceptory – tyčinky a čípky, jsou buňky, které slouží k vnímání intenzity a barvy světla. Částečně jsou zanořeny do pigmentové vrstvy a navzájem se odlišují tvarem i funkcí. Tyčinky jsou užší a protáhlé, čípky jsou širší a kratší (Orel & Facová 2010). Tyto buňky fungují hlavně k zachycení a přeměně fotonů na nervový signál (Levin 2003). Tyčinky jsou buňky pro černobílé vidění, čípky jsou buňky pro barevné vidění. Tyto elementy zajišťují fotopické (denní), skotopické (noční) a mezopické (soumračné) vidění. Fotopické vidění zajišťují pouze čípky, skotopické pouze tyčinky a mezopické jak tyčinky, tak čípky (Reece 2011).

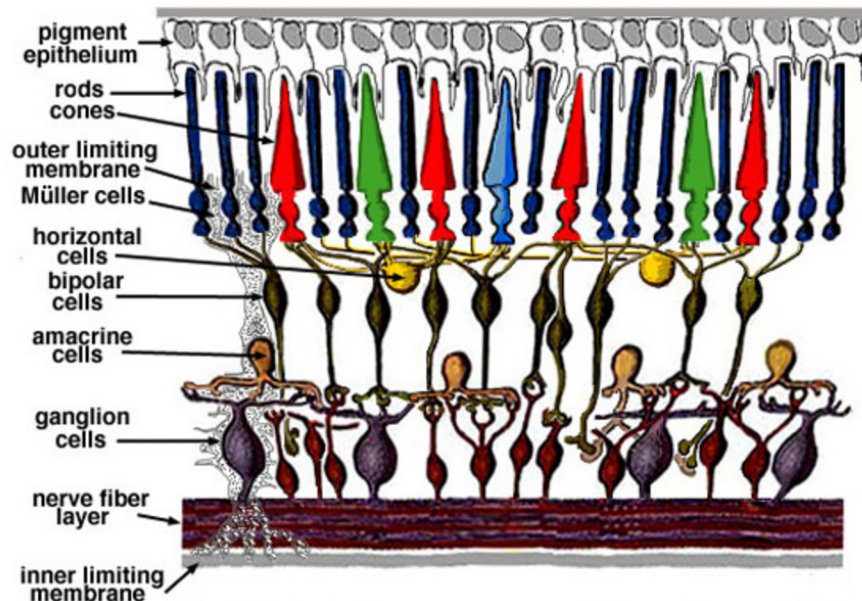
Tyčinky jsou dlouhé a štíhlé buňky, které umožňují skotopické vidění. Tato schopnost umožňuje vnímání rozdílných intenzit světla, tj. černobílé vidění, a jsou aktivní zejména za šera. Obsahují rhodopsin neboli zrakový purpur, který umožňuje monochromatické (jednobarevné) vidění. Rhodopsin je na světlo citlivá látka, která plní funkci světelného senzibilátoru. Při nižší intenzitě světla dochází v tyčinkách ke zvýšení jeho koncentrace, čímž je zajištěna maximální možná reakce s minimálním množstvím světla (Khoshbin-e-Khoshnazar & Pizzi 2014).

Čípky jsou oproti tyčinkám tlustší a kratší a neobsahují rhodopsin. Umožňují fotopické vidění, což umožňuje vnímání barev. U člověka a lidoopů se vyskytují ve třech druzích, které se od sebe odlišují svými fotopigmenty a jsou maximálně citlivé na tři základní barvy, tj. červenou, zelenou a modrou. V tomto případě se jedná o trichromatický typ vidění. Ostatní savci disponují dvěma druhy čípků, proto se tento typ vidění nazývá dichromatické vidění (Orel & Facová 2010).

Bipolární sítnicové buňky jsou neurony, které jsou na straně dendritů synapticky spojeny s tyčinkami a čípky, a na straně axonů s gangliovými buňkami. Horizontální buňky navzájem propojují tyčinky, čípky a bipolární buňky. Amakrinní buňky propojují bipolární a gangliové buňky (Orel & Facová 2010). Gangliové buňky jsou největší neurony sítnice a prostřednictvím svých axonů vedou informace ze sítnice do mozku (Kolb 2012). Na většině sítnice oka koně byla zjištěna poměrně nízká hustota gangliových buněk, zároveň se zde ale vyskytuje i 1–2 mm vysoký, dobře definovaný horizontální vizuální pruh, který je tvořen naopak vysokou hustotou gangliových buněk a rozprostírá se po celé šířce sítnice (Guo & Sugita 2000).

Místo výstupu zrakového nervu z oka neobsahuje tyčinky ani čípky a vzniká zde slepá skvrna. Je to místo kde jednotlivé axony gangliových buněk z celé sítnice ústí k sobě a jako zrakový nerv opouští sítnici, který dál vede informace z oka do mozku (McBane 2011). Zrakový nerv prochází středem sítnice a tvoří kruhovou výseč o rozměrech asi 2 x 1,5 mm. Navíc přivádí krevní cévy, aby vaskularizovaly všechny vrstvy sítnice (Kolb 2012).

Sítnicové podpůrné buňky se nacházejí ve všech úrovních sítnice. Mají stavební, ochrannou, výživnou a metabolickou funkci. Tzv. Müllerovi gliové buňky tvoří vnitřní a vnější membránu, která sítnici ohraničuje (Orel & Facová 2010).



Obr. 8: Organizace buněk sítnice (pigment epithelium – pigmentový epitel, rods – tyčinky, cones – čípky, outer limiting membrane – vnější ohraničující membrána, Müller cells – Müllerovy buňky, horizontal cells – horizontální buňky, bipolar cells – bipolární buňky, amacrine cells – amakrinní buňky, ganglion cells – gangliové buňky, nerve fiber layer – vrstva nervových vláken, inner limiting membrane – vnitřní ohraničující membrána).

Zdroj: <https://www.europepmc.org> (staženo v únoru 2022).

Sklivec

Sklivec vyplňuje dvě třetiny oční koule a pomáhá udržovat strukturu bulvy (Cholkar et al. 2013). Je složen ze sítě fibril naplněných sklivcovou tekutinou, která směrem k povrchu houstne v membránu. K sítnici je připojena u disku zřakového nervu a pilovitého okraje (Kottman 2003). Je tvořen avaskulární, průhlednou, hustou, gelovitou tekutinou a pokrývá prostor mezi čočkou a sítnicí. Tato tekutina je složena z 99,9 % z vody a z 0,1 % z kolagenových fibril, kyseliny hyaluronové a iontů (La Cour 2003). Společně s komorovou vodou sklivec udržuje nitrooční tlak (Burdas 2011).

Komorová voda

Komorová voda se tvoří v řásnatém tělese, je průhledná a svou skladbou se podobá mozkomíšnímu moku (Burdas 2011). Je to opticky čirá, mírně alkalická oční tekutina, která je nepřetržitě tvořena z plazmy epeteliálními buňkami řásnatého tělesa (Cholkar et al. 2013). Její tvorba probíhá nepřetržitě, proto je zároveň Schlemmovým kanálem neustále odváděna zpět do krve. Odhaduje se, že se komorová voda v oku vymění přibližně za 100 minut (Freddo 2001). Hlavním úkolem komorové vody je poskytovat výživu čočce a rohovce, které nejsou prokrveny, odplavovat odpadní látky, vyplňovat prostor očních komor a udržovat tlak v oku. Nitrooční tlak zpevňuje oční kouli a udržuje její normální tvar (Reece 2011).

3.2.2 Přídavné orgány oka

Spojivka

Spojivka je tenká, vysoce vaskularizovaná transparentní tkáň, která pokrývá přední plochu bělimy a přechází na vnitřní plochu horních a dolních víček. Je vysoce inervována eferentními, aferentními a senzoryckými nervy. Díky své elastické povaze usnadňuje pohyb oční bulvy a očních víček (Cholkar et al. 2013). Prostor spojivky na vnitřní straně víčka se nazývá spojivka víčka, část na oční kouli se nazývá spojivka oční koule. Mezi těmito spojivkami je spojivkový vak, který představuje rezervoár pro oční slzy (Reece 2011).

Slzné ústrojí

Slzné ústrojí se skládá ze slzné žlázy a odvodných cest. Ve slzném ústrojí se kontinuálně tvoří slzy, jejichž hlavním úkolem je zvlhčení povrchu oční koule, odstranění nečistot a ochrana rohovky (Marvan 2017). Slzné žlázy jsou uloženy v očnici, slzné kanálky pak vedou slzy do horní části spojivkového vaku a zde se slzy hromadí (Reece 2011). Přebytek slz je slznými kanálky transportován do slzného vaku a odtud slzovodem do dutiny nosní (Orel & Facová 2010).

Okohybné svaly

Pohyb očních koulí umožňují okohybné svaly, které jsou tvořeny z pruhované svaloviny, jsou uloženy v očnici a zabezpečují jemné a koordinované pohyby. Je jich celkem šest a dělí se na přímé a šikmé okohybné svaly. Přímé jsou čtyři – dorzální přímý sval, ventrální přímý sval, mediální přímý sval a laterální přímý sval, šikmé jsou dva – horní a dolní sval šikmý (Marvan 2017). Umožňují pohyby nahoru, dolů, do stran, otáčení okem nebo jeho zatáhnutí do očnice. Další funkcí okohybných svalů je udržení oční koule v tukovém lůžku v očnici (Reece 2011). Okohybné svaly jsou inervovány hlavovými nervy a patří mezi ně zrakový nerv, okohybný nerv, trojklanný nerv, odtahovací nerv a kladkový nerv (Reeder et al. 2009).

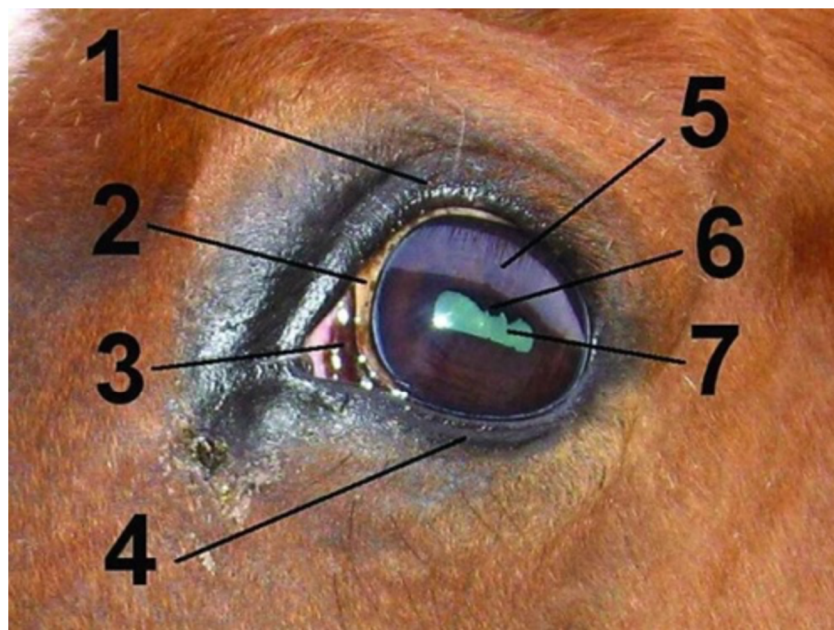
Oční víčka

Víčka chrání oko a jeho vnitřní struktury před nepříznivými vlivy vnějšího prostředí. Vnější plocha je pokryta kůží a na vnitřní straně se nachází spojivka. Volný okraj víček zakončuje přední a zadní hrana. Z přední hrany víček vyrůstají řasy a tvoří mechanickou ochranu oka. Ze zadní hrany vyúsťují mazové žlázy, které svou produkcí sekretu zabraňují přetékání slz přes okraj víček (Marvan 2017).

Víčka koně jsou opatřena tuhými hmatovými chlupy, které koni poskytují informace prostřednictvím kraniálního nervu. Dotyk obvykle vyvolá uzavření očního víčka. Funkcí řas je chránit rohovku, a zároveň i omezit množství světla, které vstupuje do oka. Povrch víčka pokrývají jemné dermální chloupky. Oční víčka jsou velmi dobře vaskularizována. Reflex mrkání v reakci na hmatové, chemické nebo tepelné podněty kůže, spojivky nebo rohovky,

slouží k ochraně oka. Oční víčka nejen produkují slzný film, ale také ho distribuují po oku během každého mrknutí (Gilger 2016).

U zvířat se vyskytuje ještě třetí víčko neboli mžurka. Nachází se ve vnitřním koutku oka a je zesíleno chrupavkou ve tvaru písmene T. Při zavírání víček mžurka překrývá část vnitřní poloviny oční koule (Reece 2011; Marvan 2017). Popis zevních struktur oka koně je znázorněn na Obr. 9.



Obr. 9: Levé oko koně (1 – horní víčko, 2 – bělma, 3 – mžurka, 4 – spodní víčko, 5 – rohovka, 6 – duhovkové zrno, 7 – podélná zornice).

Zdroj: <https://www.ifauna.cz> (staženo v březnu 2022).

3.3 Fyziologie oka koně

3.3.1 Příjem a zpracování světelné informace

Za veškeré zpracování informací z vnějšího prostředí je zodpovědná smyslová soustava. Vnímání neboli percepce, zahrnuje nejen zachycení informací pomocí smyslů, ale i jejich přijetí, zpracování a využití. Vnímání je výběrový proces z vjemů, které do smyslových receptorů z prostředí přichází. Živočichové nejsou schopni zachytit a zpracovat veškeré informace, pouze jejich omezený výběr, který vždy odpovídá potřebám daného druhu (Orel & Facová 2010).

Schopnost oka vnímat světlo je hlavním aspektem k vidění. Než se paprsky dostanou k sítnici, musí projít tzv. optickým systémem oka, který světelné paprsky propouští a láme. Tento systém je tvořen několika opticky průhlednými prostředími, tedy tenkým slzným filmem na povrchu rohovky, rohovkou, komorovou vodou přední i zadní oční komory, čočkou a sklivcem (Orel & Facová 2010).

Sítlice oka obsahuje tyčinky a čípky, které převádí světelné paprsky na elektrické impulsy, jež mozek dokáže následně interpretovat. Čípky dokáží rozlišovat barvy a produkují ostřejší obraz. Aby dobře fungovaly, vyžadují jasnější světlo. Tyčinky fungují i za špatných světelných podmínek, ale nejsou citlivé na barvy. Koně disponují větším počtem tyčinek než čípků (Hawthorn 2013).

Světlo, které je v zevním segmentu tyčinky nebo čípku zachyceno zde způsobuje rozpad příslušného zrakového pigmentu. Například rhodopsin působením světla prodělává konfirmační změny a bledne. Produkty vzniklé rozpadem zrakového pigmentu následně vstupují do nitrobuněčné kaskády reakcí (Orel & Facová 2010). Tyto reakce ovlivňují membránové iontové kanály a vedou až ke vzniku hyperpolarizačního receptorového potenciálu na plazmatické membráně fotosenzorů, který membránový potenciál hyperpolarizuje z -40 mV na -70 mV. Tento děj spočívá v poklesu vodivosti membrány zevního segmentu receptoru pro Na^+ a Ca^+ (Silbernagl & Despopoulos 2016).

Tyčinky a čípky jsou propojeny s dalšími neurony sítnice, jejichž prostřednictvím jsou po zrakové dráze akčním potenciálem informace ze sítnice přenášeny do mozku. Zraková dráha je složena ze tří článků. První článek jsou již zmíněné tyčinky a čípky, což jsou fotoreceptorové buňky specializované na detekci světla, druhý článek jsou buňky bipolární a třetí buňky gangliové. V místě, kde se setkávají axony všech gangliových buněk se vytváří zrakový nerv, který do mozku vstupuje skrze zadní stěnu očníce. V místě zvaném *chiasma opticum* se část nervových vláken očního nervu kříží, a část pokračuje dál do stejné poloviny mozku bez překřížení. Z *chiasma opticum* vlákna pokračují do středního mozku. Přibližně 80 % vláken končí v talamu, odkud se zrakové informace dostávají do limbického systému, hypotalamu, mozečku, asociačních oblastí mozkové kůry, a následně do primární zrakové kůry v týlním laloku mozku. Ke spojení informací z obou očí v jediný zrakový vjem dochází ve složitě uspořádaných zrakových centrech mozkové kůry (Orel & Facová 2010; Silbernagl & Despopoulos 2016)

Oči většiny savců, včetně koní, jsou schopny detekovat fotony pouze ve viditelné části elektromagnetického spektra. Ale ani v rámci viditelného spektra mezi jednotlivci nejsou fotony detekovány stejně, protože tyčinky a čípky, které jsou pro jejich příjem optimálně nastaveny na konkrétní vlnové délky, nejsou na sítnici rovnoměrně rozloženy. Vnímání světla tedy závisí nejen na počtu fotonů dopadajících na sítnici, ale zejména na spektrálním složení světla vstupujícího do oka a na citlivosti fotoreceptorů oka pro konkrétní vlnové délky. Jinými slovy, schopnost detekovat světlo ve viditelném spektru závisí na typu, hustotě a prostorové distribuci fotoreceptorů, které jsou na sítnici přítomny, což se liší nejen mezi druhy, ale i mezi jednotlivci (Miller & Murphy 2016).

Při jasném světle, kdy jsou neaktivnější čípky, je koňské oko obecně citlivější na vlnové délky žluté části viditelného spektra. Světlo v zelené oblasti viditelného spektra je detekováno poněkud méně efektivně, následuje menší citlivost na červenou, a ještě menší citlivost na vlnové délky v modré části viditelného spektra. Za šera, kdy jsou více aktivní tyčinky, koně lépe vnímají světlo na modro-zelené části spektra (vrcholová citlivost rodopsinu je přibližně 500 nm). Z tohoto důvodu se za vyšší intenzity světla, kdy jsou neaktivnější čípky upřednostňující žlutou část spektra, může např. žlutý list jevit jasnější než list zelený. Za snížené intenzity světla, kdy jsou neaktivnější tyčinky, se zelený list může jevit mnohem jasněji a zřetelněji než list žlutý. Tento jev je označován jako Purkyňův jev, a také mj. vysvětluje, proč

se oproti dennímu světlu modré předměty při soumraku zdají světlejší a červené tmavší. Intenzita světla je důležitý faktor pro vnímání hloubky, trojrozměrnosti, pohybu a prostorové organizace. Všechny tyto schopnosti ovládá ta část vizuálního systému, která reaguje pouze na rozdíly intenzity světla a na barvu citlivá není (Miller & Murphy 2016).

3.3.2 Adaptace oka na různou intenzitu světla

Oko se změnám intenzity světla přizpůsobuje pomocí několika mechanismů. Jedním z nich je již zmíněný Purkyňův jev, kdy duplexní sítnice obsahující tyčinky i čípky využívá tyčinky pro světlo s nižší intenzitou a čípky pro světlo s vyšší intenzitou (Harman et al. 1999). Tyčinky dokáží spolehlivě reagovat i na jediný foton světla a jsou primárními fotoreceptory používanými za snížené intenzity světla, tj. od soumraku do úsvitu. Za denního světla se tyčinky nasatí světlem. Aby bylo zachováno funkční denní vidění, musí se oko přenastavit primárně na čípky. Při „přepínání“ z tyčinek na čípky dochází ke ztrátě citlivosti na světlo, která je nahrazena zlepšeným barevným viděním a zrakovou ostrostí (Miller & Murphy 2016).

Hlavním, ale pomalejším mechanismem pro přizpůsobení se měnící intenzitě světla je chemická změna citlivosti fotoreceptorů na světlo. V osvětleném prostředí se fotopigmenty rozpadají rychleji, než se tvoří a citlivost fotoreceptorů na světlo rychle klesá. Světlo tedy chemicky disociuje fotopigmenty sítnice na jejich základní části a tento úbytek projevený zblednutím fotoreceptorů vede k úměrnému zvýšení množství světla potřebného ke spuštění reakce fotoreceptoru. Jedná se o adaptaci zraku na světlo. Naopak, pokud je zvíře ve tmě, fotopigment se regeneruje a tím narůstá citlivost fotoreceptorů oka na světlo a jedná se o adaptaci na tmu. Adaptace na světlo nastává téměř okamžitě, kdežto adaptace na tmu je pomalejší, protože je podmíněna časem potřebným k regeneraci fotopigmentů (resyntéze rhodopsinu) a trvá 20 až 30 minut (Orel & Facová 2010; Miller & Murphy 2016).

Kromě přepínání mezi tyčinkami a čípkami existuje několik dalších mechanismů, které napomáhají přizpůsobit se širokému rozsahu intenzit osvětlení. Nástrojem pro regulaci světla přicházejícího do oka je duhovka. Díky své schopnosti zúžení nebo rozšíření zornice dokáže měnit intenzitu osvětlení oka. Z fyziologického hlediska zornice obou očí reagují společně a jedná se o reflexní charakter. Ke zúžení zornice dochází při osvětlení oka, k rozšíření naopak při snížení intenzity světla (Orel & Facová 2010). Změna velikosti zornice tedy může rychle změnit množství světla, které na sítnici dopadá. Koňské oko je v tomto ohledu lepší než lidské, protože jeho průměr zornice má větší dynamický rozsah (Roth et al. 2008).

Další relativně rychlý mechanismus je změna neurálního zpracování bipolárními a gangliovými buňkami sítnice. Tyto buňky mohou sčítat světelné signály ze skupiny fotoreceptorů v průběhu času a sítnice může usnadnit adaptaci v rozsahu asi 1000krát. Velké koňské oko tento proces usnadňuje, protože umožňuje sečíst světelný signál ze sousedních fotoreceptorů, a tím rozjasnit obraz sítnice. Proces sčítání světelných signálů by potenciálně mohl vést ke ztrátě schopnosti oka rozlišovat detaily, ovšem velké oko koně to kompenzuje tím, že obsahuje větší počet fotoreceptorů (Roth et al. 2008).

Dobré vidění při nízké intenzitě osvětlení je u koně kromě sítnice s převahou tyčinek posílena také přítomností tapeta lucida (Murphy et al. 2009). Tapetum lucidum odráží světlo, které fotoreceptory nebylo absorbováno a vrací ho k nim zpět (Ollivier et al. 2004; McBane

2011; Shinozaki et al. 2013). Jinými slovy se světlo po první stimulaci fotoreceptorů díky tapetu lucidu odráží a stimuluje fotoreceptory podruhé (Reece 2011). Tím se zvyšuje zraková citlivost při špatných světelných podmínkách a zlepšuje se mezopické a skotopické vidění. V tapetální oblasti je jinak pigmentovaný retinální epitel bez pigmentace, díky čemuž je umožněn průchod světla (Ollivier et al. 2004; Shinozaki et al. 2013). Tapetum lucidum po osvětlení očí světlo odráží a způsobuje svícení očí (McBane 2011; Shinozaki et al. 2013; Marvan 2017).

Schopnost vidět je tedy udržována v obrovském rozsahu intenzit světla prováděním relativně pomalých, ale masivních změn citlivosti fotoreceptorů a následného jemného doladění intenzity rychlejšími změnami velikosti zornice a zpracováním sítnice.

3.3.3 Akomodace čočky a zaostřování

Akomodace je proces zaostřování oka na objekty, které jsou před ním umístěny v různých vzdálenostech. Tento proces umožňuje čočka, která svým vyklenutím nebo oploštěním mění úhel lomu světelných paprsků procházejících do oka. Předpokladem pro akomodaci je činnost ciliárního svalu a přirozená elasticita čočky (Orel & Facová 2010).

Při zaostřování na blízké objekty se cirkulární řasnatý sval smršťuje, čímž dochází k uvolnění vláken závěsného aparátu i čočky. Díky své elasticitě se čočka vyklene a zvětší úhel lomu světelných paprsků. Při zaostřování do dálky se řasnatý sval uvolňuje a tím napíná vlákna závěsného aparátu čočky, která svým tahem čočku zplošťují (Orel & Facová 2010). Vlákna, na kterých je čočka zavěšena ovládají její tvar a napětí. U savců se tak mění její optická mohutnost a ohnisková vzdálenost. Koně mají tato vlákna oproti jiným druhům zvířat výrazně slabší (Jelínek & Koudela 2003).

Lom potřebný k zaostření obrazu na sítnici závisí na zakřivení optických povrchů (rohovky a čočky), očních tekutin a tloušťce optické komponenty (Roberts 1992). Přesnější zaostření je výsledkem nepatrných změn tvaru čočky v reakci na kontrakci a relaxaci řasnatého tělesa, což má za následek změny v lomivosti čočky, a tím pádem udržení zaostřeného obrazu objektů pozorovaných z různých vzdáleností (Murphy et al. 2009).

Kůň je přirozeně dalekozraký a dokáže zaostřovat na předměty blízké i vzdálené. Jedna z teorií, která popisuje tuto schopnost je teorie rampové sítnice. Tato teorie předpokládá, že vzdálenost od čočky k sítnici je proměnná, přičemž vzdálené předměty jsou při správné ohniskové vzdálenosti promítány hned za čočkou a ohnisková vzdálenost je tedy vyhovující. Ovšem blízké předměty ležící v krátké vzdálenosti na zemi jsou zaostřovány do bodu nad čočkou a delší ohnisková vzdálenost blíže umístěných předmětů nedosahuje sítnice lomem paprsků na čočce, ale spíše se posune na sítnici dál od čočky, kde vytvoří obraz (Reece 2011). Reece (2011) však zároveň uvádí, že rampová sítnice u koně neexistuje. Ukázalo se, že koňská čočka je schopna pouze omezené akomodace a že k udržení zaostřeného obrazu na sítnici je zapotřebí pouze malá velikost změny lomu. Pohyby hlavy, které byly dříve spojovány s teorií rampové sítnice u koní, jsou nyní spojovány s využitím koňského binokulárního zorného pole (Harman et al. 1999; Murphy et al. 2009).

3.4 Zrak koně

3.4.1 Zrak z pohledu evoluce

Z hlediska evoluce je zrak pro koně velice důležitý smyslový orgán. Kůň se musel adaptovat tak, aby byl schopen vidět na velkou vzdálenost a z různých úhlů, a to jak ve dne, tak v noci (Saslow 2002). Ve volné přírodě se koně nejčastěji pasou na otevřených pláních. V takovém prostředí, mají predátoři výhodu, protože mohou neustále sledovat polohu své kořisti. Z tohoto důvodu mají koně vyvinuté smyslové schopnosti, které jsou optimální pro detekci predátora a následný útěk. Zrakové schopnosti jsou dokonalým příkladem této adaptace (Mills & Nankervis 1999; Rørvang et al. 2020).

Na rozdíl od lidí nemá koňské oko na sítnici žlutou skvrnu, místo toho má horizontální vizuální pruh (Harman et al. 1999), který je tvořen vysokou hustotou gangliových buněk a rozprostírá se po celé šířce sítnice (Guo & Sugita 2000). Tento pruh koni dává schopnost široce a rovnoměrně vidět celý horizont, ovšem o něco hůře v úrovních nad tělem a v nižších úrovních u země. Z adaptavního hlediska je zřejmé, že typ tohoto vidění je výhodou pro zvířata žijící zejména na otevřených pastvinách, která nemají vzdušného predátora a nebezpečí ze spoda jim hrozí jen v malé míře (Rørvang et al. 2020).

V přirozeném prostředí jsou koně aktivní ve dne, za soumraku, v noci i za úsvitu. Oči mají oči navrženy tak, aby dobře viděli při špatných světelných podmínkách a zároveň měli dobrou zrakovou ostrost při jasném světle (Carroll et al. 2001). Díky umístění koňských očí anterolaterálně koně zabírají mnohem širší zorné pole, než živočichové s očima umístěnými zepředu hlavy (Hanggi & Ingersoll 2012). Vývoj u koně upřednostnil panoramatické zorné pole s omezenějšími binokulárními schopnostmi (Rørvang et al. 2020). Tato adaptace je důležitá zejména pro včasné detekování predátora, který se ke koni přibližuje z různých směrů a pro kterého se kůň v přirozeném prostředí stává kořistí (Timney & Macuda 2001; McBane 2011).

Koňské zorničky se mohou v noci značně rozšířit a na sítnici dominují tyčinky. Tyto předpoklady vedou k dobrému skotopickému vidění, tedy schopnosti vidět za špatných světelných podmínek. I tato schopnost byla vzhledem k nočním loveckým sklonům psovitých a kočkovitých šelem z hlediska evoluce velice důležitá (Saslow 1999).

Mnohé z těchto adaptací jejich zraku jsou výhodné i pro moderní použití koně jako sportovce (Hawthorn 2013).

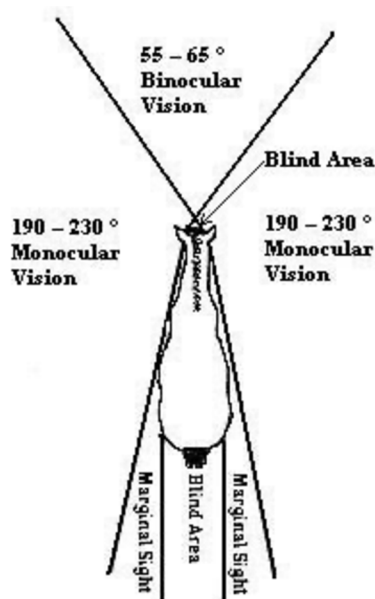
3.4.2 Zrakové schopnosti koní

Zrak koní je nejméně podobný tomu lidskému, ovšem je stále ještě mnoho toho, co se o koňském zraku neví. Přínejmenším je známo, že koně vidí svět velmi odlišně od toho, jak jej vidí lidé. To může vést k vysvětlení někdy podivného a nevyzpytatelného chování koní (McBane 2011).

Obecně zrakové schopnosti zahrnují vnímání světla, barev, tvarů, prostoru a pohybu (Ollivier et al. 2004). Koně mají jedno z největších očí mezi suchozemskými obratlovci. Jejich umístění po stranách hlavy jim poskytuje mnohem širší zorné pole, než zvířatům s očima umístěnými vpředu na hlavě (Hanggi & Ingersoll 2012), a tím i mnohem lepší periferní vidění, než má člověk (Hawthorn 2013). Maximální rozsah monokulárního zorného pole u koně je

228° s průměrem okolo 195° (Timney & Macunda 2001), což koni poskytuje téměř celý okruh horizontálního vidění (Hanggi & Ingersoll 2012). Binokulární zorné pole lidí je 120°, u koní je to pouze 55° až 65° (Rørvang et al. 2020). Celé zorné pole koně tak obsáhne průměrně okolo 360°, s malým mrtvým úhlem nacházejícím se přímo před nosem a přímo za ocasem (Hawthorn 2013). Zorné pole koně je schématicky znázorněno na Obr. 10.

V dřívějších studiích zrakových schopností koní většina autorů tvrdila, že koně mají špatnou schopnost ostření v důsledku malé hustoty čípků na sítnici, např. Francois et al. (1980). Pozdější behaviorální studie ostrosti zraku spolu s měřením hustoty gangliových buněk a elektrofyziologickými měřeními tento předpoklad potvrdila (Timney & Macunda 2001), což naznačuje, že koně mají horší schopnost ostření než většina ostatních suchozemských savců.



Obr. 10: Schéma zorného pole koně (binocular vision – binokulární vidění, monocular vision – monokulární vidění, blind area – slepá oblast, marginal sight – okrajové vidění)

Zdroj: <https://www.horses.extension.org> (staženo v březnu 2022).

Zdá se překvapivé, že jsou koně schopni skákat parkury, kde skákání přes překážky vyžaduje značné zrakové schopnosti k měření vzdálenosti i výšky překážek. Studie hloubkového vnímání však odhalily, že koně disponují stereopsí, tj. schopností vnímat hloubku a trojrozměrnou strukturu získanou na základě vizuálního vstupu z obou očí, ovšem pouze v oblasti binokulárního prostorového vidění (Timney & Keil 1999; McBane 2011; Rørvang et al. 2020). Aby kůň na předmět zaostřil, obvykle zvedne, sníží nebo nakloní hlavu tak, aby využil horizontálního vizuálního pruhu. Z Obr. 11 lze vyčíst, že pozice hlavy a krku jsou důležitými faktory, které ovlivňují zrakové schopnosti koní (Rørvang et al. 2020). Binokulární, tedy prostorové vidění koně, obsáhne 55° – 65° (Rørvang et al. 2020) a je orientováno směrem dopředu a dolů v úhlu přibližně 65° – 70°. Z toho vyplývá, že potřebuje-li kůň na daný předmět zaostřit, musí přizvednout hlavu. Stereopse koni také umožňuje přesně určit a vyhodnotit potenciální hrozbu, což může vysvětlovat ostražitě chování, kdy kůň stojí napnutě se zvednutým krkem a hlavou a ušima orientovanými na potenciálně ohrožující podnět (Rørvang & Christensen 2018).



Obr. 11: Ostré binokulární vidění koně schopné stereopse při zvednuté pozici hlavy koně (A) a při poloze hlavy 90° k zemi (B).

Zdroj: <https://www.veteriankey.com/perception> (staženo v březnu 2022).

Rotace oční bulvy může do určité míry kompenzovat rotaci hlavy a krku, ovšem ne je-li v extrémní hyperflexní poloze, jinými slovy hluboko za kolmicí. V tomto případě již není zornice a spolu s ní i zorné pole koně rovnoběžné se zemí (McGreevy et al. 2010). Na rozdíl od drezurního ježdění, kde je hlava koně pevně fixována v jedné pozici, jezdci v parkurovém skákání i všestrannosti svým koním umožňují zvolit si vlastní nesení hlavy a krku, což je důležité zejména těsně před skokem a během jeho překonávání (Rørvang et al. 2020).

Koně mají také řadu adaptací, které zlepšují vidění v šeru. Velké oko koni umožňuje, aby do něj pronikalo více světla přes rohovku a zornici. Přisun světla do oka je dále podpořen horizontálním prodloužením rohovky a zornice (Ramsey et al. 1999; Plummer et al. 2003) a schopností koňské zornice rozšířit se na plochu šestkrát větší, než má zornice lidská (Davis et al. 2003). Prodloužená zornice je běžná u druhů, které jsou aktivní v noci i ve dne. Za jasného světla se tento tvar zornice uzavírá více do úplna než zornice kulatá, čímž lépe chrání vysoce citlivou sítnici před velmi jasným světlem (Miller & Murphy 2016). Protože se zornice nachází před uzlovým bodem optické soustavy oka, horizontálně protáhlý tvar zornice koni za denního světla také poskytuje širší panoramatický výhled na horizont, než jaký by měl s kruhovou zornicí o identické ploše. Tento typ zornice tedy koni umožňuje pozorovat horizont, a zároveň redukovat rozdíly v jasu, se kterými se sítnice musí vyrovnat mezi jasnější oblohou a obvykle tmavší zemí. Koňský tyčinkový fotopigment, rhodopsin, se také poněkud liší od lidského a podobně jako jiných druhů zvířat přizpůsobených pro vidění v šeru, se může citlivost na světlo zvyšovat společně s dobou, kdy je zvíře umístěno ve tmě. Ve skutečnosti může koni trvat až 30 minut nebo i déle, než se plně přizpůsobí podmínkám slabého světla (Miller & Murphy 2016).

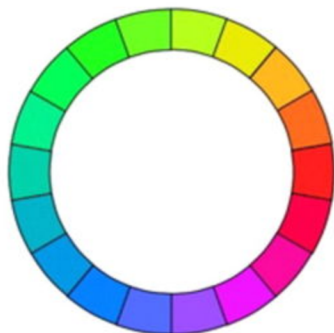
Koně mají na sítnici větší podíl tyčinkových buněk než lidé, díky čemuž mají vynikající noční vidění. Roth et al. (2008) zjistili, že koně a lidé mají podobné prahové hodnoty, protože jsou schopni rozlišovat barvy v intenzitě světla srovnatelné s intenzitou měsíčního svitu, nicméně koně jsou schopni vidět předměty při nižší intenzitě světla než lidé (Rørvang et al. 2020). Zároveň bylo zjištěno, že koně mají dobrou zrakovou kapacitu jak za přirozených, tak za umělých světelných podmínek. Velké oko koně není však dokonale přizpůsobeno nočnímu barevnému vidění. Místo toho za tmy upřednostňuje achromatické vidění, kde velké oči a zornice výjimečně dobře zachycují světlo bez příliš velké ztráty prostorového rozlišení (Roth et al. 2008). Tyčinky tedy fungují i za špatných světelných podmínek, ale nejsou citlivé na barvy. Z tohoto důvodu jsou tyčinky užitečnější pro detekci pohybu než pro zachytávání konkrétních detailů. Koně mají mnohem více tyčinek než čípků, které jsou ve volné přírodě výhodou pro pozorování predátorů během nočních hodin. Ovšem kvalita obrazu, který kuň vidí není tak detailní, jako ta lidská (Hawthorn 2013).

3.4.3 Barevné vidění

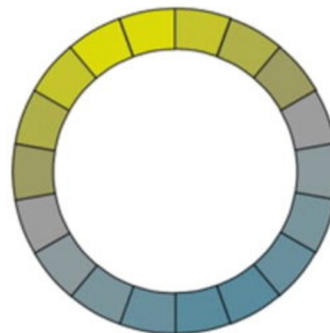
Schopnost barevného vidění je u zvířat stále předmětem vědeckého zájmu. Dříve se všeobecně věřilo, že se barevné vidění u savců téměř nevyskytuje. V dnešní době je však již jisté, že mnoho druhů savců má určitý stupeň barevného vidění (Hanggi & Ingersoll 2012).

Zvířata s různým počtem fotopigmentů na fotoreceptorech mají různé typy chromatického vidění – monochromatické, dichromatické, trichromatické nebo tetrachromatické (Jacobs 2009; Hanggi & Ingersoll 2012). Lidé a většina primátů disponují trichromatickým typem vidění. Většina savců pak typem dichromatickým. Dichromatičtí savci mají barevné vidění založené na dvou různých typech čípků: čípky citlivé na krátké vlnové délky a čípky citlivé na střední až dlouhé vlnové délky (Carroll et al. 2001; Roth et al. 2007). Barevné vidění koní je dichromatické, tj. s nedostatkem jednoho ze tří pigmentů čípků, konkrétně s nedostatečným rozlišováním červené a zelené barvy (Hall & Cassaday 2006; Hanggi et al. 2007; Blackmore et al. 2008; Hanggi & Ingersoll 2012; Spaas et al. 2014). Schéma s předpokládaným dichromatickým viděním koní a trichromatickým viděním člověka je zobrazeno na Obr. 12. V Příloze 1 jsou zobrazeny obrázky s pravděpodobným dichromatickým vnímáním barev různých objektů.

Human Trichromatic Color Vision



Horse Dichromatic Color Vision



Obr. 12: Barevné spektrum vnímané trichromatickým typem vidění člověka se třemi typy čípků (vlevo) a pravděpodobné dichromatické vidění koní se dvěma typy čípků (vpravo) (Carroll et al. 2001).

Barvu živočich vnímá, když je světlo různých vlnových délek zpracováváno dvěma nebo více typy fotopigmentů umístěných na tyčinkách a čípcích. Různé fotopigmenty reagují na specifické vlnové délky světla a překrývající se rozsahy vlnových délek. Stupeň chromatického vidění, kterým disponují lidé a jiné druhy závisí především na počtu a typu fotopigmentů, které vlastní (Hanggi & Ingersoll 2012). Ve spektru viditelného světla nejsou obsaženy všechny barvy. Finální barevný vjem vzniká mícháním vlnových délek jednotlivých barev až ve zrakovém ústrojí. Dvě různé vlnové délky mohou vytvořit barvu třetí vlnové délky, která nebude podobná ani jedné z původních vlnových délek (Freeman 2012).

Fotopigmenty čípků jsou citlivé na světla různých vlnových délek (barev), které pohlcují. U člověka Fotopigment S (z angl. short wave length) nejlépe pohlcuje modré světlo o vlnové délce cca 420 nm. Fotopigment M (z ang. middle wave length) je vnímavý na zelené světlo s vlnovou délkou zhruba 530 nm. Fotopigment L (z angl. long wave length) je citlivý na červené světlo s vlnovou délkou okolo 560 nm. Výsledná vnímaná barva v mozku vzniká na základě analýzy vlnových délek a intenzity světla zachycených jednotlivými fotoreceptory (Orel & Facová 2010).

U koní byla prokázána přítomnost dvou odlišných typů čípků, konkrétně typ S, který je citlivý na vlnové délky okolo 428 nm a typ M/L, který vnímá vlnové délky přibližně o 539–545 nm (Carroll et al. 2001). To znamená, že křivka spektrální citlivosti je ve srovnání s lidmi mírně posunuta k levé straně (kratší vlnové délky). Jinými slovy se dá říci, že ve srovnání s lidmi mají koně snížené barevné vidění a vidí pouze barvy v nepřetržitém rozsahu od modré po žlutou (Timney & Macunda 1999; Roth et al 2007), a proto nedokáží rozlišovat barvy, které lidé vidí jako červenou, oranžovou a zelenou (Murphy et al. 2009). U dichromatů existuje oblast – spektrální neutrální bod nacházející se uprostřed spektra, který se jeví jako achromatický (Carroll et al. 2001). Když vlnová délka barvy odpovídá neutrálnímu bodu, kůň ji není schopen odlišit od achromatických barev jako je bílá a šedá, protože stimuluje oba typy čípků stejně (Roth et al. 2007). Neutrální bod se u koně nachází při asi 480 nm (Geisbauer et al. 2004).

Z pohledu parkurového skákání několik studií ukázalo, že barva překážky ovlivňuje, s jakou pravděpodobností kůň překážku detekuje, a tedy jak úspěšně ji překoná. Bylo zjištěno, že pro koně může být obtížné skákat překážky, které jsou všechny světlé nebo tmavé, protože jednotná světlá barva může způsobit optický klam, který nadhodnocuje velikost překážky, a jednotná tmavá barva může způsobit, že kůň překážku úplně ignoruje (Stachurska et al. 2002).

Paulová a Stevens (2019) testovali dostihové koně na překážkách zbarvených oranžově, fluorescenčně žlutě, jasně modře nebo bíle a zjistili, že barva překážky ovlivňovala jak úhel skoku, tak délku skoku. Tyto výrazné barvy zvolili na základě behaviorálních testů. Stejně jako Stachurska et al. (2002) zjistili, že bílá vedla k nejdelší letové fázi a jasně modrá vytvořila větší úhel vzletu, zatímco skoky přes fluorescenčně žluté překážky měly kratší doskokovou vzdálenost ve srovnání s oranžovou. Obrázky z tohoto výzkumu jsou zobrazeny v Příloze 2.

3.5 Parkurový sport

3.5.1 Historie a současnost parkurového sportu

Kůň se stal partnerem člověka již v dobách starověku, což dokládají chetitské hliněné destičky zobrazující první poznatky výcviku koní. Koně se ve starověkých říších používali díky jejich obratnosti a rychlosti zejména pro vojenské účely a pro účely tahu (Goodwin 2007; McGreevy & McLean 2007). Znalosti současného výcviku koně zasahují už do roku 430 př. n. l. kdy řecký filozof a vojevůdce Xenophon sepsal díla „O jezdeckví“ a „O výcviku jezdců velitelem“. Jedná se o první systematicky uspořádané příručky výcviku koně (Beran 2009). Během středověku došlo k velkému úpadku výcviku koní, kteří byli necitlivě využíváni zejména pro válečné účely. Rozkvět nastal opět během renesance a zejména pak v 18. století, kdy filozof François Robichon de La Guérinière přispěl k vývoji klasického jezdeckví sepsáním díla „Jezdecké umění“. Francouzská revoluce následně na krátko vývoj jezdeckého umění zastavila, ovšem hned ve století devatenáctém došlo díky školám jezdecké kavalerie v Saumuru a Hannoveru k jeho obnově. Cílem výcviku těchto škol byl proježděný kůň, který bude v boji okamžitě reagovat. Nejznámější škola klasického jezdeckví je Španělská jezdecká škola ve Vídni (Schöffman 2006). V důsledku motorizace došlo ve 20. století v oblasti vojenské, zemědělské i dopravní ke ztrátě zájmu o koně. Pro zachování chovu bylo nutné koním nalézt nové využití, kterým se stal sport. Z pracovního a vojenského koně se stal kůň společník a sportovec (Orlando 2019).

Parkurový sport takový, jaký ho známe dnes je historicky spjat právě s jezdeckými armádními školami. Na českém území byl v roce 1891 v tehdejší habsburské monarchii založen Spolek pražského Sokola, který vycházel z armádní jezdecké školy s výcvikovým střediskem v Hodoníně. V roce 1921 byla založena Mezinárodní jezdecká federace i Československá jezdecká společnost, která se následně v roce 1927 stala její součástí. Na olympiádě se koně poprvé objevili v disciplínách parkur, drezura a military v roce 1912 ve Stockholmu. Vítězem parkuru na Olympijských hrách v Amsterdamu v roce 1928 se stal český jezdec, kapitán František Ventura s koněm Eliotem. Významný vliv na rozvoj parkurového sportu na českém území měl major Josef Dobeš, který sepsal i ilustroval širokou škálu publikací o výcviku nejen

parkurového koně a jezdce. V dobách socialismu byl chov koní a jezdecký sport na území Československa potlačen.

Dlouhou dobu byly olympijské hry bez přítomnosti české účasti, kterou pak v roce 2004 v Athénách s koněm Kyrennjennalla's Boy a v roce 2008 v Pekingu s klisnou Karlou prolomil Jaroslav Hatla, který se účastnil soutěže všestrannosti. Za historický parkurový úspěch součastnosti je považována účast českého týmu na Olympijských hrách 2020 v Tokiu ve složení Anna Kellnerová s klisnou Catch Me If You Can Old, Aleš Opatrný a valach Forewer, Ondřej Zvára a hřebec Cento Lano a Kamil Papoušek s hřebcem Warnessem. Olympijských her v Tokiu se taktéž účastnili jezdci všestrannosti, Miloslav Příhoda s valachem Ferreolusem a Miroslav Trunda s klisnou Shutterflyke.

V České republice je v současnosti jezdecký sport zastřešován Českou jezdeckou federací (zkr. ČJF) a spadají pod ní disciplíny parkur, drezura, všestranost, vozatajství, voltiž, vytrvalost a reining. Jezdecké závody jsou v rámci národních závodů na území ČR pořádány jezdeckými spolky, které jsou včetně jezdců členy České jezdecké federace. Zastřešující organizací mezinárodních závodů je Mezinárodní jezdecká federace (zkr. FEI – Fédération Équestre Internationale), která má sídlo ve švýcarském Lausanne.

3.5.2 Základní pravidla parkurového skákání

Pravidla parkurového sportu jsou v České republice vydávány Českou jezdeckou federací a jsou obsahovým překladem mezinárodních skokových pravidel FEI. Každoročně dochází k jejich aktualizaci a úpravám. Obsahují FEI kodex chování, který nabádá, aby pohoda a zdraví koně byly vždy prvořadé a nikdy nebyly podřízené soutěžním nebo obchodním vlivům (Skoková pravidla 2021). Na welfare sportovního skokového koně má však vliv i jeho management, je proto důležité porozumět potřebám koní nejen během parkurových soutěží (Minero & Canali 2009).

Dle všeobecného ustanovení čl. 200 Skokových pravidel (2021) je skoková soutěž soutěží, během které dochází k prověření dvojice – sportovce a koně, na parkuru s překážkami. Jestliže se dvojice dopustí chyb na parkuru, např. shození překážky, zastavení před překážkou, jejího poboření nebo překročení časového limitu, je penalizována. Vítězem soutěže se pak stává dvojice, která získala nejnižší počet trestných bodů nebo dokončila parkur v nejkratším čase nebo v určitém typu soutěže získala nejvyšší počet bodů. Všechny soutěže se musí řídit zásadou „fair play“.

Existuje mnoho druhů skokových soutěží, a to jak pro jednotlivce, tak pro družstva. Například běžná soutěž s rozeskakováním, soutěž na čas, dvoufázové skákání, soutěž se stupňovanou obtížností atd. Výška a šířka překážek je stanovena dle obtížnosti soutěže. V Příloze 3 jsou znázorněny jednotlivé stupně obtížnosti (Skoková pravidla 2021).

Všechny chyby se na parkuru hodnotí od projetí startovní čáry do projetí cílové čáry. V průběhu parkuru je sportovec penalizován za poboření překážky a dotknutí se podkovou nebo nohou vodní hladiny nebo lišty ohraničující vodní příkop, za neposlušnost (tj. vyběhnutí, zastavení, či odmítnutí poslušnosti), vybočení na parkuru, pád koně a/nebo jezdce, dále za nedovolenou pomoc nebo překročení stanoveného nebo přípustného času. Hodnocení soutěží probíhá na základě Tabulky A, podle které jsou chyby na parkuru penalizovány trestnými body,

sekundami nebo vyloučením a Tabulky C, kdy jsou chyby penalizovány v sekundách, které se soutěžícímu připočítávají k času získanému na parkuru nebo jej vylučují (viz Příloha 4).

3.5.3 Typy překážek

V parkurovém sportu je možné se setkat s různými typy překážek (Dušek 1999). K vytvoření parkurové trati se nejčastěji používají překážky tvořené bariérami, které jsou zasunuty v hácích mezi dvěma stojany. Jednotlivé bariéry musí být z důvodu bezpečnosti shoditelné. Překážky se dělí na výškové, šířkové a kombinované. Nejběžnějším typem výškové překážky je kolmý skok a zeď, nejčastější šířkovou překážkou je oxer, trojbadlí a vodní příkop. Překážky bývají často vyplněny profily různých tvarů, prkny, plůtky nebo bazénky. Výška i šířka překážek je určována obtížností soutěže (Skoková pravidla 2021).

Kolmý skok

Kolmý skok je výškový skok ve vertikální rovině (Stachurska et al. 2002), kůň skáče pouze do výšky. Tento skok tvoří dva stojany a šířka skoku je stejná jako šířka jedné bariéry. Horní bariéra je vždy ve vertikální rovině. Spodní část skoku vyplňují bariéry ve stejné nebo diagonální rovině, popř. profily, prkna, plůtky nebo bazénky (viz Obr. 13).



Obr. 13: Kolmý skok (archiv autorky práce).

Oxer

Oxer je typ šířkové překážky kdy jsou horní bariéry ve dvou vzájemně rovnoběžných vertikálních rovinách (Stachurska et al. 2002). Kůň skáče do výšky a zároveň do šířky. Tento skok je tvořen celkem čtyřmi stojany, dva a dva na každé straně konce bariér, kdy horní bariéry jsou vždy umístěny vertikálně. Mezi dvěma prvními stojany je prostor pod horní bariérou vyplněn dalšími bariérami ve vertikální rovině, popř. profily, prkny, plůtky nebo bazénkem. Mezi zadními stojany je pouze jedna bariéra ve stejné výšce, jako horní bariéra přední části

oxeru. V tomto případě se jedná o pravý oxer (viz Obr. 14). Snažší obdobou oxeru je tzv. dvojbradlí neboli doublebar, kdy výška horní bariéry přední části skoku je nižší než výška horní bariéry zadní části skoku (viz Obr. 15). Celková výška překážky a šířka mezi první a druhou částí skoku je v obou případech určena obtížností soutěže.



Obr. 14: Pravý oxer (archiv autorky práce).



Obr. 15: Dvojbradlí (archiv autorky práce).

Trojbradlí

Trojbradlí neboli triplebar je překážka skládající se ze tří vertikálních rovin, kdy výška každé další roviny stoupá (Stachurska et al. 2002). Trojbradlí taktéž spadá do kategorie šířkových skoků. Je tvořen celkem šesti stojany, tři a tři na každé straně konce bariér. Výška bariéry mezi prvními stojany je nejnižší, mezi prostředními vyšší a mezi posledními nejvyšší. Každá další bariéra je výše než ta předchozí (viz Obr. 16). Velikost a šířka tohoto skoku je určena stupněm obtížnosti soutěže.



Obr. 16: Trojbradlí (archiv autorky práce).

Kombinované překážky

Kombinace jsou dvojskoky a trojskoky. Jedná se o dvě nebo tři po sobě jdoucí překážky svírající vzdálenost minimálně 7 metrů a maximálně 12 metrů. Vzdálenost mezi překážkami v kombinaci se měří vždy na doskokové straně prvního skoku a na odskokové straně druhého skoku. Trojbradlí smí být v kombinaci použito pouze jako první skok. Jednotlivé skoky kombinace jsou kromě čísla značeny písmeny A, B nebo C (viz Obr. 17). Chyby jsou na každém skoku kombinace penalizovány samostatně (Skoková pravidla 2021).



Obr. 17: Kombinace – dvojskok (archiv autorky práce).

Zed'

Zed' je překážka imitující kamennou zeď a skrze kterou není průhled. Nejčastěji je tvořena nižší pevnou částí s nastavnými shoditelnými prvky.

Vodní příkop

Vodní příkop je typ šířkové překážky, která není doplněna žádnou překážkou před, nad nebo za vodní hladinou. Minimální šířka vodního příkopu je 200 cm a musí být zapuštěn do země. Za chybu se považuje, pokud kůň došlápne jednou nebo více končetinami na lištu, která vodní příkop ohraničuje nebo pokud se kůň dotkne jednou nebo více nohama vodní hladiny (Skoková pravidla 2021).

4 Metodika

Data byla sbírána na čtyřech vybraných parkurových závodech v rámci Českého skokového poháru během měsíců srpen a září 2021. Byla zvolena závodistiště se stejným typem i barvou povrchu. Konkrétně Jezdecké centrum Zduchovice, Farma Ptýrov, Ranch Hořovice a Equitana Hotel Martinice. Všechny tyto areály disponují prostornými kolbišti s povrchem z písku a geotextilie (viz Příloha 5).

Obtížnost soutěží byla zvolena střední, tj. 125–130 cm (S*, S**). K experimentu byly zvoleny překážky v bílo-barevné a celobarevné kombinaci. Barevnost překážek byla vyhodnocena spektrofotometrem CM-2500d značky Konica Minolta, který změřil konkrétní barevnost na principu reflektance viditelného spektra v rozsahu 360 do 740nm zkoumaných barev. Data ze spektrofotometru byla vyhodnocena softwarem Spectra Magic NX.

Chyby na vybraných překážkách byly zaznamenávány a následně statisticky vyhodnoceny pomocí dvouvýběrového Z-testu s 5% hladinou statistické významnosti. Za chybu bylo považováno shození bariéry, ve vybraných případech neposlušnost koně – zastavení před skokem nebo nadměrná obava ze skoku.

4.1 Český skokový pohár

Český skokový pohár (ČSP) je seriál parkurových závodů, který se koná každoročně od jara do podzimu na různých místech Čech a Moravy. Celkově má dvanáct kvalifikačních mítinků, po nichž následuje jedno finále. V roce 2021 se, podobně jako každý rok, kvalifikační kola konala v Brně, Hradištku, Ostravě, Praze, Olomouci, Zduchovicích, Opavě, Ptýrově, Frenštátě pod Radhoštěm, Litomyšli, Hořovicích a Martinicích. Finále Českého skokového poháru se jezdí na motivy mistrovství světa. To znamená, že do samotného finále postupují čtyři jezdci, každý se svým koněm, kteří následně absolvují čtyři parkury, a to na svém koni, i na koni ostatních finálových jezdců.

Jedná se o nejrozsáhlejší seriál parkurových závodů v České republice s početným startovním polem ve všech vypsáných soutěžích. Pod hlavičkou Českého skokového poháru se jezdí i další tři seriály, které v průběhu let vznikly, a to Amateur Tour, Czech junior Cup a U25. Amateur Tour je určena pro jezdce od 18 let, kteří nedosahují vysoké sportovní výkonnosti, přesto je pro ně parkurový sport zábavou. V rámci Czech Junior Cupu mohou soutěžit děti a junioři do 18 let, v U25 pak mladí jezdci do 25 let.

Zároveň se během těchto mítinků jezdí i rámcové soutěže s početným startovním polem soutěžních dvojic. Právě tyto otevřené soutěže byly využity pro experiment k této diplomové práci. V rámci seriálu jsou většinou používány totožné skoky, což umožnilo potřebný počet sledování reaktivity koní na jednotlivou barevnost, a tím i nasbírání dostatečného množství dat pro tuto diplomovou práci.

4.2 Spektrofotometr CM-2500d

Měřicí přístroj značky Konica Minolta CM-2500d (viz Obr. 18) je spolehlivý a přenosný spektrofotometr s difuzní kulovou geometrií. Difuzní geometrie znamená, že v režimu SCI (Specular Component Included) měří absolutní hodnoty barevnosti, paprsky jsou difundovány do všech směrů a měří probarvenost bez ohledu na povrchovou úpravu předmětu. Metoda SCE (Specular Component Excluded) měří s ohledem na povrchovou úpravu, tedy vyhodnocuje barevnost i s ohledem na texturu povrchu (hodnota je blíže vjemu lidského oka). Tento model využívá patentovanou numerickou kontrolu lesku NGC (Numeric Gloss Control), která během jednoho měření poskytuje data nezahrnující vliv textury metodou SCI a zahrnující vliv textury metodou SCE. V rámci jednoho simultánního měření (SCI+SCE) tedy měří absolutní barevnost a také vliv povrchové úpravy na celkový vjem barevného povrchu.

Spektrofotometr CM-2500d měří ve viditelné spektrální šíři v rozsahu 360–740 nm po 10 nm. Světelným zdrojem jsou pulzní xenonové výbojky. Přístroj vyhodnocuje ve všech normovaných osvitech od denního osvětlení po umělé osvity (zářivky, wolframové žárovky). Měří remisně, tzn. že umí změřit pouze odraz (např. nedokáže změřit kapaliny průsvitem přes kyvetu nebo pevné transparentní materiály). Rozklad odraženého světla odrážejícího se do detektoru, je tvořen holografickou mřížkou – monochromátorem. Detektory jsou silikonové fotodiody (duální řada 40 elementů silikonových fotodiód).

Před měřením je nutné přístroj nakalibrovat. Kalibrace slouží k adjustaci dynamického rozsahu světelné intzity. Nejprve se přístroj kalibruje pro černou barvu, k čemuž se používá černá světelná past (zero calibration box), což je prostor, ve kterém se paprsek rozptýlí, nevrací se zpět a je kompletně pohlcen. Pro kalibraci bílé barvy slouží bílý kalibrační kompozitní standard uchovávající si dlouhodobě svou bílou barvu, který je součástí podstavce přístroje. Přístroj lze ovládat jednou rukou a díky okénku pro pozorování vzorku umožňuje dokonalé umístění. Velký informační displej zobrazuje naměřená data buď numericky nebo graficky.



Obr. 18: Spektrofotometr Konica Minolta CM-2500d (archiv autorky práce).

4.3 Postup sběru dat

Před zahájením měření barevnosti překážek bylo nutné spektrofotometr nakalibrovat. V tomto případě byla jako světelná past pro kalibraci černé barvy použita kartonová tuba s černě zabarveným vnitřkem dlouhá 50 cm a namířená do volného prostoru. Ke kalibraci bílé barvy sloužil bílý standard, jenž byl součástí podstavce přístroje. Po kalibraci spektrofotometru následovalo samotné měření barev vybraných skoků.

Přístroj byl nastaven pro vyhodnocení barevnosti simulující denní osvit D65 při 10° standardním pozorovateli metodou SCI. Hodnoty pro jednu danou barvu byly měřeny vždy třikrát, z čehož vyšel aritmetický průměr hodnot L^* , a^* , b^* , C^* , h^* a vlnových délek pro konkrétní barevný odstín.

Měření barevnosti překážek probíhalo o přestávkách mezi soutěžemi a během prohlídek parkuru. Nejprve byly naměřeny všechny barevné odstíny jedné překážky, a stejným způsobem i barvy překážek dalších. Údaje o chybách na překážkách byly analyzovány pozorováním a chyby na vybraných skocích byly zaznamenávány.

Veškeré údaje ze spektrofotometru byly po naměření všech dat následně vyhodnoceny softwarem Spectra Magic NX.

4.4 Vyhodnocení barev

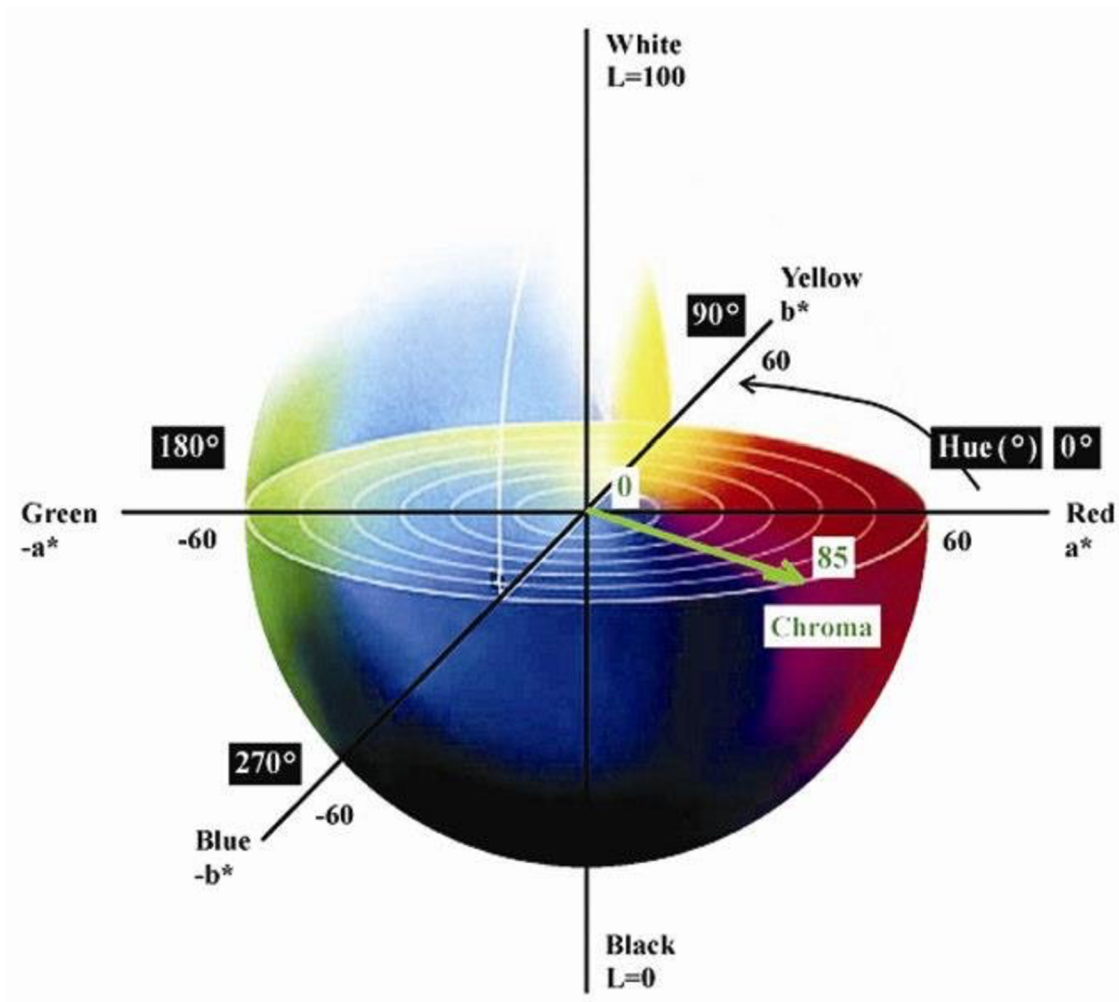
Barevnost byla vyhodnocena pomocí barevného prostoru CIE $L^*a^*b^*$ (viz Obr. 19), který má tvar koule. V tomto prostoru L^* značí světlost a a^* a b^* jsou chromatické souřadnice, kdy $+a^*$ je barevná koordináta pro červenou, $-a^*$ pro zelenou, $+b^*$ pro žlutou, $-b^*$ pro modrou. Střed je achromatický a směrem od středu k okraji barevného prostoru se zvyšuje sytost barvy. Na Obr. 20 je zobrazen vodorovný řez barevným a^* , b^* diagramem při konstantní hodnotě L^* .

Dále se hodnotila sytost barvy Chroma (C^*) a odstín Hue (h), který znázorňuje konkrétní odstín a jasně vymezuje druh barvy. V tomto případě je číslo 0 ideálně červené těleso. Se zvyšujícím se číslem po obvodu prostoru se mění odstín barvy v pořadí červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá a fialová (viz Obr. 19).

Remisní spektrální křivka barvy udává konkrétní rozsah vlnových délek, které daná barva odráží a určuje konkrétní spektrální odezvu v celé viditelné oblasti. Vrchol křivky symbolizuje nejvyšší a dominantní vlnovou délku odrazu. Čím vyšší je vrchol na spektrální křivce, tím je barva světlejší, a naopak čím nižší vrchol je, tím je barva tmavší. Bílá barva odráží všechny barvy stejně v celé spektrální oblasti, proto nelze její vrchol na spektrální křivce určit. Černá barva naopak všechny barvy z celé spektrální oblasti pohlcuje. Šedá barva je neutrální a podobně jako bílá a černá je na spektrální křivce zobrazena v jedné rovině. Čím více je šedá barva světlejší, tím více odráží, a naopak čím je tmavší, tím odráží méně.

Na základě změřené spektrální křivky lze přibližně určit, v jakém rozsahu kůň konkrétní barevný odraz světla dokáže vnímat, a zda jej vnímá jako chromatický nebo achromatický.

Program Spectra Magic NX kromě spektrálních křivek zobrazil i přibližný barevný odstín každé měřené barvy. Tyto vzorky barev jsou v kapitolách Vybrané překážky pro H1 a H2 uvedeny u každé barvy zkoumaných překážek.



Obr. 19: Barevný prostor CIE L^* , a^* , b^* .

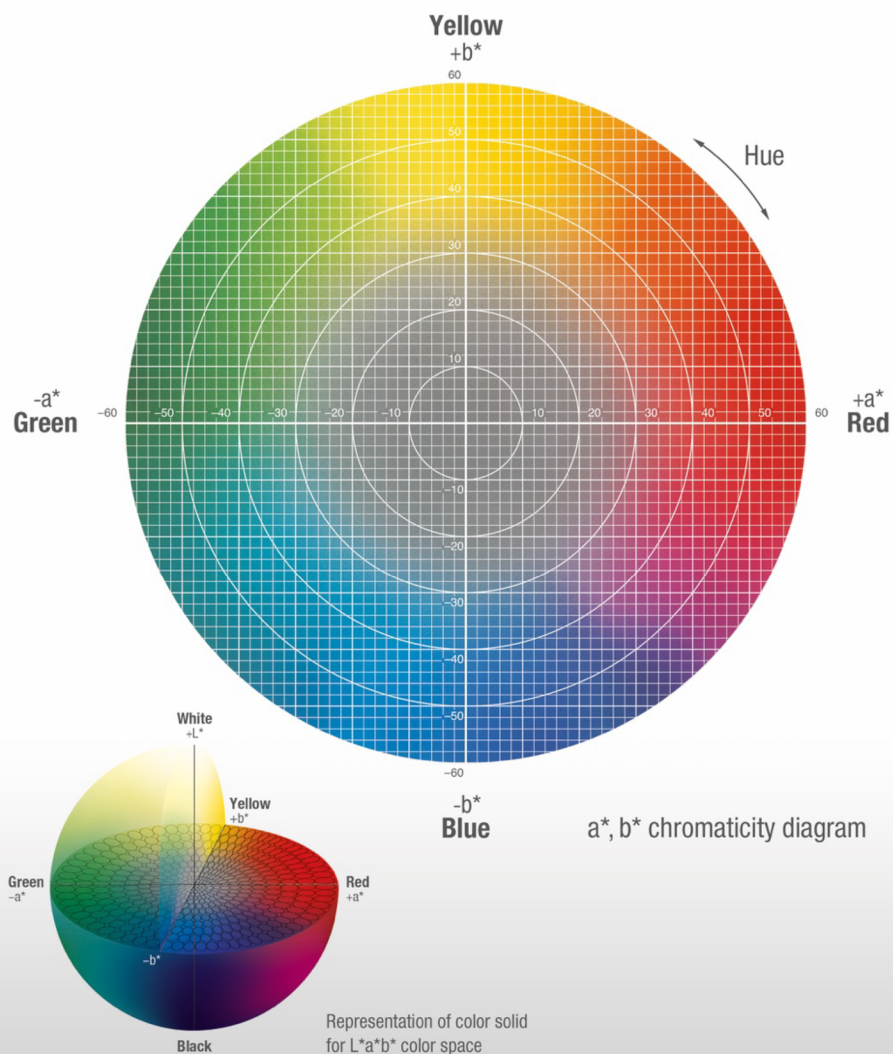
Zdroj: <https://www.researchgate.net> (staženo v prosinci 2021).



KONICA MINOLTA

Giving Shape to Ideas

KONICA MINOLTA COLORIMETRIC TECHNOLOGY



Obr. 20: Vodorovný řez chromatickým diagramem.
Zdroj: <https://www5.konicaminolta.eu> (staženo v prosinci 2021).

4.5 Vybrané překážky pro H1

4.5.1 Překážka 1

Název: EQUESTRIANS

Barevná kombinace: modrá, zlatá, bílá (viz Obr. 21)



Obr. 21: Překážka 1 (archiv autorky práce).

Modrá

$L^* = 31,31$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 31,31 a je ve třetině možných hodnot, je tmavá.

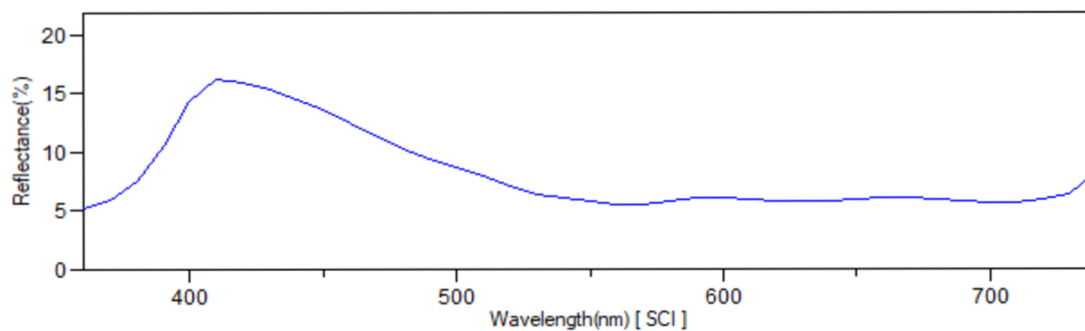
$a^* = 5,71$ – příspěvek červeného odstínu je 5,71 jednotek, je tedy velmi malý, červenost se nebude výrazně projevovat.

$b^* = -20,03$ – příspěvek modrého odstínu je -20,03, modrý odstín je výrazný.

$C^* = 20,83$

$h = 285,91$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 22.



Obr. 22: Spektrální odraz modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Zlatá

$L^* = 70,38$ – světlost daného předmětu v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 70,38 a je ve dvou třetinách možných hodnot, je spíše světlá.

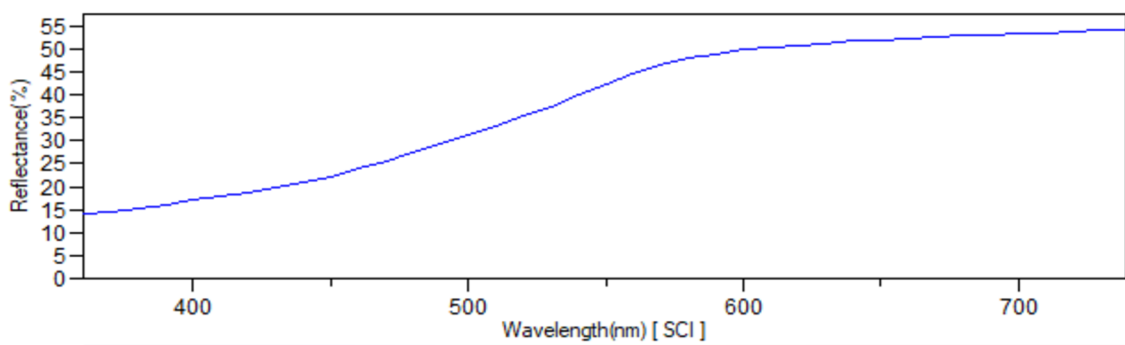
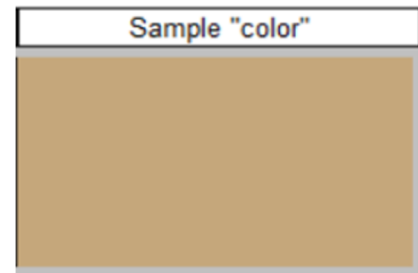
$a^* = 4,72$ – příspěvek červeného odstínu je 4,72 jednotek, je tedy velmi malý, červenost se u této barvy nebude výrazně projevovat.

$b^* = 26,23$ – příspěvek žlutého odstínu je 26,23, je tedy poměrně výrazný.

$C^* = 26,66$

$h = 79,8$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 23.



Obr. 23: Spektrální odraz zlaté barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 95,2$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 95,2 a je téměř v maximum možných hodnot, je velmi světlá.

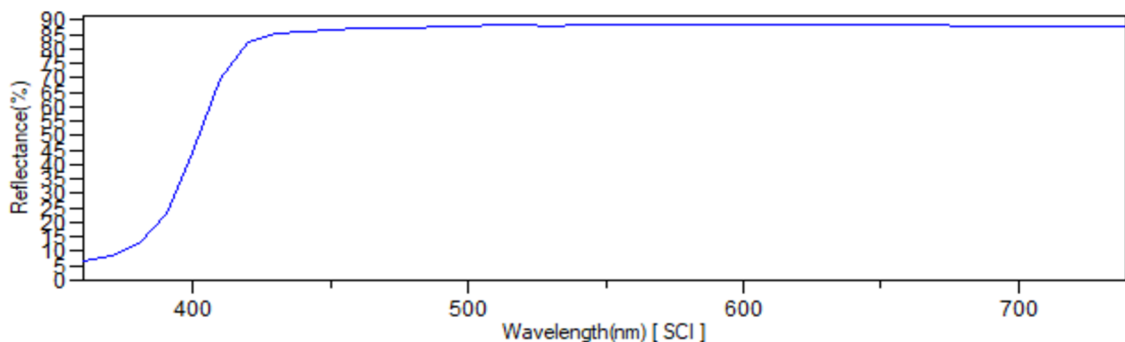
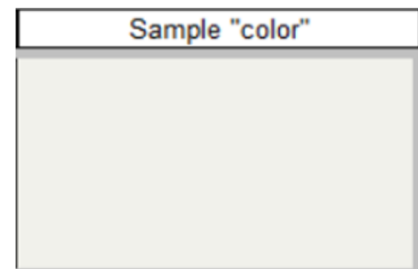
$a^* = -0,72$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,72 jednotek, je tedy velmi malý, nebude se projevovat.

$b^* = 1,9$ – příspěvek žlutého odstínu je 1,9, je tedy velmi malý, nebude se projevovat.

$C^* = 2,03$

$h = 110,74$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 24.



Obr. 24: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.2 Překážka 2

Název: CZECH EQUESTRIAN FEDERATION

Barevná kombinace: tmavě modrá, světle modrá, bílá (viz Obr. 25)



Obr. 25: Překážka 2 (archiv autorky práce).

Tmavě modrá

$L^* = 34,15$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 34,15, je za třetinou možných hodnot, je spíše tmavá.

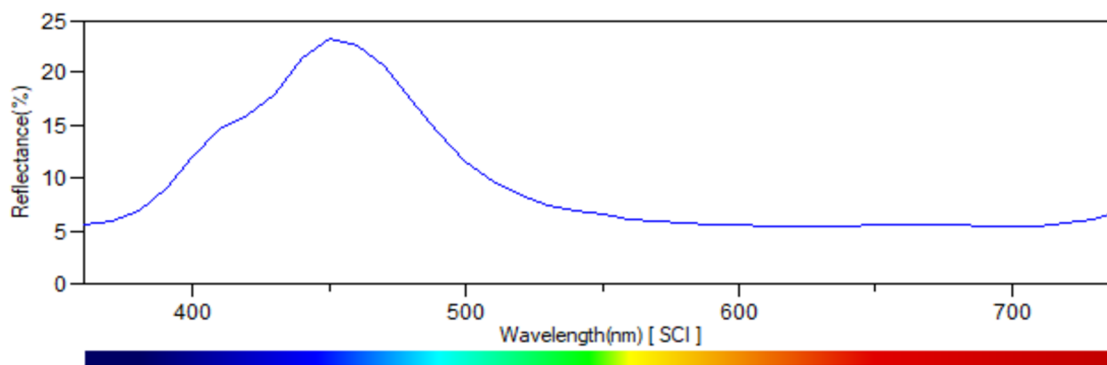
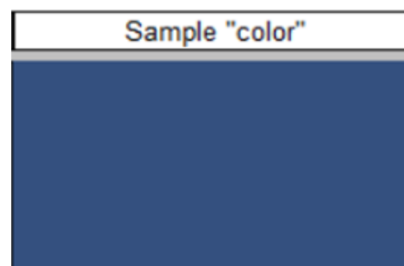
$a^* = 4,73$ – příspěvek červeného odstínu je 4,73 jednotek, je velmi malý, červenost se nebude projevovat.

$b^* = -30,15$ – příspěvek modrého odstínu je -30,15, modrý odstín je velmi výrazný.

$C^* = 30,52$

$h = 278,91$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 26.



Obr. 26: Spektrální odraz tmavě modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Světle modrá

$L^* = 55,93$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 55,93, je přibližně na polovině možných hodnot.

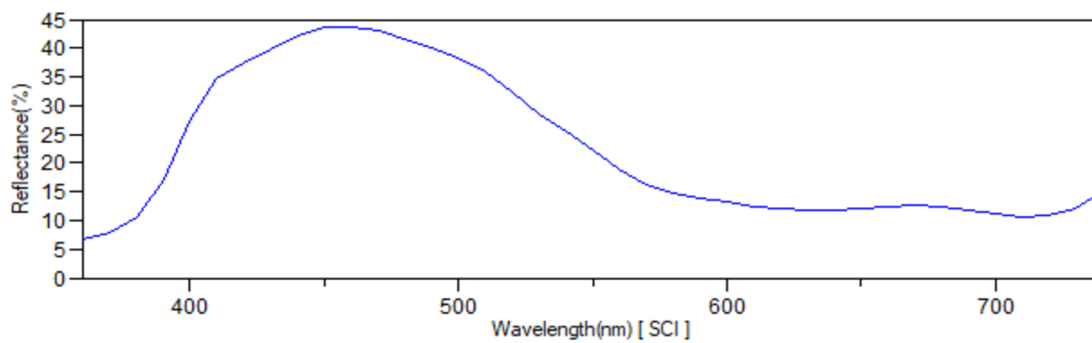
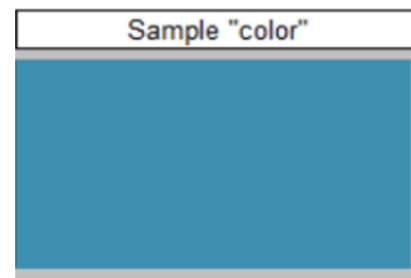
$a^* = -14,46$ – příspěvek zeleného odstínu je -14,46 jednotek, je malý, zelenost se spíše nebude projevovat.

$b^* = -25,02$ – příspěvek modrého odstínu je -25,02, modrý odstín je tedy velmi výrazný.

$C^* = 28,9$

$h = 239,98$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 27.



Obr. 27: Spektrální odraz světla modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 93,77$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 93,77, je ve třetí třetině možných hodnot, je velmi světlá.

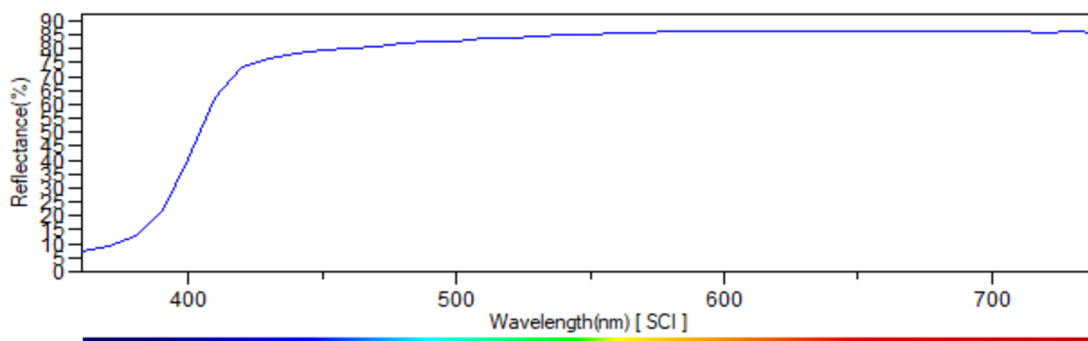
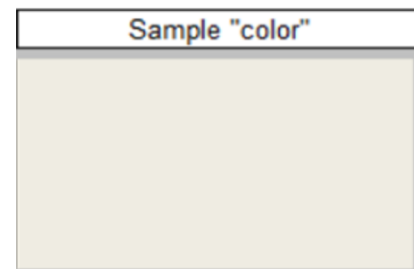
$a^* = -0,75$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,75 jednotek, je velmi malý, nebude se projevovat.

$b^* = 4,81$ – příspěvek žlutého odstínu je 4,81, je velmi malý, nebude se projevovat.

$C^* = 4,87$

$h = 98,88$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 28.



Obr. 28: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.3 Překážka 3

Název: CR GROUP

Barevná kombinace: tmavě zelená, světle zelená, šedá, bílá (viz Obr. 29)



Obr. 29: Překážka 3 (archiv autorky práce).

Tmavě zelená

$L^* = 44,93$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 44,93, je téměř v polovině možných hodnot, je spíše tmavá.

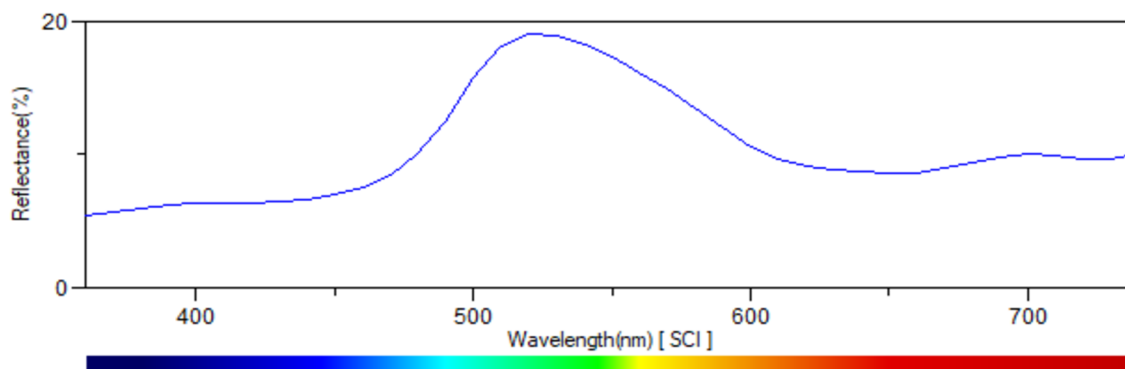
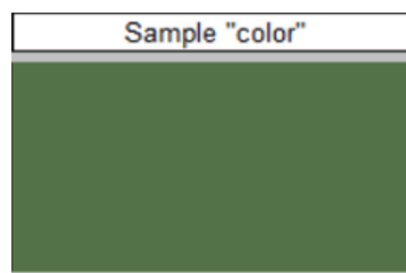
$a^* = -19,66$ – příspěvek zeleného odstínu je -19,66 jednotek, zelený odstín je tedy výrazný.

$b^* = 19,46$ – příspěvek žlutého odstínu je 19,46 jednotek, žlutý odstín je spíše výrazný.

$C^* = 27,66$

$h = 135,28$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 30.



Obr. 30: Spektrální odraz tmavě zelené barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Světle zelená

$L^* = 63,11$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 63,11, je za polovinou možných hodnot, je spíše světlá.

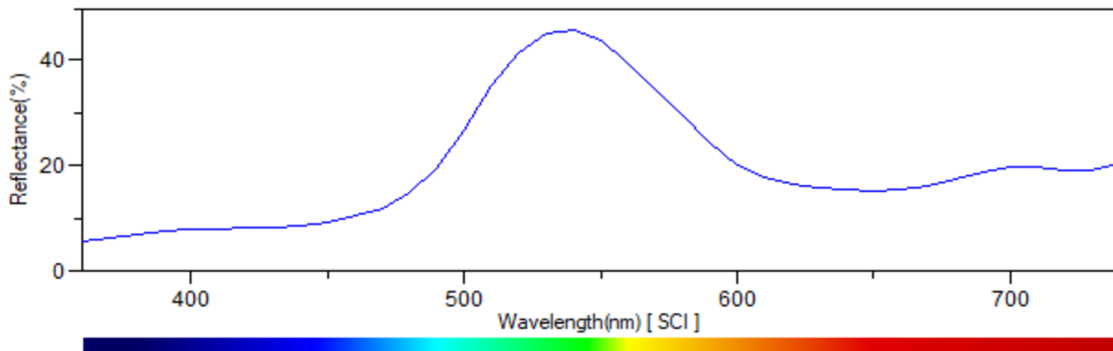
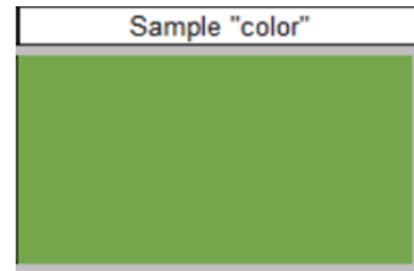
$a^* = -31,59$ – příspěvek zeleného odstínu je -31,59 jednotek, zelený odstín je velmi výrazný.

$b^* = 40,18$ – příspěvek žlutého odstínu je 40,18 jednotek, žlutý odstín je výrazný.

$C^* = 51,11$

$h = 128,17$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 31.



Obr. 31: Spektrální odraz světle zelené barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Šedá

$L^* = 67,9$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 67,9, je ve druhé třetině možných hodnot, je spíše světlá.

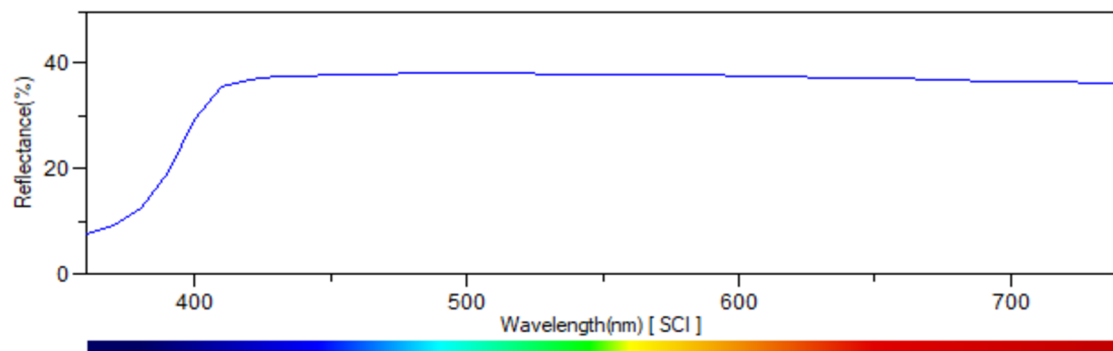
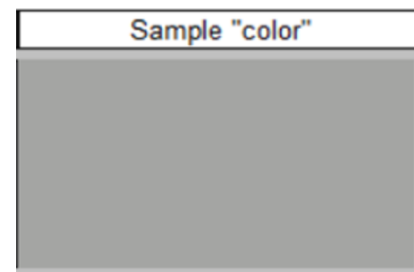
$a^* = -0,72$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,72, je zanedbatelný, zelenost se nebude projevovat.

$b^* = -0,28$ – příspěvek modrého odstínu je -0,28, je zanedbatelný, modrost se nebude projevovat.

$C^* = 0,77$

$h = 159$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 32.



Obr. 32: Spektrální odraz šedé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 91,63$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 91,63, je téměř v maximu možných hodnot, je velmi světlá.

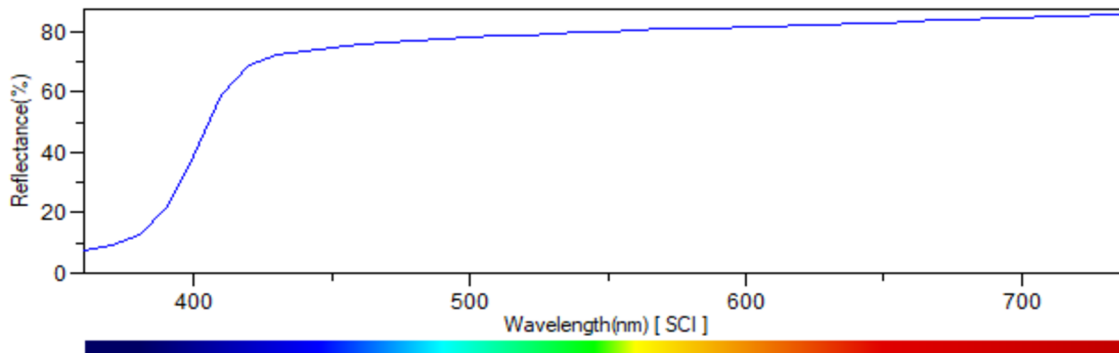
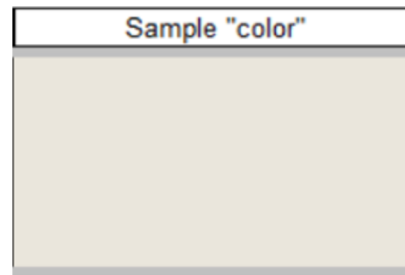
$a^* = -0,17$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,17 jednotek, nebude se projevovat.

$b^* = 4,77$ – příspěvek žlutého odstínu je 4,77, je velmi malý, žlutost se nebude projevovat.

$C^* = 4,77$

$h = 92,01$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 33.



Obr. 33: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.4 Překážka 4

Název: MERCEDES – HOFFMANN & ŽIŽÁK

Barevná kombinace: černá, bílá (viz Obr. 34)



Obr. 34: Překážka 4 (archiv autorky práce).

Černá

$L^* = 24,72$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 24,72, je v první třetině možných hodnot, je velmi tmavá.

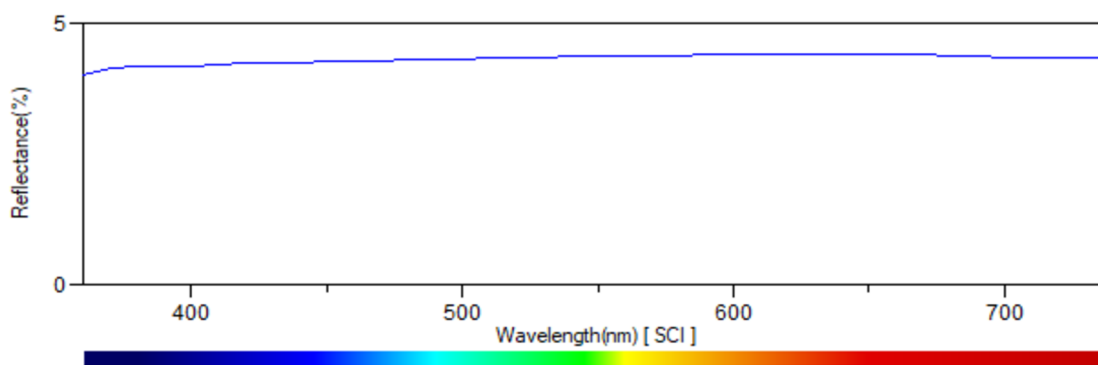
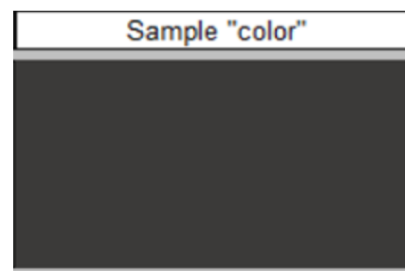
$a^* = 0,02$ – příspěvek červeného odstínu je 0,02, je zanedbatelný, červenost se nebude projevovat.

$b^* = 0,51$ – příspěvek žlutého odstínu je 0,51, je zanedbatelný, žlutý odstín se nebude projevovat.

$C^* = 0,51$

$h = 87,53$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 35.



Obr. 35: Spektrální odraz černé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 94,81$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 94,81, je téměř v maximum možných hodnot, je velmi světlá.

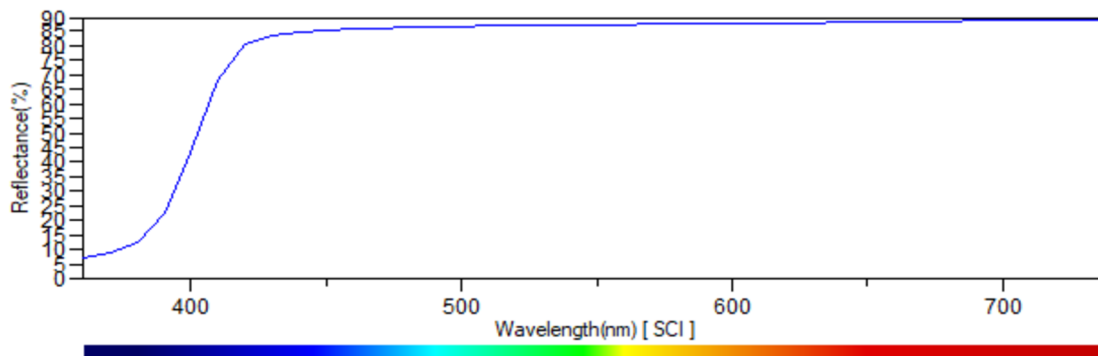
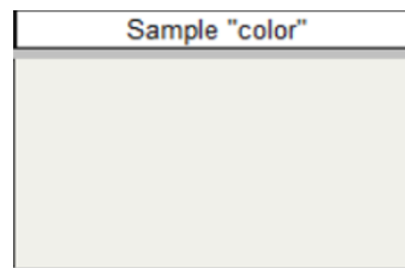
$a^* = -0,6$ – příspěvek zeleného odstínu je 0,6 jednotek, nebude se projevovat.

$b^* = 2,13$ – příspěvek žlutého odstínu je 2,13, je zanedbatelný, žlutost se nebude projevovat.

$C^* = 2,21$

$h = 105,79$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 36.



Obr. 36: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.5 Překážka 5

Název: ČSP

Barevná kombinace: červená, zlatá, bílá (viz Obr. 37)



Obr. 37: Překážka 5 (archiv autorky práce).

Červená

$L^* = 47,44$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 47,44, je téměř v polovině možných hodnot, je středně tmavá.

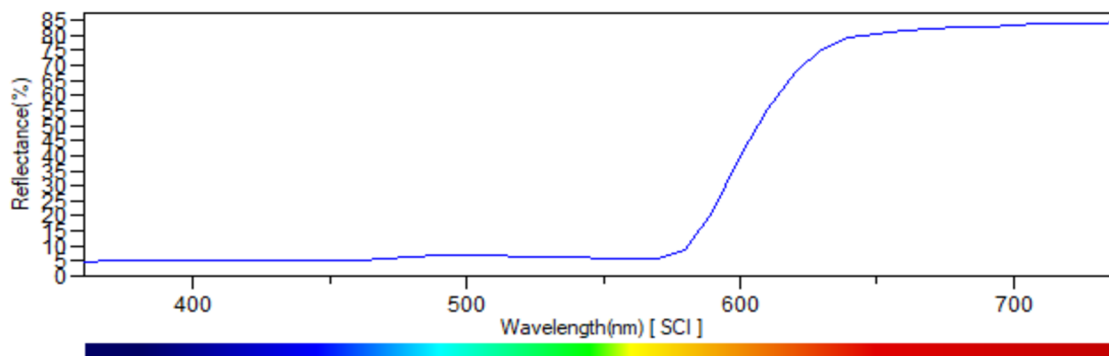
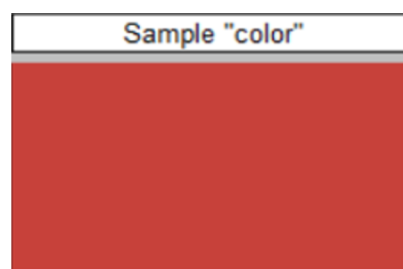
$a^* = 53,08$ – příspěvek červeného odstínu je 53,08 jednotek, červený odstín je velmi výrazný.

$b^* = 33,69$ – příspěvek žlutého odstínu je 33,69 jednotek, podíl žlutého odstínu v barvě je výrazný.

$C^* = 62,87$

$h = 32,41$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 38.



Obr. 38: Spektrální odraz červené barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Zlatá

$L^* = 71,19$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 71,19, je ve druhé třetině možných hodnot, je tedy spíše světlá.

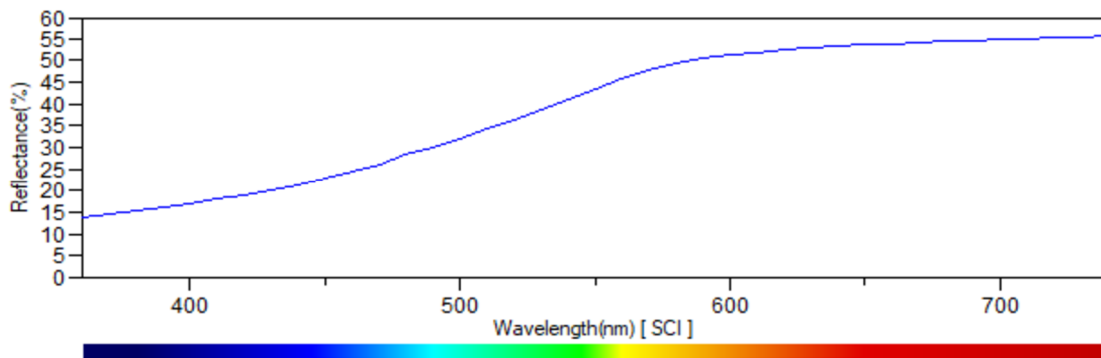
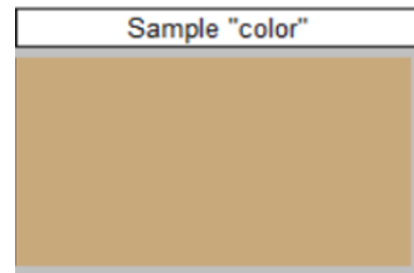
$a^* = 4,73$ – příspěvek červeného odstínu je 4,73 jednotek, je tedy velmi malý, červenost se nebude výrazně projevovat.

$b^* = 26,8$ – příspěvek žlutého odstínu je 26,8, je tedy poměrně výrazný.

$C^* = 27,22$

$h = 79,99$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 39.



Obr. 39: Spektrální odraz zlaté barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 95,99$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 95,99, je téměř v maximum možných hodnot, je velmi světlá.

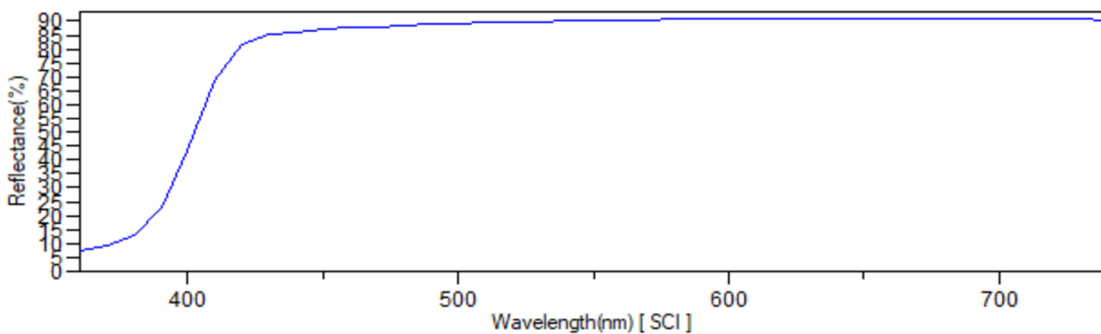
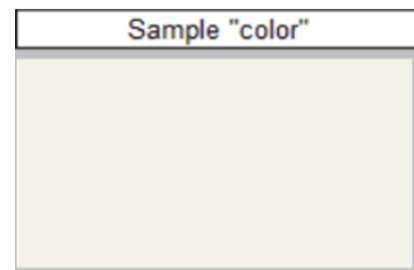
$a^* = -0,69$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,69 jednotek, nebude se projevovat.

$b^* = 2,93$ – příspěvek žlutého odstínu je 2,93, je velmi malý, žlutost se nebude projevovat.

$C^* = 3,01$

$h = 103,23$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 40.



Obr. 40: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.6 Překážka 6

Název: ČSP

Barva: červená (viz Obr. 41)



Obr. 41: Překážka 6 (archiv autorky práce).

Červená

$L^* = 46,57$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 46,57, je téměř v polovině možných hodnot, je středně tmavá.

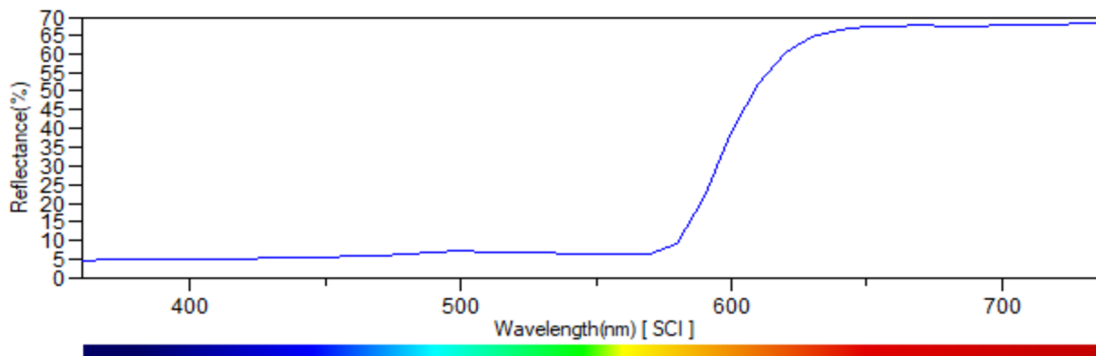
$a^* = 48,32$ – příspěvek červeného odstínu je 48,32 jednotek, červený odstín je velmi výrazný.

$b^* = 30,61$ – příspěvek žlutého odstínu je 30,61 jednotek, podíl žlutého odstínu v barvě je zřetelný.

$C^* = 57,2$

$h = 32,35$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 42.



Obr. 42: Spektrální odraz červené barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.7 Překážka 7

Název: ČSP

Barva: bílá (viz Obr. 43)



Obr. 43: Překážka 7 (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 94,02$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 94,02, je téměř v maximu možných hodnot, je velmi světlá.

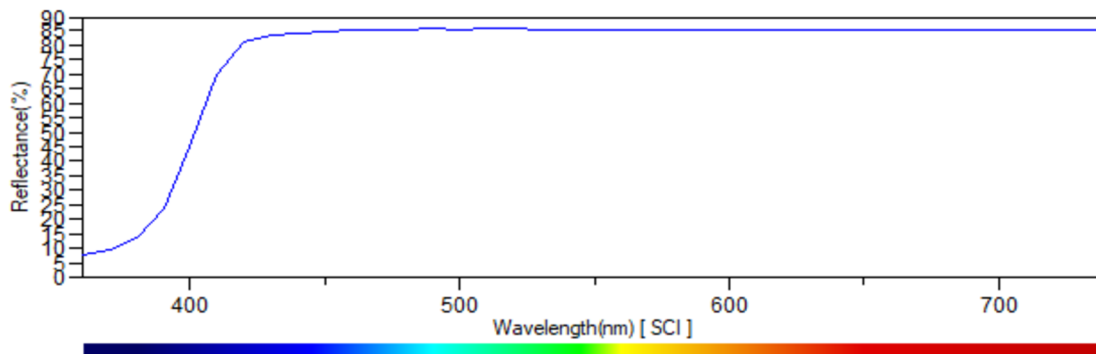
$a^* = -0,67$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,67 jednotek, nebude se projevovat.

$b^* = 1,15$ – příspěvek žlutého odstínu je 1,15, je velmi malý, žlutost se nebude projevovat.

$C^* = 1,33$

$h = 120,05$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 44.



Obr. 44: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.5.8 Překážka 8

Název: KRISMAR HORSETRUCKS

Barva: šedá (viz Obr. 45)



Obr. 45: Překážka 8 (archiv autorky práce).

Tmavě šedá

$L^* = 34,96$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 34,96 a je ve třetině možných hodnot, je tmavá.

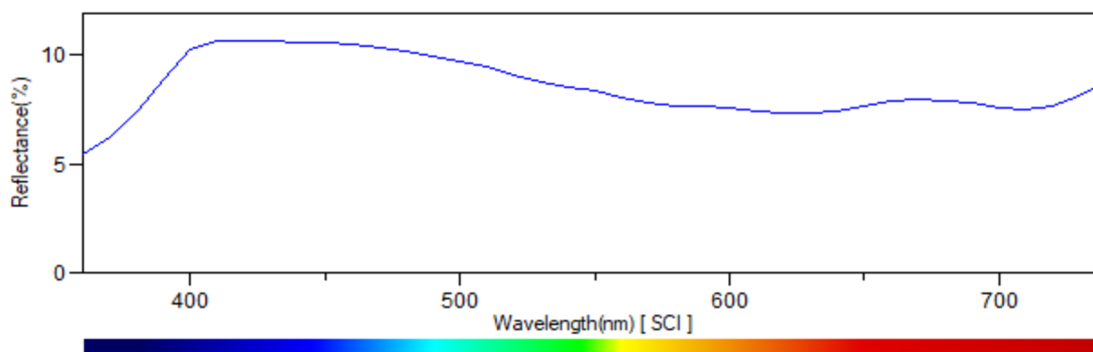
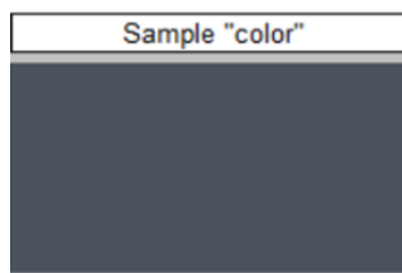
$a^* = -1,55$ – příspěvek zeleného odstínu je -1,55 jednotek, je velmi malý, zelenost se nebude projevovat.

$b^* = -6,39$ – příspěvek modrého odstínu je -6,39, je sice malý, ale může se lehce projevovat.

$C^* = 6,58$

$h = 256,36$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 46.



Obr. 46: Spektrální odraz tmavě šedé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.6 Vybrané překážky pro H2

4.6.1 Překážka 6

Název: ČSP

Barva: červená (viz Obr. 47)



Obr. 47: Překážka 6 (archiv autorky práce).

Červená

$L^* = 46,57$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 46,57, je téměř v polovině možných hodnot, je středně tmavá.

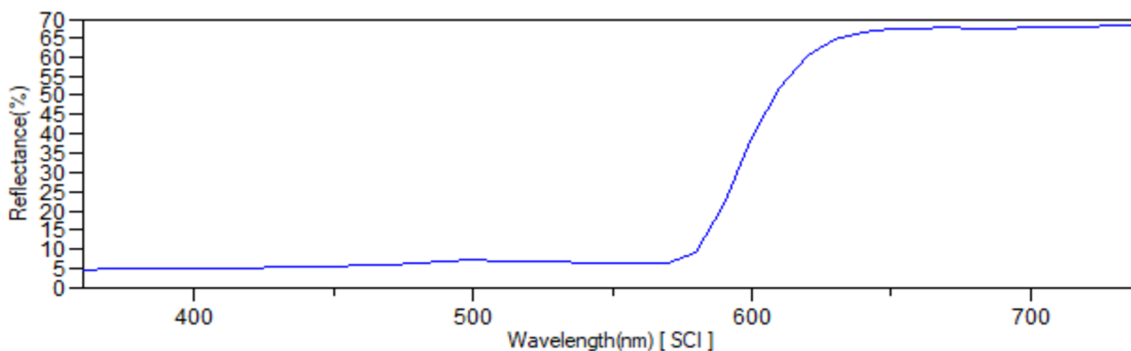
$a^* = 48,32$ – příspěvek červeného odstínu je 48,32 jednotek, červený odstín je velmi výrazný.

$b^* = 30,61$ – příspěvek žlutého odstínu je 30,61 jednotek, podíl žlutého odstínu v barvě je zřetelný.

$C^* = 57,2$

$h = 32,35$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 48.



Obr. 48: Spektrální odraz červené barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.6.2 Překážka 9

Název: VETOFLEX

Barevná kombinace: červená, černá, bílá (převažující červená) (viz Obr. 49)



Obr. 49: Překážka 9 (archiv autorky práce).

Červená

$L^* = 38,17$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 38,17, je spíše tmavá.

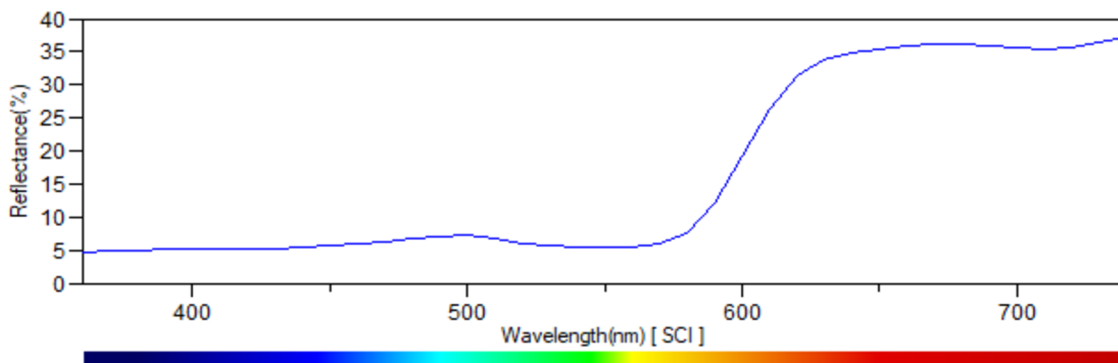
$a^* = 30,71$ – příspěvek červeného odstínu je 30,71 jednotek, červený odstín je výrazný.

$b^* = 15,74$ – příspěvek žlutého odstínu je 15,74 jednotek, podíl žlutého odstínu v barvě není tolik zřetelný.

$C^* = 34,51$

$h = 27,13$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 50.



Obr. 50: Spektrální odraz červené barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Černá

$L^* = 25,21$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 25,21, je v první třetině možných hodnot, je velmi tmavá.

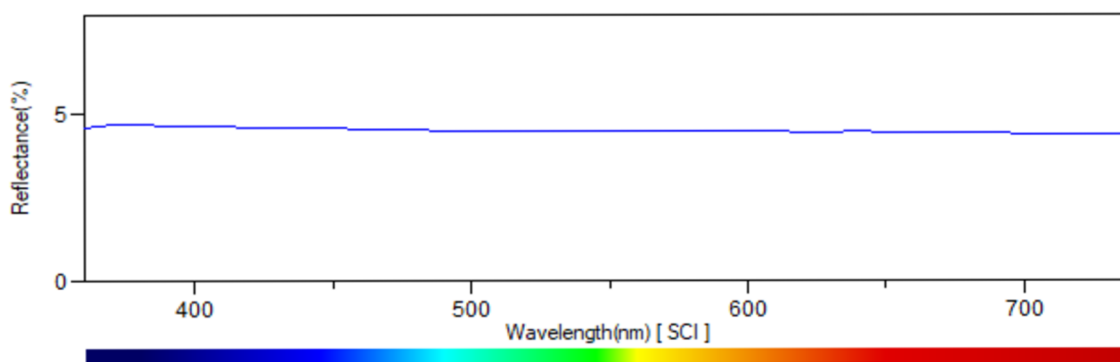
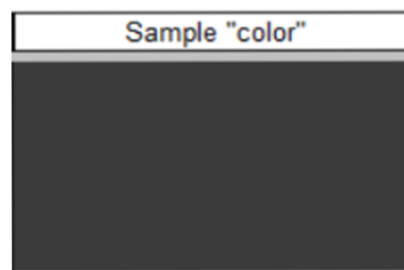
$a^* = 0$ – příspěvek červeného odstínu je 0, červenost se nebude projevovat.

$b^* = -0,38$ – příspěvek modrého odstínu je -0,38, je zanedbatelný, modrý odstín se nebude projevovat.

$C^* = 0,38$

$h = 269,26$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 51.



Obr. 51: Spektrální odraz černé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 91,93$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 91,93, je téměř v maximum možných hodnot, je velmi světlá.

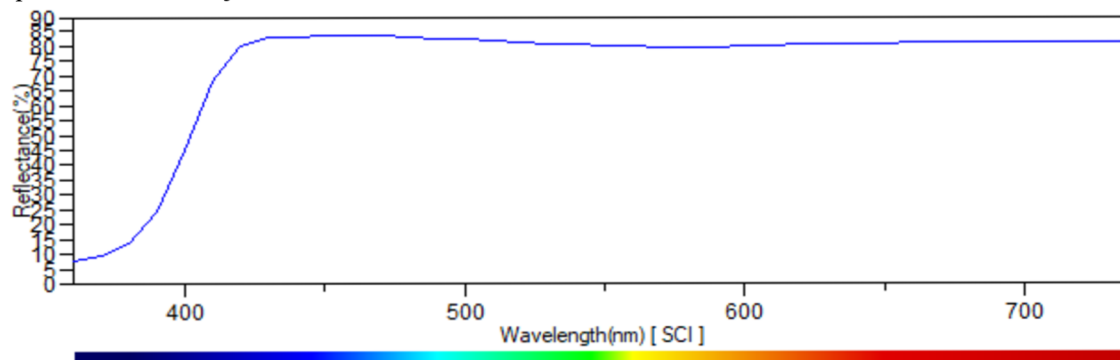
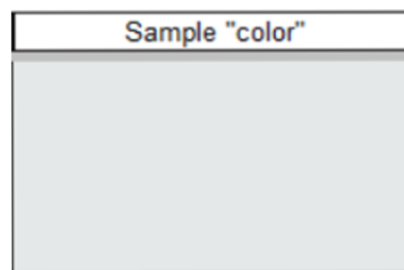
$a^* = -0,36$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,36 jednotek, nebude se projevovat.

$b^* = -1,26$ – příspěvek modrého odstínu je -1,26, je velmi malý, modrost se nebude projevovat.

$C^* = 1,31$

$h = 253,88$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 52.



Obr. 52: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.6.3 Překážka 1

Název: EQUESTRIANS

Barevná kombinace: modrá, zlatá, bílá (převažující modrá) (viz Obr. 53)



Obr. 53: Překážka 1 (archiv autorky práce).

Modrá

$L^* = 31,31$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 31,31 a je ve třetině možných hodnot, je tmavá.

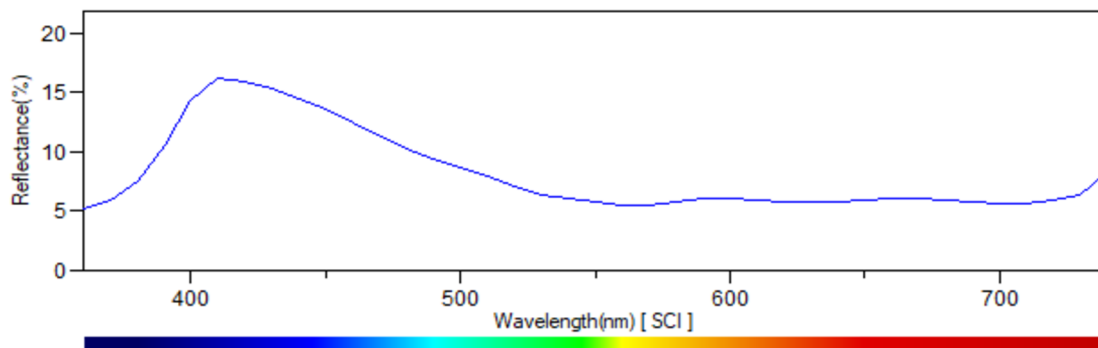
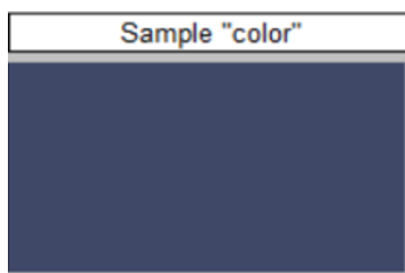
$a^* = 5,71$ – příspěvek červeného odstínu je 5,71 jednotek, je tedy velmi malý, červenost se nebude výrazně projevovat.

$b^* = -20,03$ – příspěvek modrého odstínu je -20,03, modrý odstín je výrazný.

$C^* = 20,83$

$h = 285,91$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 54.



Obr. 54: Spektrální odraz modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Zlatá

$L^* = 70,38$ – světlost daného předmětu v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 70,38 a je ve dvou třetinách možných hodnot, je spíše světlá.

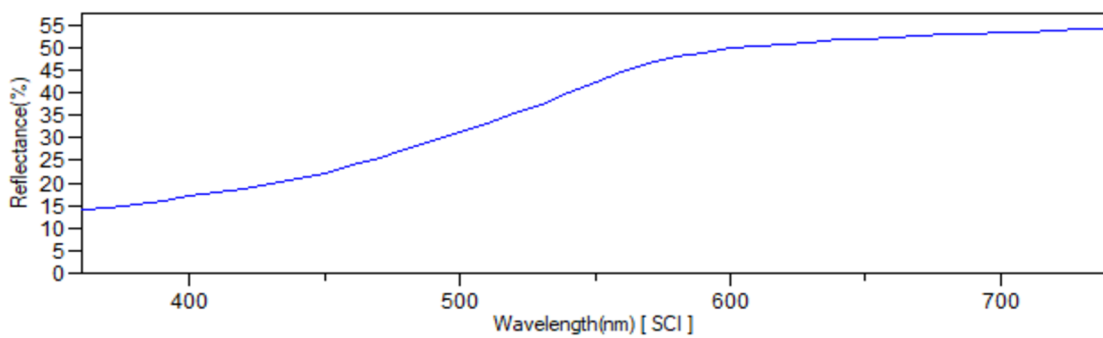
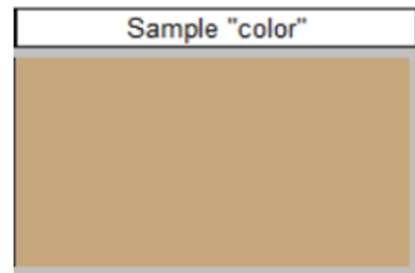
$a^* = 4,72$ – příspěvek červeného odstínu je 4,72 jednotek, je tedy velmi malý, červenost se u této barvy nebude výrazně projevovat.

$b^* = 26,23$ – příspěvek žlutého odstínu je 26,23, je tedy poměrně výrazný.

$C^* = 26,66$

$h = 79,8$.

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 55.



Obr. 55: Spektrální odraz zlaté barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 95,2$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 95,2 a je téměř v maximu možných hodnot, je velmi světlá.

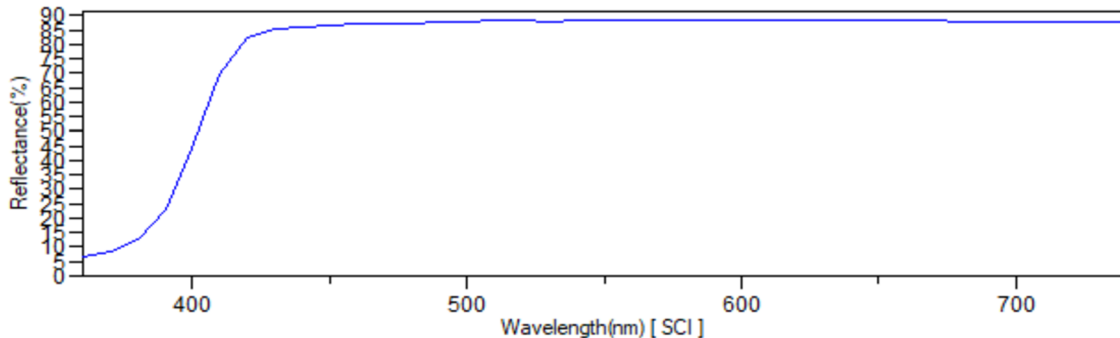
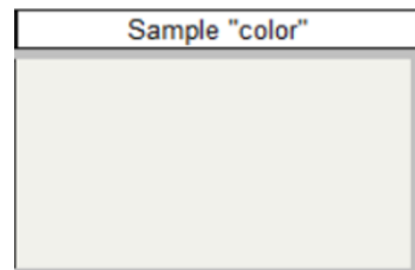
$a^* = -0,72$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,72 jednotek, je tedy velmi malý, nebude se projevovat.

$b^* = 1,9$ – příspěvek žlutého odstínu je 1,9, je tedy velmi malý, nebude se projevovat.

$C^* = 2,03$

$h = 110,74$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 56.



Obr. 56: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.6.4 Překážka 2

Název: ČJF

Barevná kombinace: tmavě modrá, světle modrá, bílá (převažující modrá) (viz Obr. 57)



Obr. 57: Překážka 2 (archiv autorky práce).

Tmavě modrá

$L^* = 34,15$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 34,15, je za třetinou možných hodnot, je spíše tmavá.

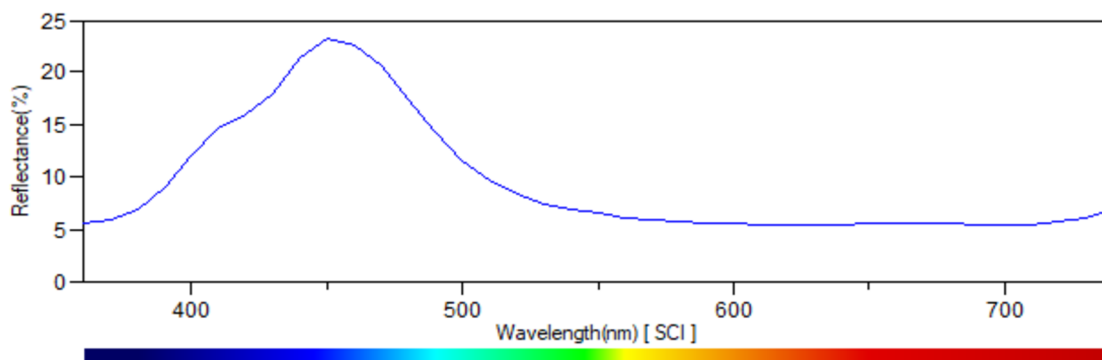
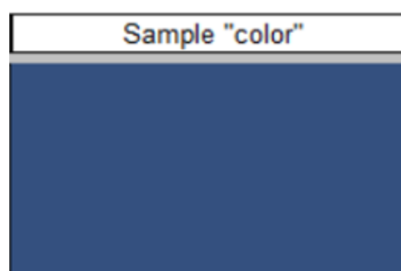
$a^* = 4,73$ – příspěvek červeného odstínu je 4,73 jednotek, je velmi malý, červenost se nebude projevovat.

$b^* = -30,15$ – příspěvek modrého odstínu je -30,15, modrý odstín je velmi výrazný.

$C^* = 30,52$

$h = 278,91$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 58.



Obr. 58: Spektrální odraz tmavě modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Světle modrá

$L^* = 55,93$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 55,93, je přibližně na polovině možných hodnot.

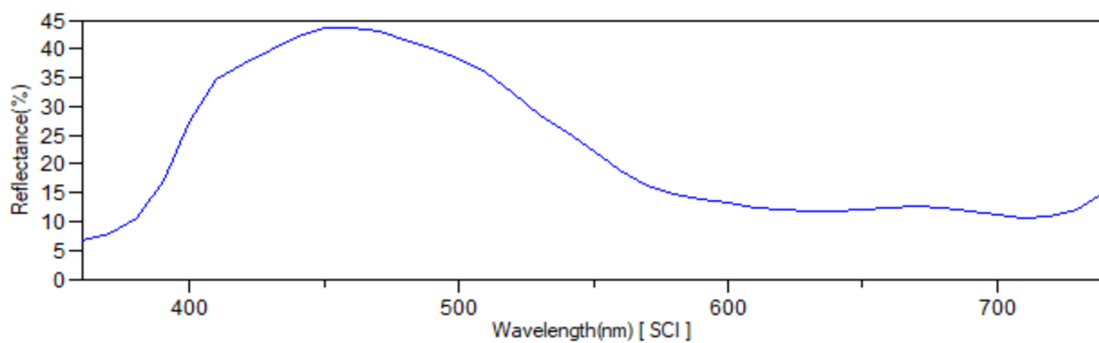
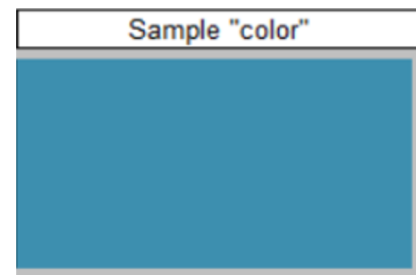
$a^* = -14,46$ – příspěvek zeleného odstínu je -14,46 jednotek, je malý, zelenost se spíše nebude projevovat.

$b^* = -25,02$ – příspěvek modrého odstínu je -25,02, modrý odstín je tedy velmi výrazný.

$C^* = 28,9$

$h = 239,98$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 59.



Obr. 59: Spektrální odraz světla modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 93,77$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 93,77, je ve třetí třetině možných hodnot, je velmi světlá.

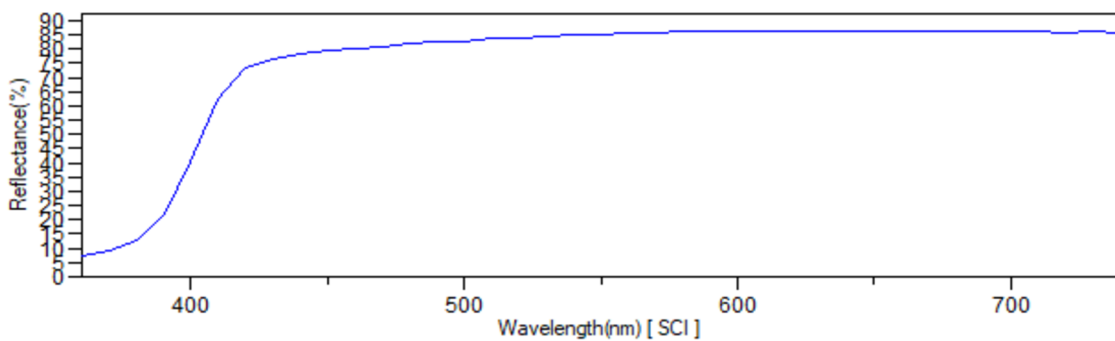
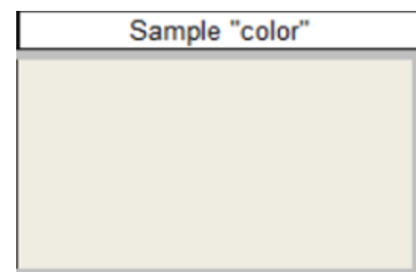
$a^* = -0,75$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,75 jednotek, je velmi malý, nebude se projevovat.

$b^* = 4,81$ – příspěvek žlutého odstínu je 4,81, je velmi malý, nebude se projevovat.

$C^* = 4,87$

$h = 98,88$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 60.



Obr. 60: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.6.5 Překážka 10

Název: BOHEMIA ENERGY

Barevná kombinace: žlutá, modrá, bílá (převažující žlutá) (viz Obr. 61)



Obr. 61: Překážka 10 (archiv autorky práce).

Žlutá

$L^* = 74,7$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 74,7 a je ve dvou třetinách možných hodnot, je spíše světlá.

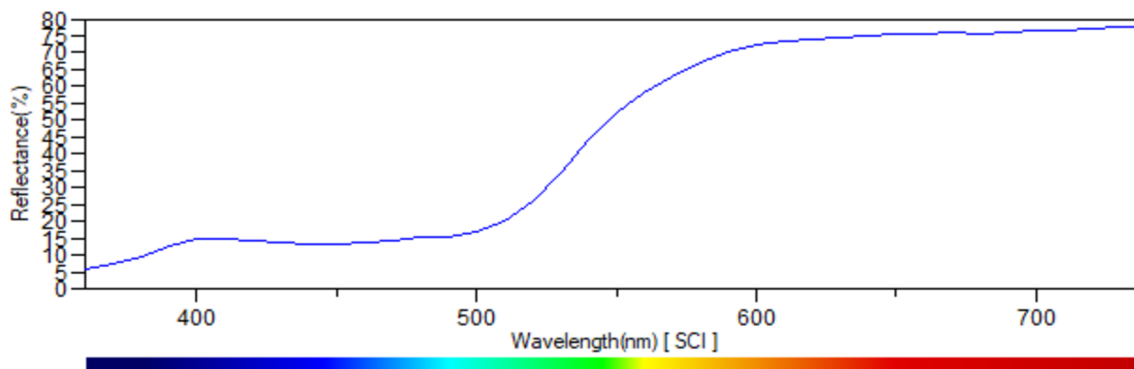
$a^* = 20,25$ – příspěvek červeného odstínu je 20,25 jednotek, podíl červeného odstínu v barvě je zřetelný.

$b^* = 52,56$ – příspěvek žlutého odstínu je 52,56, žlutý odstín je tedy velmi výrazný.

$C^* = 56,33$

$h = 68,93$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 62.



Obr. 62: Spektrální odraz žluté barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Modrá

$L^* = 39,86$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 39,86, je za třetinou možných hodnot, je spíše tmavá.

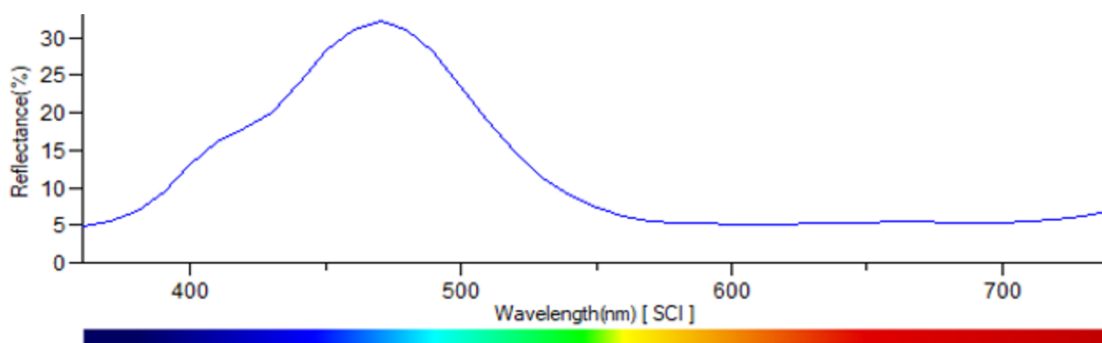
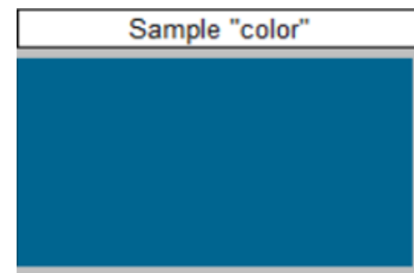
$a^* = -10,49$ – příspěvek zeleného odstínu je -10,49 jednotek, je malý, zelenost se spíše nebude projevovat.

$b^* = -31,86$ – příspěvek modrého odstínu je -31,86, modrý odstín je tedy velmi výrazný.

$C^* = 33,54$

$h = 251,78$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 63.



Obr. 63: Spektrální odraz modré barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

Bílá

$L^* = 93,59$ – světlost dané barvy v ose L^* byla vyhodnocena hodnotou 93,59 a je téměř v maximum možných hodnot, je velmi světlá.

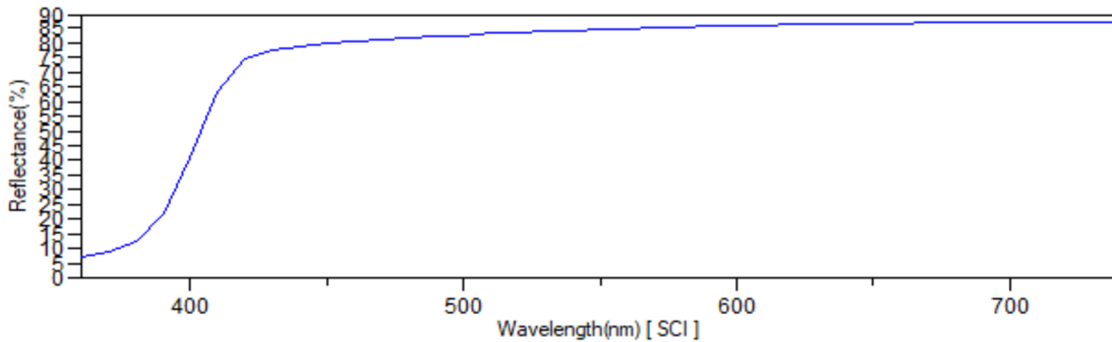
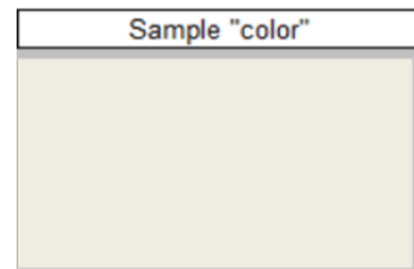
$a^* = -0,35$ – příspěvek zeleného odstínu je -0,35 jednotek, je velmi malý, nebude se projevovat.

$b^* = 4,15$ – příspěvek žlutého odstínu je 4,15, je velmi malý, nebude se projevovat.

$C^* = 4,17$

$h = 94,76$

Spektrální křivka je zobrazena na Obr. 64.



Obr. 64: Spektrální odraz bílé barvy v celé viditelné oblasti (archiv autorky práce).

4.7 Statistické vyhodnocení

Pro statistické vyhodnocení dat byl použit program Statistica 10. K ověření hypotéz byl u obou hypotéz použit vzhledem k charakteru vstupních dat dvouvýběrový Z-test. Ten na základě proporce binárního ukazatele určil rozdíl mezi dvěma skupinami, v našem případě sadami přeskoků přes překážky. Pro testování byla zvolena hladina statistické významnosti 5 %.

5 Výsledky

5.1 Výsledky pro H1

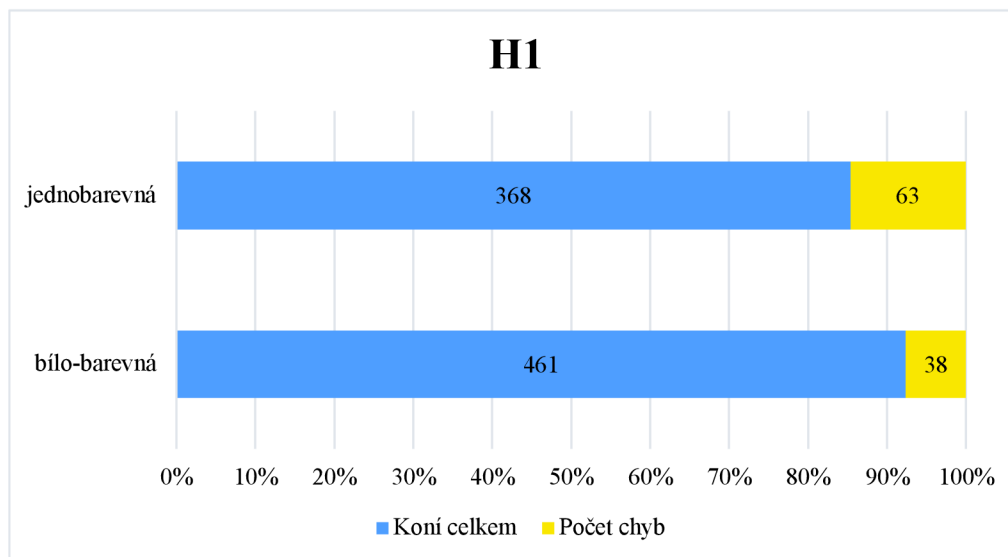
Pro zodpovězení Hypotézy 1 se experimentu zúčastnilo celkem 930 koní. Přes bílo-barevnou variantu překážek přeskočilo 499 koní a z toho 38 koní chybovalo, tj. 7,62 %. Přes jednobarevné překážky přeskočilo celkově 431 koní, a z toho se dopustilo chyby celkem 63 koní, tj. 14,6 % (viz Tab. 2).

Ze 38 chyb na bílo-barevné variantě překážky koně nejvíce chybovali na Překážce 1, kdy se chyby dopustilo 10,1 % koní. Druhá nejvyšší chybovost byla zaznamenána na Překážce 4, kde se koně dopustili chyby v 10 %. Na Překážce 2 koně chybovali v 8,2 %, na Překážce 3 pak v 4,9 % případů. Nejméně koně chybovali na Překážce 5, kdy se chyby dopustilo 1 % koní.

Na překážkách v celobarevné kombinaci bylo zaznamenáno celkem 63 chyb z celkového počtu 431 koní. Absolutně nejvíce koně chybovali na Překážce 8, kde se chyby dopustilo 19,3 % koní. Na Překážce 6 byly zaznamenány chyby v 10,3 % případů a na Překážce 7 pak v 10 % případů.

Tab. 2: Celková chybovost na překážkách v bílo-barevné a jednobarevné kombinaci.

	Koní celkem	Počet chyb	Chyby v %
bílo-barevná	499	38	7,62
jednobarevná	431	63	14,6



Obr. 65: Chybovost koní na bílo-barevných a jednobarevných překážkách.

Z grafu na Obr. 65 je dobře vidět, že podíl chyb u bílo-barevných překážek byl mnohem menší než podíl chyb u jednobarevných překážek. Z toho lze vyvozovat, že koně tyto překážky zvládají lépe.

H1 nulová: Koně chybují na skoku složeném z bariér v bílo-barevné kombinaci stejně jako na skoku z jednobarevných bariér.

H1 alternativní: Koně méně chybují na skoku složeném z bariér v bílo-barevné kombinaci než na skoku z jednobarevných bariér.

Tab. 3: Výsledky dvouvýběrového Z-testu pro H1.

z hodnota	-3,88
p hodnota	0,0001
přijímáme alternativní	ano

Výsledná p hodnota $< 0,05$ tedy nižší než zvolená hladina statistické významnosti. To nám dovoluje s nízkým rizikem omylu zamítnout nulovou hypotézu a přiklonit se k alternativní (viz Tab 3).

Závěrem tedy je, že koně chybují statisticky významně méně na skoku složeném z bariér v bílo-barevné kombinaci než na skoku z jednobarevných bariér.

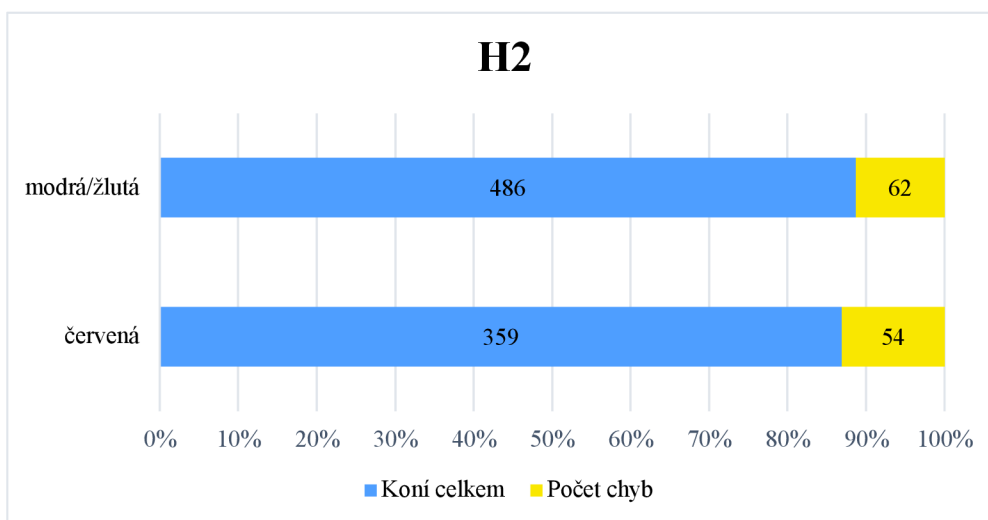
5.2 Výsledky pro H2

Pro ověření H2 bylo pozorováno celkem 961 koní. Přes překážky s převažujícími odstíny červené barvy přeskočilo celkem 413 koní a z toho se 54 koní dopustilo chyby, tj. 13,1 %. Překážky s převažujícími modrými nebo žlutými odstíny přeskočilo celkově 548 koní, z čehož chybovalo celkem 62 koní, tj. 11,3 % (viz Tab. 4).

Na překážkách s převažujícími odstíny červené barvy bylo zaznamenáno celkem 54 chyb. Celkem byly pozorovány dvě překážky. Na Překážce 9 se koně dopustili chyby v 15,8 % a na Překážce 6 v 10,3 % případů. Překážky s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy byly pro experiment zvoleny celkem tři. Nejvíce koně chybovali na Překážce 10 s odstínem žluté barvy a to v 13 % případů. Na překážkách v modrých odstínech bylo s 10,1 % nejvíce chyb zaznamenáno na Překážce 1, a následně na Překážce 2 s 8,2 %.

Tab. 4: Celková chybovost na překážkách s převažující červenou, modrou a žlutou.

	Koní celkem	Počet chyb	Chyby v %
červená	413	54	13,1
modrá/žlutá	548	62	11,3



Obr. 66: Chybovost koní na překážkách s převažujícími odstíny červené, modré a žluté barvy.

Z grafu na Obr. 66 není rozdíl mezi oběma sadami přeskoků příliš patrný.

H2 nulová: Koně chybují na skoku s převažujícími odstíny červené barvy stejně jako na skoku s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy.

H2 alternativní: Koně více chybují na skoku s převažujícími odstíny červené barvy, než na skoku s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy.

Tab. 5: Výsledky dvouvýběrového Z-testu pro H2.

z hodnota	0,83
p hodnota	0,40654
přijímáme alternativní	ne

Výsledná p hodnota $>0,05$ tedy přesahuje zvolenou hladinu statistické významnosti. To nám nedovoluje zamítnout nulovou hypotézu, je potřeba ji přijmout (viz Tab 5).

Závěrem tedy je, že koně chybují statisticky stejně na skoku s převažujícími odstíny červené barvy, než na skoku s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy.

6 Diskuze

Cílem této diplomové práce bylo na základě dvou hypotéz zjistit, zda má barevnost překážek vliv na jejich úspěšné překonání a také zda různé barvy a jejich kombinace hrají v pozornosti koní významnější roli. Sběr dat probíhal během srpna a září v roce 2021 na čtyřech parkurových závodech v rámci Českého skokového poháru, a to na střední úrovni obtížnosti výšky překážek (125–130 cm). Během tohoto seriálu jsou většinou používány totožné překážky, což umožnilo nasbírání dostatečného množství dat k této diplomové práci. Barevnost překážek byla měřena spektrofotometrem CM-2500d značky Konica Minolta, který změřil konkrétní barevnost na principu reflektance viditelného spektra v rozsahu 360 do 740nm zkoumaných barev. Data všech naměřených barev byla ze spektrofotometru posléze vyhodnocena softwarem Spectra Magic NX. Za chybu bylo považováno shození bariéry a ve vybraných případech i odmítnutí poslušnosti, tj. zastavení před skokem, nebo nadměrná obava z překážky. Chybovost koní na vybraných překážkách byla během parkurových soutěží zaznamenávána a následně statisticky vyhodnocena pomocí dvouvýběrového Z-testu se zvolenou hladinou statistické významnosti 5 %. Pro zodpovězení H1 byly zvoleny překážky v bílo-barevné a celobarevné variantě, pro H2 pak překážky s převažujícími odstíny červené, modré a žluté barvy.

Pozorované překážky byly nejčastěji kolmé skoky a oxery stojící samostatně, v distanci od pěti do šesti cvalových skoků. Ve dvou případech byla hodnocena první překážka kombinace, konkrétně dvojskoku, kdy jednou se jednalo o kolmý skok a jednou o oxe. První překážka z kombinace byla zvolena proto, aby vůči ostatním pozorovaným překážkám stojícím samostatně nedocházelo ke znevýhodnění experimentu. Za celou dobu pozorování bylo hodnoceno jedno trojbradlí.

Přestože byly pro experimenty zvoleny areály s podobným povrchem a koně skákali přes stejné překážky, je nutné podotknout, že vliv na chybovost koní na překážkách může mít více faktorů. Zejména je rozhodující zkušenost koně i jezdce, protože právě ta hraje zásadní roli v psychickém rozpoložení během soutěže, což má i zásadní vliv na celkový výsledek. Mladého nebo nezkušeného koně rozruší okolní prostředí a celkově rušná atmosféra závodů jistě více než koně, který se v závodním prostředí pohybuje již řadu let. Nezkušený kůň může být proto méně soustředěný, může být více reaktivní nebo naopak zatuhlejší než ve svém domovském prostředí, které důvěrně zná. Takoví koně reagují nejen na různobarevné překážky, květiny a další doplňky nacházející se uvnitř kolbiště, ale i na předměty a ruch odehrávající se za jeho hrazením. Svou roli u mladého koně jistě hraje i temperament. Aby se v tomto experimentu co nejvíce předešlo těmto faktorům ovlivňujícím výkon koně, byl zvolen střední stupeň obtížnosti výšky překážek (125–130 cm), jelikož se předpokládá, že na této úrovni se vyskytují dostatečně zkušené koně, kteří se již dokáží plně soustředit na svůj výkon, a zároveň výška překážek není tak nízká, aby ji nerespektovali, ani tak vysoká, aby pro ně byla příliš náročná.

Podobně jako u koně hraje svou roli i zkušenost jezdce, která stoupá společně s kvalitním tréninkem a s počtem odjetých parkurových soutěží. Vliv jezdce na chyby na překážkách spočívá zejména v tom, pokud špatně odhadne dojezdovou vzdálenost k překážce. Může tak nastat situace, kdy je kůň nucen odskočit buď velmi z blízka nebo naopak z velké dálky, což sebou nese i riziko shození nebo poboření překážky. Stejně jako u koní se na střední úrovni

vyskytují většinou jezdci, kteří tuto dovednost již dobře ovládají a nedochází tak k chybám na překážkách způsobených špatným lidským úsudkem. Za poslední roky se úroveň jezdeckých dovedností jezdců v České republice zvýšila a během pozorování soutěží pro sběr dat k této diplomové práci se nestalo, že by se jezdec v nájezdu na překážku zásadně zmylil a neodhadl vzdálenost ideálního odskoku.

Dalším faktorem, který může ovlivnit chybovost na překážkách, jsou světelné podmínky prostředí. Společně s klesající intenzitou světla se mění i vnímání barevných odstínů. Z tohoto důvodu bylo pro sběr dat k této diplomové práci využito časové rozmezí od 10 do 15 hodin středoevropského letního času, kdy úroveň světla nebyla tolik kolísavá. Pouze ve Zduchovicích bylo světlo vlivem čisté oblohy jasnější, ale na Ptýrově, v Hořovicích i Martinicích bylo spíše pod mrakem a úroveň světla byla z laického pohledu vyrovnaná. Určitě by bylo zajímavé vidět porovnání chybovosti koní na totožných překážkách měřených za přirozených a za umělých světelných podmínek, což by mohl být náznak pro další experiment.

Umístění překážky na trati parkuru může taktéž ovlivňovat chybovost koní, což potvrdila i Stachurska et al. (2002). Pro experiment k této práci byly zvoleny převážně překážky stojící v nájezdu samostatně, tj. v nenaměřených distancích pro určitý počet cvalových skoků. Bylo tak určeno zejména z toho důvodu, že počet cvalových skoků mezi dvěma skoky v distanci se může lehce lišit na základě prostornosti cvalového skoku každého koně individuálně, nebo i úhlem nájezdu a místem odskoku na první překážce distance. Bylo tedy spoléháno na to, že nebude docházet k pochybení ze strany jezdce a výsledek tak bude mít větší vypovídající hodnotu. Mezi jezdeckými odborníky by toto téma jistě vedlo k diskuzi a bylo by namítáno, že právě druhá překážka v distanci pro určitý počet cvalových skoků může mít vypovídající hodnotu větší a koně by spíš projeвили vliv barevnosti překážky. Otevírá se tak prostor pro budoucí experimenty, kde by mohly být hodnoceny barevnosti překážek např. právě u druhého skoku distanční vzdálenosti. Otázkou však je, zda by bylo možné takový experiment uskutečnit na parkurových závodech.

V neposlední řadě může chybovost ovlivnit i typ překážky. V tomto experimentu byly hodnoceny různé typy překážek, celkem 12 kolmých skoků, 16 oxeřů a 1 trojbradlí. Tato nejednotnost typů překážek byla jistě nedostatkem tohoto experimentu. V budoucích experimentech by proto bylo zajímavé přiřadit typy překážek k různým barevnostem. Ovšem takový experiment může být z pohledu realizovatelnosti velmi náročný, protože stavitelé parkuru se s každou soutěží snaží typy překážek obměňovat.

Co se samotné barevnosti týče, v dřívějších dobách se pro stavbu trati parkuru používaly překážky spíše přírodního vzhledu (např. obohacené o různé proutky atd.) nebo jednoduše natřené bariéry ve střídavých svislých pruzích kontrastních i méně kontrastních barev. Naproti tomu dnes, kdy je rozvoj parkurového sportu na vzestupu a celosvětový zájem láká nejen koňářskou společnost, ale i širokou veřejnost, se klade důraz na celkový vzhled překážek propagující sponzory nebo společnosti zainteresované do jezdeckého sportu. Vzniká tak ohromné množství barevných kombinací, odstínů, typů a tvarů nátěrů, tvarů profilů, blend a nápisů, které musí koně absolvovat. Jako vrcholný příklad této „překážkové kreativity“ mohou být uvedeny Letní olympijské hry 2020 v Tokiu, které tvůrci překážek promysleli do sebemenších detailů. Příklady překážek z těchto olympijských her jsou uvedeny v Příloze 6. Je pravděpodobné, že vývoj parkurových překážek půjde dál směrem dopředu, a nejen olympijským koním tak přibude spousta nových nástrah v barevnosti i tvarech překážek, se

kterými se na parkurových závodech budou setkávat. I z tohoto důvodu by bylo dobré dál prohlubovat znalosti o koňském zraku a jeho vnímání různých barevných odstínů, protože právě skokoví koně se ze všech jezdeckých disciplín v parkurovém prostředí setkávají s variabilitou barev nejvíce.

6.1.1 Diskuze pro H1

Pro zodpovězení H1 se experimentu zúčastnilo celkem 930 koní. Přes bílo-barevnou variantu překážek přeskočilo celkem 499 koní a z toho 7,62 % koní chybovalo. Přes jednobarevné překážky přeskočilo celkově 431 koní, a z toho se dopustilo chyby celkem 14,6 % koní. Na základě statistického zpracování se zvolenou hladinou statistické významnosti 5 % bylo potvrzeno, že koně na překážkách v bílo-barevné kombinaci chybují méně než na překážkách jednobarevných. H1 byla tedy přijata.

V dřívějším experimentu Stachursky et al. (2002) bylo taktéž potvrzeno, že koně překážky dvou kontrastních barev skáčou bez chyby častěji než překážky jednobarevné, a to jak světlé, tak tmavé. Je tedy zřejmé, že překážky v bílo-barevné variantě jsou pro koně lépe detekovatelné než překážky celobarevné. Paulová a Stevens (2019) sice testovali vnímání barev a její vliv na délku skoku u dostihových koní, nicméně i oni potvrdili, že přes bílou barvu překážky koně měli oproti dalším zkoumaným barvám nejdelsí fázi letu. Stachurska et al. (2002) navíc uvedli, že celobílá překážka může opticky nadhodnocovat velikost skoku. Přestože byla v tomto experimentu Překážka 7 s celobílým vrchním prknem vyhodnocována mezi jednobarevnými, na kterých koně chybovali častěji než na bílo-barevných, je nutné říci, že právě tato překážka inkasovala chyb nejmeně.

Nejvíce chyb na bílo-barevné variantě překážky bylo zaznamenáno na Překážce 1 v modro-zlato-bílé kombinaci barev, kdy se chyby dopustilo 10,1 % koní. Chybovost na Překážce 1 mohla být ovlivněna i pořadím překážky v parkuru nebo typem skoku. Největší procento chyb na této překážce bylo zaznamenáno v Hořovicích během soutěže S**, kdy byla jako kolmý skok prvním skokem v kombinaci. Z empirického pozorování, je chybovost koní na první překážce kombinace velmi častý jev, což ve své studii potvrdila i Stachurska et al. (2002). Koně se na odskoku první překážky kombinace mohou zahledět na druhou překážku a ztratit tak pozornost během překonávání překážky první. Mimo jiné, kromě shození bariér, bylo na této překážce z celkového počtu chyb u dvou koní zaznamenáno i odmítnutí poslušnosti. Tyto vedlejší faktory mohly ovlivnit celkovou chybovost na této překážce. Z hlediska barevnosti je zajímavé, že zrovna na této překážce koně hodně chybovali. Dichromatické vidění by koním dle Carroll et al. (2001) mělo odstíny modré i žluté barvy umožnit vnímat, jelikož dle této studie jsou koně vnímaví na vlnové délky od 428 nm do 539 nm. Toto rozpětí by mělo umožňovat vidět barvy v nepřetržitém rozsahu od modré po žlutou (Roth et al. 2008). Vrchol spektrální křivky modrého odstínu této překážky je přibližně okolo 410 nm. Nelze tedy jistě říci, že koně tento odstín opravdu vnímají modře nebo v nějaké achromatické podobě. Zlatou barvu této překážky spektrofotometr vyhodnotil jako odstín béžové. Nelze proto ani s předpokladem odhadnout, jak koně vnímají metalické odstíny barev, což pravděpodobně otevírá prostor pro budoucí studie. Světlost bílé barvy této překážky byla vyhodnocena hodnotou 95,2, což je téměř na maximum možných hodnot. Na základě výše zmíněných studií je evidentní, že koně bílou barvu vnímají spolehlivě.

Druhá nejvyšší chybovost byla zaznamenána na Překážce 4 v černo-bílé kombinaci barev, kde se koně dopustili chyby v 10 %. Na této překážce byly veškeré chyby inkasovány, když byla na Ptýrově v soutěži S** jako kolmý skok poslední překážkou parkuru. V předchozí soutěži stupně S* byl hodnocen oxer, na kterém v této barevné variantě překážky naopak koně nechybovali vůbec. Světlost bílé barvy této překážky byla vyhodnocena jako velmi světlá s hodnotou 91,63, což je sice méně než u Překážky 1, ovšem z pohledu světlosti barvy je to rozdíl minimální. Naopak světlost černé barvy byla s hodnotou 24,72 vyhodnocena jako velmi tmavá.

Na Překážce 2 s kombinací tmavě a světle modré barvy s bílou koně chybovali v 8,2 %, což mohlo být taktéž ovlivněno faktem, že tato překážka byla ve Zduchovicích posledním skokem parkuru. V obou případech mohli být koně již unavení nebo se mohl projevit i psychologický faktor jezdce. Spektrální křivka tmavě modrého odstínu měla vrchol křivky okolo 450 nm, u světle modrého odstínu to bylo taktéž 450 nm. Oba tyto modré odstíny spektrofotometr vyhodnotil jako velmi výrazné a na základě porovnání s rozmezím vnímání vlnových délek koně by měly být koňmi vnímány skutečně modře. Světlost bílé barvy této překážky byla vyhodnocena jako velmi světlá.

Na Překážce 3 v zeleno-šedo-bílé kombinaci barev koně chybovali v 4,9 % případů. Odraz tmavě zeleného odstínu byl na spektrální křivce s vrcholem na 520 nm, světle zelený odstín pak na 540 nm, který je lehce za hranicí vnímaného spektra barev koňmi dle Carroll et al (2001). To však nemusí nutně znamenat, že s překročením této hranice koně již vidí achromaticky, jelikož dle Millera & Murphyho (2016) totiž závisí nejen na spektrálním složení barev, ale i na rozmístění fotoreceptorů na sítnici oka a jejich citlivosti pro konkrétní vlnové délky, což se může u každého jedince lišit. Oba odstíny zelené byly spíše výrazné. Šedá barva této překážky má vrchol své spektrální křivky na 420 nm, což je za okrajem vnímaného spektra dichromatů. U dichromatů se barvy ze dvou konců spektra smíchají a vzniká buď achromatická (bílá nebo šedá) nebo desaturovaná verze jednoho ze dvou základních odstínů dichromatického vidění, tj. pastelově modrá nebo pastelově žlutá (Carroll et al. 2001). Je tedy otázkou, jaký je finální vjem šedé barvy. Z pohledu trichomatického vnímání barev by se s přihlédnutím na nízkou chybovost na této překážce dalo předpokládat, že se bude jednat spíše o achromatickou verzi, jelikož tato překážka koním nepůsobila větší obtíže, např. že by na ní nadměrně koukali. Nicméně nevíme, jak je finální vjem šedé barvy v mozku zpracováván, je proto možné, že koně šedou vidí pastelově jak uvádí Carroll et al. (2001), a právě to mohlo být důvodem nízkého procenta chybovosti na této překážce.

Nejméně koně chybovali na červeno-zlato-bílé Překážce 5, kdy se chyby dopustilo 1 % koní. Fakt, že na Překážce 5 chyboval pouze jeden kůň mohl ovlivnit i profil ve tvaru viaduktu s průřezy půlkruhů, jenž se pod překážkou nacházel nebo poměrně značná část zastoupení bílé barvy po stranách bariér této překážky. Spektrální křivka červené barvy na této překážce měla vrchol na 640 nm, což je daleko za hranicí vnímaného spektrálního rozhraní koňmi. Dle Murphyho et al. (2009) koně červenou barvu nedokážou rozlišovat. To ovšem neznamená, že ji nevidí vůbec. Červenou barvu takovou, jakou ji vidí člověk kůň pravděpodobně vnímá achromaticky (viz Obr. 13) (Carroll et al. 2001). Zlatá barva této překážky byla opět metalická podobně jako u Překážky 1, nelze proto ani odhadnout, jak jsou metalické barvy koňmi vnímány. Světlost bílé barvy byla v případě této překážky 95,99 jednotek, bílá barva tedy byla velmi světlá.

Na překážkách v celobarevné kombinaci bylo zaznamenáno celkem 14,6 % chyb z celkového počtu 431 koní. Absolutně nejvíce ze všech překážek koně chybovali na Překážce 8 v tmavě šedém odstínu, kde se chyby dopustilo 19,3 % koní. Z empirického hlediska by se dalo předpokládat, že reklamní deska s nápisem KRISMAR koně naopak zpozorní, ovšem tento předpoklad byl tímto experimentem vyvrácen. Vliv celobarevně šedé překážky na chybovost byl enormní. Z experimentu lze vyvozovat, že tmavě šedá barva v celobarevné variantě překážky koním působí obtíže. Studie Stachursky et al. (2002) uvádí, že jednobarevný skok v tmavém odstínu opticky podhodnocuje velikost překážky, což se s ohledem na vysokou chybovost tímto experimentem taktéž potvrdilo. Spektrální křivka odstínu této tmavě šedé překážky měla svůj vrchol ve 410 nm, což je opět za hranici spektrálního vnímání barev koňmi. Vysoká chybovost na této překážce mohla být ovlivněna i případným achromatickým nebo naopak desaturovaným vnímáním šedé barvy.

Na Překážce 6 v červeném odstínu bariéry byly zaznamenány chyby v 10,3 % případů. Poměrně vysoké procento chybovosti na této překážce v červeném odstínu mohl způsobit samotný červený odstín barvy, který je koňmi vnímán achromaticky. Vrchol spektrální křivky této barvy byl na 610 nm a červený odstín byl velmi výrazný.

Na Překážce 7 v bílé barvě horní bariéry koně chybovali v 10 %, což bylo zřejmě s ohledem na bílou barvu nejméně z celobarevných variant překážek. Jak již bylo diskutováno, bílá barva může nadhodnocovat velikost překážky, zřejmě i to mohl být důvod, proč ze zvolených celobarevných překážek bylo právě na této nejméně chybováno. Světlost této překážky byla 94,02 jednotek, byla tedy velmi světlá.

V tomto experimentu bylo zjištěno a potvrzeno, že jednobarevné varianty překážek jsou pro koně na skákání obtížnější než bílo-barevné varianty překážek. Zároveň lze konstatovat, že překážky v zelených a červených odstínech v kombinaci s bílou koním dělaly nejmenší obtíže, což potvrdila i studie Stachursky et al. (2002). Naopak největší obtíže koním působila celobarevná překážka v tmavě šedém odstínu.

6.1.2 Diskuze pro H2

K ověření Hypotézy 2 bylo pozorováno celkem 961 koní. Byly zvoleny dvě překážky s převažujícími odstíny červené barvy, dvě s odstíny modré barvy a jedna s převažujícím odstínem žluté barvy. Přes překážky v odstínech červené barvy přeskočilo celkem 413 koní a z toho se 13,1 % koní dopustilo chyby. Překážky s převažujícími modrými nebo žlutými odstíny přeskočilo celkově 548 koní, z čehož chybovalo 11,3 % koní. Po statistickém zpracování a se zvolenou 5% hladinou statistické významnosti byla Hypotéza 2 v tomto experimentu zamítnuta.

Největší procento chyb inkasovala Překážka 9 se širokým pruhem tmavě červeného odstínu uprostřed bariér, kde koně chybovali v 15,8 % případů. Spektrální odezva odstínu této barvy byla 620 nm a jedná se o spíše tmavší barvu s výrazným červeným odstínem. Vysokou chybovost na této překážce mohl ovlivnit i fakt, že krajní konce bariér byly v odstínu černé barvy. Část bariér mezi tmavě červenou a černou sice byla oddělena úzkým bílým pruhem, ovšem převažující kombinace tmavě červené na středu bariér spolu s černými kraji mohly způsobit podhodnocený efekt výšky překážky dvou tmavých odstínů tak, jak uvádí Stachurska

et al. (2002). Dle této starší studie koně častěji chybovali i na málo kontrastních kombinacích barev překážek, což u překážky 9 mohlo mít podobný efekt. Zároveň mohl být podobně jako u Překážky 6 projeven faktor achromatického vnímání červené barvy, kdy nelze spolehlivě říci, jak výrazně a v jakém odstínu ji kůň doopravdy vnímá.

Do tohoto experimentu byla rovněž zahrnuta Překážka 6 ve výrazném červeném odstínu, která již byla diskutována výše. Koně na ní chybovali méně než na Překážce 9, celkem v 10,3 % případech.

Jako protiklad převažujícím červeným odstínům překážek byly v H2 zvoleny odstíny modré a žluté barvy, jelikož právě ty by, na rozdíl od červené barvy, měly být dle dosavadních výzkumů pro koně dobře rozlišitelné, protože koně vidí v nepřetržitém rozsahu od modré po žlutou v rámci viditelného spektra barev (Roth et al. 2008).

Největší procento chyb bylo s 13 % zaznamenáno na Překážce 10 ve žluto-modro-bílé kombinaci. Zastoupení žluté barvy bylo podobně jako u Překážky 9 na bariérách umístěno v širokém pruhu na středě, což je zároveň i místo, na které jezdec koně navádí a přes které kůň skáče. Tato překážka byla během pozorování dvakrát součástí kombinace, s tím, že hodnocen byl vždy pouze první skok z kombinace, aby nedocházelo ke znevýhodňování experimentu oproti samostatně stojícím skokům. Vrchol spektrální křivky tohoto žlutého odstínu byl 590 nm, což je již za hranicí spektrálního vnímání koní. Tento odstín byl velmi výrazný a obsahoval poměrně zřetelný příspěvek červené barvy. Z tohoto důvodu mohl působit i naoranžovělým dojmem. Dle Murphyho et al. (2009) koně podobně jako červenou barvu nedokáží rozlišovat ani oranžovou. To ve svém výzkumu u dostihových koní potvrdili i Paulová & Stevens (2019). Důvod vysoké chybovosti na této překážce proto mohlo být i achromatické vnímání tohoto konkrétního odstínu. Odstín modré barvy na této překážce měl vrchol spektrální křivky na 470 nm, měl by být tedy koňmi detekovatelný.

Dalšími zvolenými překážkami pro H2 byly Překážka 1 a Překážka 2. Chybovost na Překážce 1 byla 10,1 % a na Překážce 2 celkem 8,2 %. Obě překážky již byly diskutovány.

Závěrem lze konstatovat, že ze statistického hlediska byla chybovost koní na překážkách s převažujícími odstíny červené barvy vůči převažujícím odstínům modré a žluté barvy vyrovnaná. Procento chyb na všech třech zkoumaných odstínech v rámci tohoto experimentu pro H2 bylo vyvážené.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda barevnost překážek ovlivňuje jejich úspěšné překonání a také zda různé barvy a jejich kombinace hrají v pozornosti koní významnější roli.

Hypotéza 1 předpokládala, že koně méně chybují na skoku složeném z bariér v bílo-barevné kombinaci než na skoku z bariér jednobarevných. Na základě experimentu a následného statistického zpracování byl tento předpoklad potvrzen a Hypotéza 1 byla přijata. Překážky v červených a zelených odstínech v kombinaci s bílou koním působily nejmenší obtíže. Naopak největší obtíže koním dělala celobarevná překážka v tmavě šedém odstínu.

Hypotéza 2 předpokládala, že koně více chybují na skoku s převažujícími odstíny červené barvy, než na skoku s převažujícími odstíny modré nebo žluté barvy. Experiment a jeho následné statistické vyhodnocení tento předpoklad vyvrátily a Hypotéza 2 byla zamítnuta. Koně na všech barevných odstínech zkoumaných překážek chybovali statisticky stejně.

Faktorů, které mohou ovlivňovat chybovost koní na parkuru je mnoho. V této práci však bylo zjištěno, že i barevnost překážek na ní může mít významný vliv. Zejména pak vliv bílé barvy v kombinaci s jinými barevnými odstíny, na kterých koně výrazně méně chybovali. Je však třeba dalších výzkumů, které by lépe a podrobněji objasnily, jak jsou konkrétní barevné informace koňským okem vnímány a zpracovávány.

Prostor pro další studie je obrovský, jelikož toto téma dosud nebylo dostatečně prozkoumáno. Přestože se jedná o náročný metodický proces, šlo by se například zaměřit na různé odstíny jedné barvy nebo na to, jaký vliv mohou mít metalické odstíny barev, které jsou na parkurových překážkách vidány čím dál častěji. V neposlední řadě by bylo zajímavé porovnat chybovost na překážkách stejných barevných odstínů za přirozených a za umělých světelných podmínek.

S narůstající oblibou parkurového sportu mezi koňáři i široké veřejnosti, roste i kvalita parkurových koní. Proto je celkovému vzhledu překážek i parkuru jako celku v poslední době věnována významná pozornost. Zejména i z toho důvodu, aby byl parkurový sport divácky zajímavější nejen po sportovní stránce. Ze všech jezdeckých disciplín se právě parkuroví koně s variabilitou různých barevných odstínů na překážkách potkávají nejvíce. Pochopení toho, jak koně doopravdy barvy vnímají by jistě usnadnilo již tak komplikovanou spolupráci mezi koněm a jezdcem. Pořadatelům závodů by se zároveň otevřel prostor pro to, jak celou trať parkuru barevně obohatit tak, aby ve velkém množství kvalitních koní mohly i barvy samotné více rozhodovat o tom, kdo je opravdu nejlepší.

8 Literatura

- Arnkil H, Anter KF, Klarén U. 2012. Colour and Light: Concepts and Confusions. Unigrafia OY, Helsinki.
- Belmonte C, Acosta MC, Gallar J. 2004. Neural basis of sensation in intact and injured corneas. *Experimental Eye Research* **78**:513-525.
- Beran A. 2009. S respektem! Brázda, Praha. ISBN: 978-80-209-0370-9.
- Blackmore TL, Foster TM, Sumpter CE, Temple W. 2008. An investigation of colour discrimination with horses (*Equus caballus*). *Behavioural Processes* **78**:387-396.
- Burdas KD. 2011. Anatomy of the Horse. Schlütersche, Hannover. ISBN: 9783899936667.
- Carroll J, Murphy CJ, Neitz M, Ver Hoeve JN, Neitz J. 2001. Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse. *Journal of Vision* **1**:80-87.
- Cholkar K, Dasari SR, Pal D, Mitra AK. 2013. Eye: anatomy, physiology and barriers to drug delivery. *Ocular Transporters and Receptors* **1**: 1-36.
- ČJF. 2021. Skoková pravidla 2021. Česká jezdecká federace available from http://www.cjf.cz/files/stranky/skokova-pravidla/2021/Skoky_2021_CLEAR.pdf (accessed 02 2022).
- Davis JL, Stewart T, Brazik E, Gilger BC. 2003. The effect of topical administration of atropine sulfate on the normal equine pupil: influence of age, breed and gender. *Veterinary Ophthalmology* **6**:329-332.
- Danysh BP, Czymmek KJ, Olurin PT, Sivak JG, Duncan MK. 2008. Contributions of Mouse Genetic Background and Age on Anterior Lens Capsule Thickness. *The Anatomical Record* **291**: 1619-1627.
- Danysh BP, Duncan MK. 2009. The lens capsule. *Experimental Eye Research* **88**: 151-164.
- Dušek J. 1999. Chov koní. Brázda, Praha. ISBN 80-209-0282-1.
- Freddo TF. 2001. Shifting the paradigm of the blood-aqueous barrier. *Experimental Eye Research* **73**: 581.
- Freeman M. 2012. Fotografie v praxi. Zoner Press, Brno. ISBN: 9788074131967.
- Geisbauer G, Griebel U, Schmid A, Timney B. 2004. Brightness discrimination and neutral point testing in the horse. *Canadian Journal of Zoology* **82**: 660-670.

Gilger BC. 2016. Equine Ophthalmology. Wiley Blackwell, New Jersey. ISBN:9781119047919.

Goodwin D. 2007. Horse behaviour: Evolution, domestication and feralisation. Pages 1-18 in Waran NK, editor. The Welfare of Horses. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Guo X, Sugita S. 2000. Topography of ganglion cells in the retina of the horse. Journal of Veterinary Medical Science **62**:1145-1150.

Hall CA, Cassaday HJ. 2006. An investigation into the effect of floor colour on the behaviour of the horse. Applied Animal Behaviour Science **99**:301-314.

Hanggi EB, Ingersoll JF. 2012. Lateral vision in horses: A behavioral investigation. Behavioural Processes **91**:70-76.

Hanggi EB, Ingersoll JF, Waggoner TL. 2007. Color vision in horses (*Equus caballus*): Deficiencies identified using a pseudoisochromatic plate test. Journal of Comparative Psychology **121**:65-72.

Harman AM, Moore S, Hoskins R, Keller P. 1999. Horse vision and an explanation for the visual behaviour originally explained by the 'ramp retina'. Equine Vet Journal **31**:384-390.

Hawthorn A. 2013. Sight matters: equine eyes. Equine Health **11**:38-41.

Jacobs GH. 2009. Evolution of colour vision in mammals. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences **364**:2957–2967.

Jelínek P, Koudela K. 2003. Fyziologie hospodářských zvířat. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. ISBN: 8071576441.

Khoshbin-e-Khoshnazar M, Pizzi R. 2014. Quantum Superposition in the Retina: Evidences and Proposals. NeuroQuantology **12**:97-101.

Kolb H. 2012. Simple Anatomy of the Retina. University of Utah Health Sciences Center, Salt Lake City.

Kottmann J. 2003. Veterinární oftalmologie. Noviko, Brno. ISBN: 8086542033

König HE, Liebich HG. 2002. Anatomie domácích savců. 2 díl, Splanchnologie, cévní a nervová soustava. H&H, Bratislava. ISBN: 8088700574

La Cour M. 2003. The retinal pigment epithelium. Pages 348-357 in Kaufman PL, Alm A, editors. Adler's Physiology of the Eye, 10th edition. Mosby, St Louis.

Levin LA. 2003. Optic nerve. Pages 603-638 in Kaufman PL, Alm A, editors. Adler's Physiology of the Eye, 10th edition. Mosby, St Louis.

- Malý P. 2013. Optika. Univerzita Karlova, Karolinum, Praha. ISBN 978-80-246-2793-9.
- Marvan F. 2017. Morfologie hospodářských zvířat. Brázda, Praha. ISBN: 978-80-213-2751-1
- McBane S. 2011. Horse senses. Manson Publishing Ltd, London.
- McGreevy PD, McLean AN. 2007. Roles of learning theory and ethology in equitation. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research* **2**:108-118.
- McGreevy PD, Harman A, McLean A, Hawson L. 2010. Over-fixing the horse's neck: a modern equestrian obsession? *Journal of Veterinary Behavior* **5**: 180-186. doi: 10.1016/j.jveb.2010.03.004
- Miller PE, Murphy CJ. 2016. Equine vision. Pages 508-544 in Gilger BC, editors. *Equine Ophthalmology*, 3rd Edition. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Mills D, Nankervis K. 1999. *Equine Behaviour: principles and practise*. Blackwell Science Ltd, Oxford.
- Minero M, Canali E. 2009. Welfare issues of horses: an overview and practical recommendations. *Italian Journal of Animal Science* **8**:219-230. DOI: 10.4081/ijas.2009.s1.219
- Murphy J, Hall C, Arkins S. 2009. What horses and humans see: a comparative review. *International Journal of Zoology*: 2-11.
- Ollivier FJ, Samuelson DA, Brooks DE, Lewis PA, Kallberg ME, Komaromy AM. 2004. Comparative morphology of the tapetum lucidum (among selected species). *Veterinary Ophthalmology* **7**:11-22.
- Orel M, Facová V. 2010. *Člověk, jeho smysly a svět*. Grada, Praha. ISBN: 978-80-247-2946-6.
- Orlando L. 2019. Ancient Genomes Reveal Unexpected Horse Domestication and Management Dynamics. *BioEssays* (1900164) DOI:10.1002/bies.201900164.
- Paul SC, Stevens M. 2019. Horse vision and obstacle visibility in horseracing. *Applied Animal Behaviour Science*, 104882. DOI:10.1016/j.applanim.2019.104882
- Plummer CE, Ramsey DT, Hauptman JG. 2003. Assessment of corneal thick-ness, intraocular pressure, optical corneal diameter, and axial globe dimensions in Miniature horses. *American Journal of Veterinary Research* **64**:661–665.
- Ramsey DT, Hauptman JG, Peterson-Jones SM. 1999. Corneal thickness, intra-ocular pressure, and optical corneal diameter in Rocky Mountain horses with cornea globosa or clinically normal corneas, *American Journal of Veterinary Research* **60**:1317-1321.

- Reichl J, Všeticka M. 2010. Encyklopedie fyziky. Available from <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/485-oko#> (accessed February 2022).
- Reece WO. 2011. Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. Grada, Praha. ISBN: 978-80-247-3282-4.
- Reeder D, Miller S, Wilfong DA, Leitch M, Zimmel D. 2009. AAEPV's equine manual for veterinary technicians. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa. ISBN: 0813829712
- Roberts SM. 1992. Equine vision and optics. *Equine Practice* **8**: 451-457.
- Rørvang MV, Christensen JW. 2018. Attenuation of fear through social transmission in groups of same and differently aged horses. *Applied Animal Behaviour Science* **209**:41-46. DOI: 10.1016/j.applanim.2018.10.003
- Rørvang MV, Nielsen BL, McLean AN. 2020. Sensory Abilities of Horses and Their Importance for Equitation Science. *Frontiers in Veterinary Science* **7**:1-13. DOI: 10.3389/fvets.2020.00633
- Roth LSV, Balkenius A, Kelber A. 2007. Colour perception in a dichromat. *Journal of Experimental Biology* **210**: 2795-2800.
- Roth LSV, Balkenius A, Kelber A. 2008. The absolute threshold of colour vision in the horse. *PLoS One* **3** (e3711).
- Saleh BEA, Teich MC. 1994. *Základy fotoniky = Fundamentals of photonics*. Praha, Matfyzpress.
- Saslow CA. 1999. Factors affecting stimulus visibility for horses. *Applied Animal Behaviour Science* **61**:273-284.
- Saslow CA. 2002. Understanding the perceptual world of horses. *Applied Animal Behaviour Science* **78**:209-224.
- Schöffmann B. 2006. *Stupnice vzdělání koně*. Brázda, Praha. ISBN: 978-80-209-0343-3.
- Shinozaki A, Takagi S, Hosaka YZ, Uehara M. 2013. The fibrous tapetum of the horse eye. *Journal of Anatomy* **223**: 509-518.
- Silbernagl S, Despopoulos A. 2016. *Atlas fyziologie člověka*. Grada, Praha. ISBN: 978-80-247-4271-7.
- Spaas J, Helsen WF, Adriaenssens M, Broeckx S, Duchateau L, Spaas JH. 2014. Correlation between dichromatic colour vision and jumping performance in horses. *The Veterinary Journal* **202**:166-171.

Stachurska A, Pięta M, Nesteruk E. 2002. Which obstacles are most problematic for jumping horses? *Applied Animal Behaviour Science* **77**:197-207.

Svoboda E. 2020. *Přehled středoškolské fyziky*. Prometheus, Praha.

Timney B, Keil K. 1999. Local and global stereopsis in the horse. *Vision Research* **39**:1861-1867. DOI: 10.1016/S0042-6989(98)00276-4

Timney B, Macuda T. 2001. Vision and hearing in horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **218**:1567–1574.

Widdicombe S. 2008. *Přirozený výcvik koní*. Metafora, Praha. ISBN: 978-80-7359-192-2.

Willoughby CE, Ponzin D, Ferrari S, Lobo A, Landau K, Omid Y. 2010. Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function. *Clinical*. **38**:2-11.

9 Samostatné přílohy

Příloha 1: Porovnání pravděpodobného vnímání barev člověka a koně



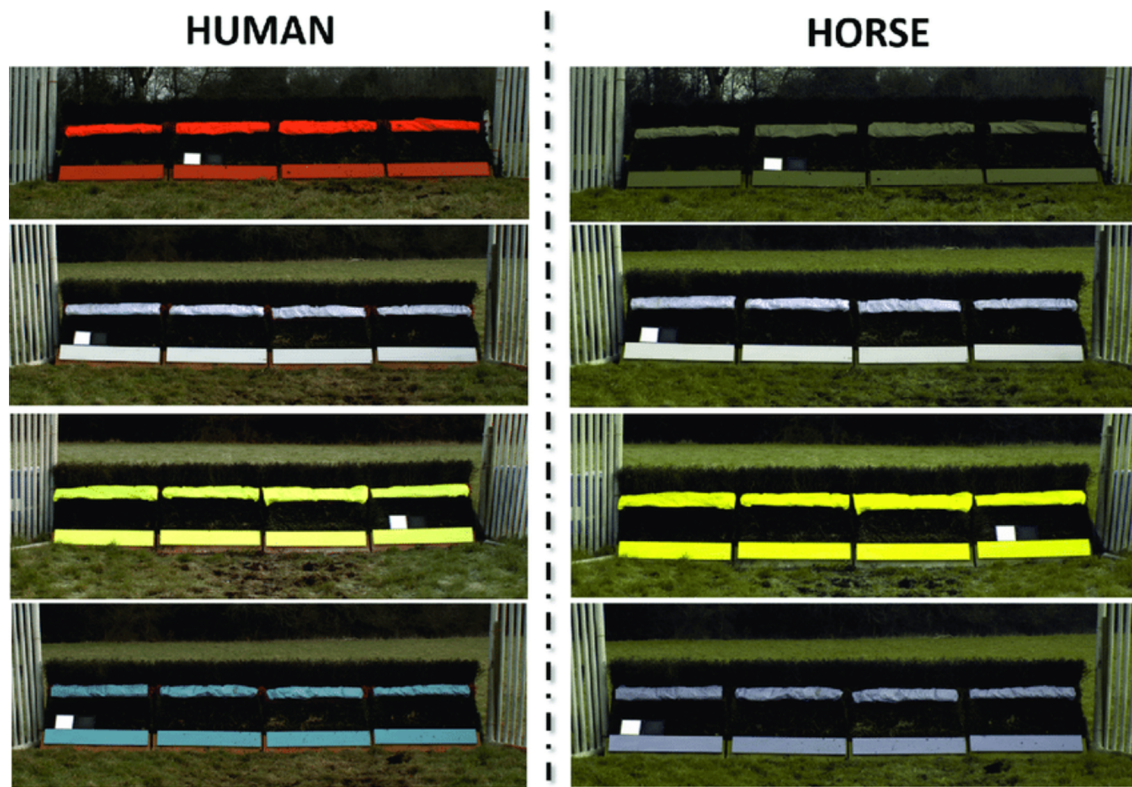
Příklad pravděpodobného vnímání červené barvy koňmi.

Zdroj: <https://www.mylifeisbetterwithhorses.com/horse-vision> (staženo v dubnu 2022)

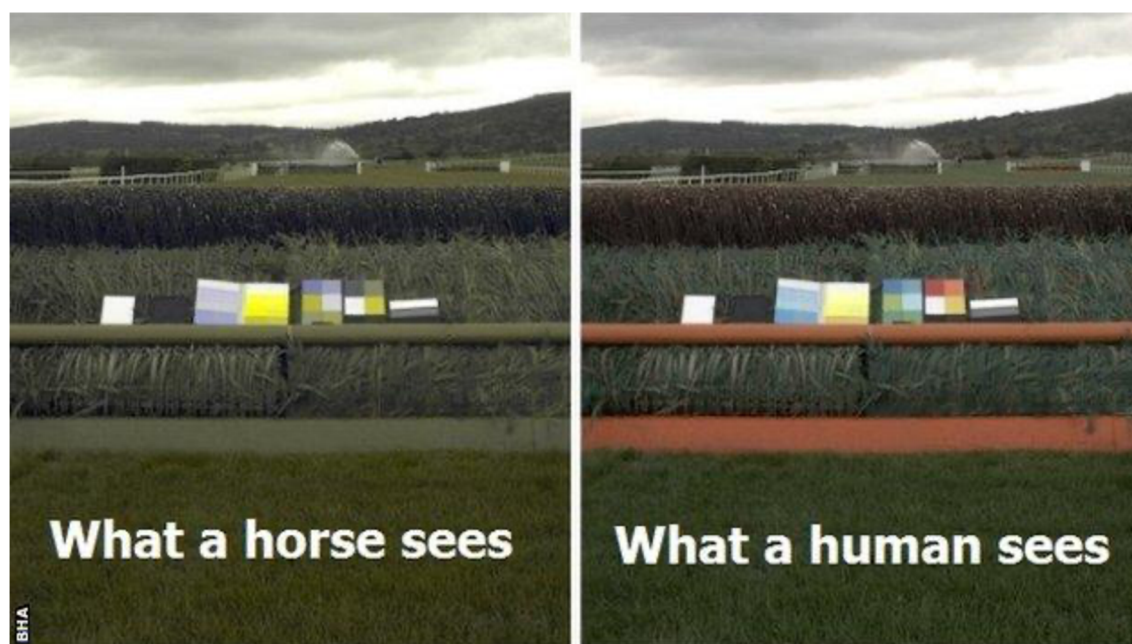


Pravděpodobné dichromatické vidění koně v reálném životě v porovnání s lidským zobrazené na dvou nezměněných obrázcích (A a B) a jejich digitální úpravou (C a D) pomocí algoritmu vytvořeným pro simulaci toho, jak by se každá barva jevila koni s dichromatickým viděním. Zároveň byla upravena ostrost obrazu tak, aby zohledňovala sníženou prostorovou ostrost koně (Carroll et al. 2001).

Příloha 2: Vnímání barev člověka a koně dle Paulové a Stevense (2019)



Předpokládané vnímání různých barev koněm (vpravo) v porovnání s vnímáním člověka (vlevo) u dostihových proutek (Paul & Stevens 2019).



Předpokládané vidění koně oranžového odstínu (vlevo) v porovnáním s lidským (vpravo) (Paul & Stevens 2019).

Příloha 3: Tabulka obtížnosti soutěží

Tabulka předepsaných rozměrů pro velké koně (Skoková pravidla 2021).

Stupeň	Výška skoku v cm	Max. šíře	
		skoku	vodního příkopu
ZZ	80	80	-
ZM	90	90	-
Z	100	100	200
ZL	110	110	200
L*	115	120	200
L**	120	130	250
S*	125	140	300
S**	130	150	350
ST*	135	160	350
ST**	140	170	400
T*	145	180	400
T**	150	200	450
T***	155	220	450

Příloha 4: Penalizace na parkuru dle Tabulky A a Tabulky C

Penalizace na parkuru podle Tabulky A (Skoková pravidla 2021).

CHYBA	PENALIZACE
(I) PRVNÍ NEPOSLUŠNOST	4 TRESTNÉ BODY
(II) POBOŘENÍ PŘEKÁŽKY PŘI SKOKU	4 TRESTNÉ BODY
(III) DOTYK JEDNÉ NEBO VÍCE NOHOU VODNÍ HLADINY VE VODNÍM PŘÍKOPU NEBO OTISK NA HRANIČNÍ LIŠTĚ NA STRANĚ DOSKOKU	4 TRESTNÉ BODY
(IV) PÁD KONĚ NEBO SPORTOVCE NEBO OBOU V JAKÉKOLIV SOUTĚŽI	VYLOUČENÍ
(V) DRUHÁ NEPOSLUŠNOST NEBO JINÉ PORUŠENÍ DLE ČLÁNKU 241 NA MEZINÁRODNÍCH ZÁVODECH	VYLOUČENÍ
(VI) NÚ: DRUHÁ NEPOSLUŠNOST	4 TRESTNÉ BODY
(VII) NÚ: TŘETÍ NEPOSLUŠNOST NEBO JINÉ PORUŠENÍ DLE ČLÁNKU 241 NA NÁRODNÍCH ZÁVODECH	VYLOUČENÍ
(VIII) PŘEKROČENÍ PŘÍPUSTNÉHO ČASU	VYLOUČENÍ
(IX) PŘEKROČENÍ STANOVENÉHO ČASU V ZÁKLADNÍM PARKURU V PRVÉM, NEBO DRUHÉM KOLE A V ROZESKAKOVÁNÍ, KTERÉ NENÍ NA ČAS	ZA KAŽDÉ ZAPOČATÉ 4 SEKUNDY 1 TRESTNÝ BOD
(X) PŘEKROČENÍ STANOVENÉHO ČASU V ROZESKAKOVÁNÍ, KTERÉ JE NA ČAS	ZA KAŽDOU ZAPOČATOU SEKUNDU 1 TRESTNÝ BOD

Penalizace na parkuru podle Tabulky C (Skoková pravidla 2021).

CHYBA	PENALIZACE
POBOŘENÍ PŘEKÁŽKY PŘI SKOKU, DOTYK JEDNÉ NEBO VÍCE NOHOU VODNÍ HLADINY VODNÍHO PŘÍKOPU NEBO LAŤKY VYMEZUJÍCÍ JEHO HRANICI NA DOSKOKOVÉ STRANĚ;	4 SEKUNDY (3 SEKUNDY PRO DRUHOU FÁZI DVOUFÁZOVÉHO SKÁKÁNÍ, SOUTĚŽ S POSTUPNÝM VYLUČOVÁNÍM A VE VŠECH ROZESKAKOVÁNÍCH VENKOVNÍCH ZÁVODŮ, KTERÉ JSOU HODNOCENY PODLE TABULKY C). 3 SEKUNDY PRO HALOVÉ ZÁVODY.
(I) PRVNÍ NEPOSLUŠNOST	BEZ PENALIZACE
(II) PRVNÍ NEPOSLUŠNOST S POBOŘENÍM PŘEKÁŽKY NEBO JEJÍM POSUNUTÍM	ČASOVÁ KOREKCE 6 SEKUND
(III) DRUHÁ NEPOSLUŠNOST NA MEZINÁRODNÍCH ZÁVODECH, NEBO JINÉ PORUŠENÍ UVEDENÉ V ČLÁNKU 241	VYLOUČENÍ
(IV) NÚ: DRUHÁ NEPOSLUŠNOST BEZ POBOŘENÍ PŘEKÁŽKY NA NÁRODNÍCH ZÁVODECH	BEZ PENALIZACE
(V) NÚ: DRUHÁ NEPOSLUŠNOST S POBOŘENÍM PŘEKÁŽKY NA NÁRODNÍCH ZÁVODECH	ČASOVÁ KOREKCE 6 SEKUND
(VI) NÚ: TŘETÍ NEPOSLUŠNOST NEBO JINÉ PORUŠENÍ UVEDENÉ V ČLÁNKU 241 NA NÁRODNÍCH ZÁVODECH	VYLOUČENÍ
(VII) PÁD KONĚ NEBO SPORTOVCE NEBO OBOU VE VŠECH SOUTĚŽÍCH	VYLOUČENÍ

Příloha 5: Areály

Jezdecké centrum Zduchovice

Jezdecké centrum Zduchovice se nachází v povltaví Středočeského kraje na pomezí Sedlčanska a Příbramska, na kraji obce Zduchovice. V areálu se nachází velké kolbiště o rozměrech 60 x 80 m, malé kolbiště o rozměrech 30 x 60 m, opracoviště o rozměrech 20 x 40 m, dvě kryté haly o rozměrech 36 x 66 m. Všechny tyto jezdecké prostory disponují moderním povrchem s rohožemi Austromodul, speciální směsí písku a materiálu Clopf&Fiber (vyvinuto v UK). Dále se v areálu nachází kolotoč pro koně a moderní boxové ustájení s kapacitou 100 boxů a veškeré zázemí pro jezdce včetně restaurace a ubytování.



Jezdecké centrum Zduchovice.

Zdroj: <https://pension-jezerna.cz/resort/> (staženo v prosinci 2021)

Farma Ptýrov

Jezdecký areál Farma Ptýrov se nachází v obci Ptýrov ve Středočeském kraji nedaleko Mnichova Hradiště, na okraji CHKO Český ráj. V areálu Farmy Ptýrov se nachází kolbiště o rozměrech 60 x 70 m, opracoviště 30 x 60 m a krytá hala. Jezdecké prostory disponují moderním povrchem s pískem a geotextilií. Samozřejmostí je kolotoč a boxové ustájení. Zázemí pro jezdce i koně je moderní, nechybí restaurace a ubytování.



Kolbiště a opracoviště na Farmě Ptýrov.

Zdroj: <https://farma-ptyrov.hotel.cz/photos/> (staženo v prosinci 2021)

Ranch Hořovice

Jezdecká stáj Opatrný Hořovice rovněž leží ve Středočeském kraji nedaleko Berouna, na okraji obce Hořovice. Areál patří mezi největší v ČR a disponuje dvěma krytými jízdárnami, kolbištěm o rozměrech 75 x 80 m a opracovištěm 50 x 70 m. Oba závodní povrchy tvoří moderní povrch s pískem a geotextilií. Areál nabízí kompletní zázemí pro jezdce i koně, a to včetně kolotoče, restaurace a penzionu.



Kolbiště na Ranchi Hořovice.

Zdroj: <https://www.facebook.com/jsopatrnymhorovice/photos> (staženo v prosinci 2021).

Equitana Hotel Resort

Jezdecká stáj Equitana Martinice se nachází ve Středočeském kraji na Příbramsku, nedaleko obce Březnice. V areálu se kromě hotelových služeb nachází i kvalitní zázemí pro pořádání jezdeckých závodů a ustájení koní. Je zde kolbiště o rozměrech 55 x 100 m, opracoviště 22 x 65 m a 40 x 40 m. Krytá jezdecká hala disponuje rozměry 22 x 60 m. Všechny jezdecké plochy jsou vybaveny moderním povrchem s pískem a geotextilií. Nechybí veškeré zázemí pro jezdce i koně, areál je vybaven pohybovacím kolotočem.



Jezdecká stáj Equitana Martinice.

Zdroj: <https://www.equitana.cz> (staženo v prosinci 2021)

Příloha 6: Příklady olympijských překážek



Daisuke Fukushima s koněm Chanyon na překážce s motivem hory Fuji.

Zdroj: <https://www.fei.org/stories/sport/jumping/japan-tokyo-2020> (staženo v dubnu 2022)



Olympijský vítěz Ben Maher s Explosionem W na překážce s motivem japonské sakury.

Zdroj: <https://www.horseandhound.co.uk/news/olympic> (staženo v dubnu 2022)



Darragh Kenny a VDL Cartello na překážce s motivy japonských váz.

Zdroj: <https://www.theirishfield.ie/irish-show-jumpers-through-to-olympic-individual> (staženo v dubnu 2022)



Jessica Springsteen s koněm Don Juan van de Donkhoeve na překážce s motivem panoramy Tokia.

Zdroj: <https://www.thedailybeast.com/jessica-springsteen> (staženo v dubnu 2022)