

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra ekologie**



**Bakalářská práce**

**Ornamentace u ptáků a její signalizační význam**

Vedoucí práce: prof. Dr. Mgr. Miroslav Šálek

Vypracovala: Menclerová Renáta

© 2021 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Renáta Menclerová

Krajinářství  
Územní technická a správní služba

Název práce

**Ornamentace u ptáků a její signalizační význam**

Název anglicky

**Signaling function of bird ornamentation**

---

### Cíle práce

Cílem práce bude zpracovat rešerši zaměřenou na ornamentaci ptáků a její signalizační význam. Praktická část práce bude zaměřena na roli karotenoidových ornamentů v pohlavním dimorfismu čejky černoprse (Vanellus indicus).

### Metodika

Zpracování fotografií jedinců čejky černoprse (Vanellus indicus) odchycených v oblasti Al Marmoom, Dubaj, Spojené Arabské Emiráty. Analýza velikosti a sytosti zbarvení karotenoidového kožního laloku čejky pomocí programu ImageJ.

Porovnání výsledků fotografické analýzy sytosti zbarvení laloků s výsledky získanými terénním spektrofotometrickým měřením. Vyhodnocení velikosti a barvy ornamentů čejek černoprských v závislosti na pohlaví.

**Doporučený rozsah práce**

25-30 s.

**Klíčová slova**

ornamentace, signalizační funkce ornamentů, pohlavní dimorfismus, *Vanellus indicus eigneri*, čejka černo-prsá, karotenoid

---

**Doporučené zdroje informací**

- Hill G. E., McGraw K. J., 2006: Bird coloration. Harvard University Press, USA.
- Kraaijeveld K., Kraaijeveld-Smit F. J. L., Komdeur J., 2007: The evolution of mutual ornamentation. *Animal Behaviour* 74, 657-677.
- Kraaijeveld K., 2003: Degree of Mutual Ornamentation in Birds Is Related to Divorce Rate. *The Royal Society, London, Series B: Biological Sciences* 270, 1785-1791.
- McGraw K. J., 2005: Interspecific variation in dietary carotenoid assimilation in birds: Links to phylogeny and color ornamentation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 142, 245-250.
- Mougeot, F., Pérez-Rodríguez L., Sumozas N., Terraube J., 2009: Parasites, condition, immune responsiveness and carotenoid-based ornamentation in male red-legged partridge *Alectoris rufa*. *Journal of Avian Biology* 40, 67-74.
- Piersma T., Mendes L., Hennekens J., Ratiarison S., Groenewold S., Jukema J., 2001: Breeding plumage honestly signals likelihood of tapeworm infestation in females of a long-distance migrating shorebird, the bar-tailed godwit. *Zoology* 104, 41-48.
- Thomas G. H., Székely T., Reynolds J. D., 2007: Sexual Conflict and the Evolution of Breeding Systems in Shorebirds. Elsevier Inc., United Kingdom, Canada, 279-330.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

prof. Dr. Mgr. Miroslav Šálek

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie

**Konzultant**

Ing. Eva Vozabulová

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2020

**doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2020

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2020

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Ornamentace u ptáků a její signalizační význam vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 28.3.2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou chtěla poděkovat panu prof. Dr. Mgr. Miroslavovi Šálkovi za odborné rady a vedení bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala paní Ing. Evě Vozabulové za obrovskou pomoc při zpracování práce, trpělivost, vstřícnost a přátelský přístup při konzultacích. Ráda bych také poděkovala všem, kteří se na výzkumu podíleli a poskytli mi tak data potřebná pro zpracování mé bakalářské práce a také mé rodině a přátelům za podporu ve chvílích beznaděje.

# Ornamentace u ptáků a její signalizační význam

## Abstrakt

Ornamentace a zbarvení má u ptáků mnoho významů, avšak u každého jedince se tento význam může lišit. Cílem této práce je přiblížit typy ornamentace a její základní význam u ptáků. Přiblížit to, kde a jak tyto ornamenty mohou vznikat a co mohou signalizovat pro okolní pozorovatele. Cílem výzkumu byla snaha zjistit jakou roli hraje ornamentace v podobě červených očních laloků v pohlavním dimorfismu čejky černoprsé (*Vanellus indicus aigneri*). Výzkum probíhal ve Spojených Arabských Emirátech v přírodní rezervaci Al Marmoom. Odchyceni byli hnízdící jedinci v sezoně 2019, kteří byli nafoceni (n=87) a část z nich byla snímána pomocí spektrofotometru (n=24). Pořízené fotografie byly zpracovány v programu ImageJ za využití pluginu MicaToolbox a byla na nich analyzována velikost kožních laloků a sytost jejich karotenoidního zbarvení. U jedinců, kteří byli snímáni spektrofotometrem byla hodnocena sytost UV a červeného zbarvení očních laloků. Vyhodnocované výsledky však nepotvrdily, že by velikost a barevnost ornamentů byla závislá na pohlaví a že by právě tento ornament byl u čejky černoprsé znakem pohlavního dimorfismu. Testováno bylo také asortativní párování na základě velikosti a sytosti červené barvy očních laloků, které se však na základě těchto znaků neprokázalo. Výsledky analýzy dat získaných metodou zpracování fotografie se shodovaly s výsledky analýzy dat získaných ze spektrofotometru.

**Klíčová slova:** Ornamentace, signalizační funkce ornamentů, pohlavní dimorfismus, *Vanellus indicus aigneri*, čejka černoprsá, karotenoid

# Signaling function of bird ornamentation

## Abstract

Ornamentation and colouring in birds have many meanings which may vary from individual to individual. The aim of this thesis is to draw attention to different types of ornamentation and its basic meaning in birds. Additionally, to show where and how these ornaments can originate and what they can signal to the surrounding observers. The aim of the research was to find out what role the ornamentation in the form of red wattles plays in sexual dimorphism of the Red-wattled Lapwing (*Vanellus indicus aigneri*). The research took place in the United Arab Emirates in the Al Marmoom Conservation Reserve. In the season of 2019 nesting individuals were captured and photographed (n=87) and some of them were scanned by a spectrophotometer (n=24). The photographs were processed by the ImageJ programme using the MicaToolbox plugin and the size of the wattles and colour saturation of their carotenoid colouring was analysed. In the case of the individuals scanned by the spectrophotometer UV saturation and saturation of the red colour of their eye wattles was evaluated. The assessment of the results, however, did not confirm that the size and colour of the ornaments were dependent on the sex of the species and that this ornament was a sign of sexual dimorphism in the Red-wattled Lapwing. Assortative mating was also tested, based on the size and saturation of the red colour of the eye wattles, but it has not been proven in relation to these features. The results of the analysis of the data acquired by assessing the photographs were identical with the results of the analysis of the data from the spectrophotometer.

**Keywords:** Ornamentation, signaling function of ornaments, sexual dimorphism, *Vanellus indicus aigneri*, Red-wattled Lapwing, carotenoid

# Obsah

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Úvod</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Cíl práce</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Vizuální systém ptáků</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>4</b>  | <b>Mechanismus zbarvení ptáků</b> .....  | <b>6</b>  |
| 4.1       | Peří a holé části těla.....  | 7         |
| 4.2       | Pigmenty .....   | 9         |
| 4.2.1     | Typy pigmentů.....   | 9         |
| <b>5</b>  | <b>Ornamentace</b> .....   | <b>11</b> |
| 5.1       | Vznik a definice ornamentů .....   | 12        |
| 5.2       | Sexuální selekce .....   | 13        |
| 5.3       | Signalizační funkce ornamentů .....  | 14        |
| 5.4       | Pohlavní dimorfismus a asortativní párování.....                                   | 16        |
| <b>6</b>  | <b>Modelový organismus-čejka černoprsá (<i>Vanellus indicus aigneri</i>)</b> ..... | <b>18</b> |
| <b>7</b>  | <b>Metodika</b> .....  | <b>20</b> |
| 7.1       | Terénní sběr dat.....  | 20        |
| 7.2       | Zpracování fotografií v programu ImageJ .....                                      | 21        |
| 7.3       | Zpracování dat pomocí spektrofotometru .....                                       | 22        |
| 7.4       | Statistické zpracování dat.....  | 24        |
| <b>8</b>  | <b>Výsledky</b> .....  | <b>27</b> |
| 8.1       | Výsledky ImageJ .....  | 27        |
| 8.2       | Výsledky spektrofotometr .....   | 33        |
| <b>9</b>  | <b>Diskuse</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>10</b> | <b>Závěr</b> .....   | <b>40</b> |
| <b>11</b> | <b>Seznam použitých zdrojů</b> .....   | <b>41</b> |
| <b>12</b> | <b>Přílohy</b> .....   | <b>51</b> |



# 1 Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na ornamentaci ptáků a její signalizační význam. Ornamentaci je věnována teoretická část bakalářské práce, kde jsou shrnuty aktuální poznatky, které definují typy ornamentace a jejich funkci.

S postupem času se biologové začali zabývat rozdíly jednotlivých druhů ptáků a zaměřovat se především na rozdíly jednotlivého pohlaví u stejných druhů. Primární funkce ornamentů je dáována do kontextu teorie pohlavního výběru. Ornament tak plní funkci znaku genetické kvality jedince a je vnímán jako jeden z hlavních znaků určujících výběr partnera. Nicméně již v době vzniku teorie pohlavního výběru se začala formovat hypotéza o dalším využití ornamentů v etologii ptáků jako je např. armament v boji samec vs. samec. Armament je druh ornamentu, který však neslouží primárně pro výběr partnera, ale slouží převážně jako znak postavení ve společnosti. Takový znak můžeme pozorovat např. u laločníka sedlatého (*Philesturnus carunculatus*), který využívá červeně zbarvené kožní laloky na zobáku k obraně teritoria a zastrasování nepřátel (Lloyd-Jones, Briskie 2015).

Teoretická část bakalářské práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola popisuje vizuální systém ptáků, který se liší od toho lidského. Druhá kapitola popisuje mechanismus zbarvení ptáků. V této kapitole jsou uvedené poznatky o zbarvení peří a typech pigmentů, které se u ptáků vyskytují. Třetí kapitola je zaměřená na ornamentaci ptáků, jejímu vzniku a signalizační funkci. Kromě ornamentace je kapitola věnována tématům úzce souvisejícím s funkcí ornamentů, tedy sexuální selekci, pohlavnímu dimorfismu a asortativnímu párování. Poslední kapitola popisuje morfologii a ekologii modelového druhu subtropické čejky černoprsé, která disponuje výrazným kožním ornamentem, jehož funkci je věnována praktická část této práce.

Praktická část bakalářské práce je zaměřena na analýzu červených kožní laloků v oblasti oka u čejky černoprsé a na jejich funkci v kontextu pohlavního dimorfismu a asortativního párování. Kožní laloky byly analyzovány pomocí dvou metod: fotografie (zpracování v programu ImageJ) a spektrofotometru, jejichž výsledky byly následně porovnány mezi sebou. Terénní data byla sebrána v rámci výzkumu ve Spojených Arabských Emirátech v přírodní rezervaci Al Marmoom. Byla vyhodnocována sytost barvy a velikosti očních laloků. Získané údaje pak byly

testovány dle hypotézy o funkci kožního laloku jako znaku pohlavního dimorfismu  
čejky černoprsé.

## 2 Cíl práce

Cílem této práce bylo zpracovat rešerši zaměřenou na ornamentaci ptáků a její signalizační význam a v praktické části zjistit, zda jsou červené kožní oční laloky čejky černoprsé znakem pohlavního dimorfismu či nikoliv.

Cíle praktické části jsou:

- 1) Zjistit, zda existuje rozdíl v sytosti červené barvy a velikosti mezi pravým a levým očním lalokem u daného jedince pomocí analýzy fotografie
- 2) Zjistit, zda existuje rozdíl v sytosti červené barvy a velikosti očních laloků mezi samci a samicemi pomocí analýzy fotografie
- 3) Zjistit, zda sytost červené barvy a velikost očních laloků hraje roli v asortativním párování čejky černoprsé pomocí analýzy fotografie
- 4) Zjistit, zda existuje rozdíl v sytosti UV očních laloků mezi samci a samicemi pomocí analýzy dat ze spektrofotometru
- 5) Zjistit, zda jsou výsledky závislosti sytosti červené barvy očních laloků na pohlaví shodné z pohledu využití dvou nástrojů pro její hodnocení – fotografie a spektrofotrického měření

### 3 Vizuální systém ptáků

Ptáci jsou živočichové, kteří získávají informace z okolního prostředí především pomocí zraku. Ptačí zrak je také díky skvělému barevnému vidění považován za jeden z nejdokonalejších ve zvířecí říši (Veselovský 2001). Zrak je pro ptáky zásadním zdrojem informací během letu, ale také při inter a intra sexuálních interakcích, jako je např. výběr partnera, namlouvací rituály nebo souboj samců o pozornost samice (Hill, McGraw 2006).

Je mnoho důvodů, proč je ptačí zrak tím nejlepším. Jedním z nich je velikost oční bulvy. Ptáci jsou známí tím, že mají největší oční bulvy ze všech obratlovců, co se týče poměru velikosti očí k velikosti těla. Kromě toho víme, že často mají větší oči než samotný mozek (Zicháček 1995).

Dalším důvodem je, že ptáci, kteří mají oči umístěné po stranách hlavy (např. čejka černoprsá) mohou každým okem pozorovat samostatně (monokulárně), nezávisle na sobě a zároveň mají extrémně pohyblivé oční koule, díky čemuž mají větší zorné pole než člověk. Ptáci, kteří mají oči na přední straně hlavy vidí binokulárně a jsou jimi např. sovy (*Strigiformes*). Ty vynahrazují pohyblivost očních koulí a monokulární vidění velkou pohyblivostí krčních obratlů, které jim umožňují otáčení hlavy až o 270° (Veselovský 2001).

Dalším a zároveň jedním z hlavních důvodů je počet světločivných buněk na sítnici oka. Sítnice obsahuje dva druhy těchto světločivných buněk-čípky a tyčinky. Tyčinky jsou buňky, které umožňují černobílé vidění, jsou senzitivní na nižší intenzitu světla než čípky a nedokážou poskytnout dostatečně ostrý obraz. Zajišťují adaptaci oka na tmu a z toho důvodu jich najdeme více u nočních ptáků. Naopak čípky zajišťují adaptaci oka na světlo. Jsou citlivé na vyšší intenzitu světla a poskytují barevný a ostrý obraz. Jednotlivé typy čípků jsou citlivé v různých oblastech elektromagnetického spektra a jsou tedy schopny zachytit záření různých vlnových délek (Bennett et al. 1994). Tyčinky i čípky v ptačím oku jsou na sítnici rozloženy rovnoměrněji a na větší ploše, než je tomu u lidí. Místo, kde dosahují tyto buňky největší hustoty nazýváme žlutá skvrna (fovea). Fovea je pak místo nejostřejšího vidění. Někteří ptáci mají dokonce dvě fovey, které jim slouží k lepšímu monokulárnímu vidění a mají díky tomu

až osmkrát více čípků než lidé. Příkladem druhů s dvojitou foveou jsou ledňáčci (*Alcedinidae*), kolibříci (*Trochilidae*) nebo vlaštovky (*Hirundinidae*) (Sinclair 1985).

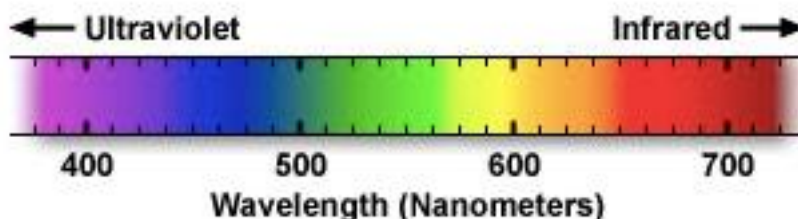
Mnoho ptáků má v sítnici oka receptory s karotenoidy, reagující na světlo s dlouhou vlnovou délkou a zlepšující tak barevné vidění (Toomey et al. 2015). Sítnice ptačího oka obsahuje také lipidové kapičky oleje, v nichž jsou pigmenty rozpouštěny, a které zároveň filtrují vstupující světlo. Tyto kapičky mohou být průhledné, světle žluté, zelené, oranžové nebo červené (Bowmaker et al. 1997). Toomey et al. (2015) potvrdil během výzkumu na kuru bankvívském (*Gallus gallus*) výskyt karotenoidů v ptačí sítnici. V jejich oku identifikoval čtyři hlavní třídy karotenoidů, které absorbují světlo v různých částech ultrafialového, pro ptáky viditelného, spektra. Jsou jimi apokarotenoidy, karoteny, hydroxykarotenoidy a ketokarotenoidy. Kromě olejové kapky a zrakového pigmentu ptačí oko obsahuje čtyři typy čípků tzv. tetrachromatismus (Bowmaker et al. 1997).

Lidské oko obsahuje pouze tři typy čípků, které jsou citlivé na viditelné světlo o vlnových délkách v rozmezí 400-700 nm barevného spektra. V tomto rozmezí rozlišujeme čípky pro vidění zelené, červené a modré barvy. Hlavně díky nim mohou lidé rozeznat až 2 miliony barev. Ptačí sítnice tyto čípky obsahuje také, ale má navíc čtvrtý typ čípku, díky němuž dokážou rozeznat i ultrafialové záření (UV) (viz tab. č. 1). To se nachází v rozmezí 300-400 nm barevného spektra (viz obr. č. 1) a ptáci pomocí nich rozlišují mnohem více barev a odstínů než lidé (Bennett et al. 1994).

Tab. č. 1: Rozsah vlnových délek reflexe barevného spektra u ptáků

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Celková reflexe            | 300-700 nm |
| UV reflexe                 | 300-400 nm |
| Fialová a modrá reflexe    | 400-500 nm |
| Zelená a žlutá reflexe     | 500-600 nm |
| Oranžová a červená reflexe | 600-700 nm |

Obr. č. 1: Barevné spektrum (Spring, Davidson b.r.)



Některé druhy ptáků jsou senzitivnější na UV spektrum než jiné. Senzitivnějšími druhy jsou např. lejsek bělokrký (*Ficedula hypoleuca*) (Siitari et al. 2002), salašník modrý (*Sialia sialis*) (Liu et al. 2007, 2009) nebo slavík modráček (*Luscinia svecica*) (Andersson, Amundsen 1997). Příkladem méně senzitivních jedinců je většina druhů patřící do řádu dlouhokřídlí (*Charadriiformes*) (Odeen et al. 2009). Do tohoto řádu patří i námi sledovaný druh čejka černoprsá, proto se v této práci UV vidění více nerozebírá. U některých druhů ptáků samice využívají tuto UV senzitivitu při hledání vhodného partnera k reprodukci. Můžeme to pozorovat např. u samic sýkory modřinky (*Cyanistes caeruleus*), která si vybírá samce s výraznou UV ornamentací na temeni hlavy (Hunt et al. 1998; Vorobyev et al. 1998). Kromě sexuální selekce využívají tuto citlivost i k hledání potravy, kdy např. hmyz nebo ovocné plody odráží UV záření. Příkladem takového druhu je poštolka obecná (*Falco tinnunculus*), která dokáže rozpoznat stopy hraboše díky tomu, že jejich moč vyzařuje UV záření (Zampiga et al. 2006).

#### 4 Mechanismus zbarvení ptáků

Zbarvení ptáků dělíme podle funkce převážně na kryptické neboli ochranné a na sebeprezentační. Kryptické zbarvení využívají hlavně ptáci žijící v otevřené krajině a hnízdící na zemi. Je to způsob, jak mohou zůstat skryti svým nepřátelům (Gomez, Théry 2007). Toto zbarvení pozorujeme převážně na vejcích, mláďatech či jedincích starajících se o mláďata, ve většině případů tedy u samic. Kryptické zbarvení můžeme pozorovat například u sluky lesní (*Scolopax rusticola*), jejíž snesená vejce a následně i vylíhlá kuřata nesou kryptické zbarvení, které je dokonale kryje a na první pohled nejsou v okolním terénu viditelná. Sebeprezentační zbarvení najdeme většinou

u samců. Slouží jim k prezentaci svého vzhledu při intersexuálních interakcích, ale také při kompetičních interakcích v rámci stejného pohlaví. Zbarvení ptáků je vytvářeno různými mechanismy. Ptáci jsou zbarveni jak na holých, tak opeřených částech těl. Toto zbarvení je vytvářeno pigmenty nebo strukturálním zbarvením. Zbarvení může sloužit také jako významný informační prostředek pro ostatní ptáky. Poznají díky němu v jaké je pták kondici, jestli je napaden parazity nebo jaké jsou jeho bojové schopnosti (Fox 1976).

## 4.1 Peří a holé části těla

Opeření ptáků je tvořeno tisíci per, které se od sebe liší strukturou, tvarem, velikostí, barvou a chemickým složením (Lucas, Stettenheim 1972). Jejich výsledný vzhled je ovlivněn vnitřními a vnějšími faktory. Hlavním vnitřním faktorem je dědičnost. Představitel vnějšího faktoru je například prostředí, ve kterém se jedinec nachází (Veselovský 2001; Suvorov 2007).

Peří ptáků se obnovuje až třikrát do roka prostřednictvím pravidelného pelichání. U některých druhů samci střídavě vyměňují šat prostý za šat svatební, který využívají hlavně v období páření, aby zaujali samici svým zbarvením. Zbarvení bylo u těchto druhů přizpůsobeno tak, aby bylo výrazné hlavně v období námluv, a naopak nevýrazné po zbytek roku, aby nebyli samci snadnou kořistí pro predátory (Montgomerie et al. 2001).

Kombinací selekčních výběrů, zejména samičí selekce, zřejmě vzniklo dnešní nápadné dimorfní zbarvení ptáků, které ukazují jen v případě potřeby (Brooke 1998). Díky tomu mohou vznikat jak ornamenty permanentní, tak pouze periodické. Barevné ornamenty můžeme pozorovat na obrysovém peří ptáků (Herrmann 2006). Mezi obrysové peří řadíme krycí peří (hlava, krk, trup), letky (nosná pera) a rýdovací (ocasní) pera (Veselovský 2001).

Zbarvení vzniká ukládáním barevných pigmentů do pera během jeho vývoje nebo na povrch již zrohovatělého pera (např. narůžovělé zbarvení pelikána bílého *Pelecanus onocrotalus* pomocí barvicích látek z mazových žláz), strukturálním zbarvením (fyzikálními vlastnostmi morfologických struktur pera jako je odraz a lom světla) nebo kombinací obojího (Veselovský 2001; Herrmann 2006).

Pigmenty jsou organické látky, které jsou příčinou zbarvení organismu. Ptáci peří bývá většinou zbarveno kombinací více druhů pigmentů (Veselovský 2001). V případě, že některý pigment v těle organismu chybí nebo naopak přebývá dochází k barevným odchylkám. Pokud chybí některý pigment úplně např. pokud chybí u jedince pigment melanin, nazýváme ho albínem (van Grouw 2006). Hlavními typy pigmentů vyskytujícími se u ptáků jsou melaniny, karotenoidy a porfyriny, kterým se podrobněji věnuji v kapitole 2.2 Pigmenty (Badyaev, Hill 2000).

Strukturální zbarvení, jak již název napovídá, je dáno strukturou pera, ve kterém se nachází keratinové tyčinky, jež neobsahují žádný pigment a jsou rozděleny vzdušnými kanálky. Tato síť tyčinek odráží vlnové délky světla, čímž vzniká již zmíněné strukturální zbarvení (Dyck 1976; Andersson 1996). Mezi strukturální barvy patří například bílá barva, která odráží celé světelné spektrum, fialová nebo modrá. Známe dva typy zbarvení založené na lomu světla, kterými jsou iridiscentní a neiridiscentní. Iridiscentní zbarvení vzniká vícevrstevnou strukturou tvořenou melaninem, keratinem a vzduchem. Tyto vrstvy se od sebe liší indexem lomu světla a vytváří kovové odlesky ve fialových, modrých a zelených odstínech (Fox 1976; Doucet, Meadows 2009). Takovéto zbarvení můžeme pozorovat např. u samců páva chocholatého (*Pavo muticus*), který má tímto způsobem zbarvená oka na ocase (Zi et al. 2003). Neiridiscentní zbarvení vzniká tak, že světlo je peřím pohlceno a rozprostřeno na jeho povrchu. Takto vznikají azurově modrá zbarvení např. sojky obecné (*Garrulus glandarius*) nebo krasky (*Cissa* sp.) (Suvorov 2007). Strukturální zbarvení může být negativně ovlivněno parazitární infekcí nebo nedostatkem živin během přepeřování (McGraw et al. 2002).

U ptáků můžeme kromě znaků na peří pozorovat i výrazné zbarvení holých částí těl. Mezi neopeřené části těla patří nohy, oční okruží, zobák a kožní výrůstky jako jsou laloky nebo hřebeny (Veselovský 2001). Tento druh ornamentace je velmi výrazný například na samci krocana divokého (*Meleagris gallopavo*). Ten se vyznačuje lysou modře zbarvenou kůží na hlavě a krku, ze kterých vyrůstají laloky a výrůstky. Laloky a výrůstky mění barvu od červené po bílou až světle modrou. Jejich barva se mění v závislosti na ročním období nebo stavu zvířete. Ornamentace na holých částech krocana divokého slouží jako ukazatel schopnosti odolat parazitům, maximalizovat ukládání tuku nebo dosáhnout vyššího věku. Tyto dimorfní znaky



slouží v jejich případě pouze k přilákání samice v rámci sexuální selekce (Buchholz 1995).

## 4.2 Pigmenty

U ptáků můžeme pozorovat několik druhů pigmentů, karotenoidy, melaniny a porfyriny (Badyaev, Hill 2000). Tělo každého druhu ptáka na Zemi obsahuje alespoň jeden z těchto pigmentů (McGraw et al. 2002). Jedná se o chemické látky, které můžeme najít v peří, očích, skořápkách či kůži. Pigmentové molekuly absorbují určitou část světla, zbytek se odráží a vytváří tak výsledné vnímání barvy. Ptačí pera nabývají pestrých barev a odstínů právě pomocí barevných pigmentů, které jsou uloženy ve větvích a paprscích, jenž tvoří prapory per (Prum 2006).

### 4.2.1 Typy pigmentů

#### a) karotenoidy

Karotenoidy se řadí mezi barviva, která jsou rozpustná v tucích (Veselovský 2001). Dělí se na xantofyly (např. lutein, zeaxantin, astaxantin, kantaxantin) a karoteny (např.  $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -karoten,  $\gamma$ -karoten, lykopen). Karotenoidy slouží jako hlavní zdroj žluté, červené a oranžové barvy peří a neopeřených částí těl. Výjimkou je červené zbarvení papoušků, které není produkováno karotenoidy, ale lipochromy psittacofulviny (Mahler et al. 2003; McGraw, Nogare 2004).

Karotenoidová pigmentace je důležitým pohlavním signalizačním znakem u mnoha druhů ptáků. Ptáci získávají karotenoidy zpravidla až sekundárně z potravy, protože je sami nedokážou syntetizovat (Goodwin 1984; Brush 1990). Zpracováním potravy v trávicím systému dochází ke vzniku různých forem karotenoidů, které se následně dostávají do krevního oběhu. Transportní funkcí krevního oběhu se barvivo dostává do cílových orgánů, kterými jsou kůže a její deriváty (např. peří, zobák, hřebínek) (Trams 1969; Brush 1990). Kromě dekorativní funkce mají karotenoidy významnou funkci také jako antioxidanty a stimulanty imunitního systému (Mahler et al. 2003).

## **b) melaniny**

Melaniny jsou deriváty aromatických aminokyselin tyrozinu a fenylalaninu. Jedná se o jedny z nejrozšířenějších a nejznámějších pigmentů, které se nacházejí u živočichů, rostlin i hub (McGraw et al. 2002). Melaniny se vyskytují hlavně ve formě eumelaninu a pheomelaninu, ty se od sebe liší nejen zbarvením, ale i chemickým složením, přičemž vytváří černé, šedé, hnědé, žlutohnědé, rezavé nebo červenohnědé zbarvení (Owens 1998; Liu et al. 2005).

Melaniny jsou těžko analyzovatelné, protože vznikají složitým endogenním procesem, který je těžko pozorovatelný (McGraw 2006). Proces tvorby melaninu se nazývá melanogeneze (Gans, Northcutt 1983; Granholm, van Amerongen 1991; Plonka et al. 2009). Melanogeneze probíhá v různě velkých organelách, tzv. melanozomech, jež tvoří a shromažďují melanin v buňkách. Tyto organely jsou součástí kožních pigmentových buněk melanocytů. Melanocyty při vývoji jedince migrují na místa finálního výskytu pigmentace u dospělce. Takovými místy jsou např. prapory pera, oči nebo kůže. V těchto místech vzniká v dospělosti melaninový ornament (Hearing, Tsukamoto 1991; Plonka et al. 2009; Cichorek et al. 2013). Melanocyty mají schopnost ovládat lokální syntézu melaninu, pomocí způsobu, kterým se melanin ukládá do pera (McGraw 2006). V porovnání s karotenoidy nejsou melaniny vázané na potravu během pelichání, což bylo potvrzeno na studii vrabce domácího (*Passer domesticus*) a vlvovce hnědohlavého (*Molothrus ater*) (McGraw et al. 2002). Expresse těchto pigmentů je dána především geneticky a fyziologicky prostřednictvím hormonů. Není tedy lehce ovlivnitelná prostředím nebo stravou (McGraw 2003; Stoehr 2006). Z tohoto důvodu je melaninové zbarvení nepřesným ukazatelem kvality jedince v přírodě (McGraw et al. 2002). Melaniny signalizují zejména dominantní sociální postavení samců ve skupině (Rohwer 1975).

## **c) porfyriny**

Zbarvení na bázi porfyrinů je poměrně vzácné. Tato barviva obsahují ve své struktuře kovovou molekulu vytvářející zelené, červené a hnědé zbarvení. Vyskytují se převážně u nočních a soumráčných druhů ve formě uroporfyriu a metaloporfyriu, který vytváří hnědé až rezavé zbarvení (Brush 1978). To jim zajišťuje výborné maskování při lovu kořisti. Zvláštní druh porfyrinů (turacin a turacoverdin) mají např. afričtí turakové (*Musophagiformes*), kačeři kajky královské (*Somateria spectabilis*)

nebo křepelky korunkaté (*Rollulus rouloul*), jejichž peří bývá zbarveno jediným pravým zeleným pigmentem, který můžeme u ptáků spatřit. U většiny ostatních ptáků je zelená vytvářena kombinací dvou barev např. modré a žluté. Porfyriny můžeme nalézt hlavně na částech peří, které není přímo vystavováno světlu (Suvorov 2007).

## 5 Ornamentace

Ornamenty jsou charakteristické znaky ptačího vzhledu a mají různé tvary, velikost a barvu. Pozorujeme je na již zmíněných holých i opeřených částech těla. Příkladem ornamentace u ptáků jsou např. délka ocasních per, zbarvení peří, kožní výrůstky nebo zbarvení kůže. Ornamentace u zvířat slouží jako sociální, sexuální a informační prostředek, který často podléhá pohlavnímu výběru. Pomocí ornamentů se zvířata navzájem poznávají, dorozumívají, zjišťují, jaké mají kvality a v jakém zdravotním stavu se nacházejí (Dey et al. 2014).

Evoluční biolog Fisher (1915; 1930) jako první upozornil na fakt, že ornamentace neslouží pouze jako indikátor kvality pro samičí výběr, ale také pro ostatní samce během konkurenčních bojů. Ornamentaci proto dělíme na ornamenty a armamenty, přičemž ornamenty jsou preferovány samicemi a armamenty jsou samčím znakem postavení ve skupině a zbraní v boji samec proti samci (Berglund et al. 1996). Díky ornamentům se samice dokáže rychleji rozhodovat, který samec pro ni bude perspektivnější v rámci zajištění potomstva (Alatalo et al. 1986).

Armamenty jsou samčí ornamenty, představující zbraň, kterou jedinci využívají především v boji samec proti samci. Jedná se tedy o znak sociálního postavení v rámci jednoho druhu (Berglund et al. 1996). Tímto bojem se zabýval už Darwin (1871), který ho definoval jako boj jedinců jednoho pohlaví o přístup k pohlaví druhému. Tedy boj několika samců o konkrétní samici (Berglund et al. 1996). Je prokázáno, že armamenty sdělují okolí informace o bojových schopnostech jejich nositele (Hyatt, Salmon 1978; Barrette, Vandal 1990). Příkladem druhu, který využívá armamenty jako intrasexuální signál dominance a konkurenceschopnosti je modropláštník modroocasý (*Malurus coronatus*) (Fan et al. 2018).

## 5.1 Vznik a definice ornamentů

Ornamenty jsou charakteristickými znaky zvířat. Můžeme si pod nimi představit např. barevné peří, dlouhá ocasní pera nebo kožní výrůstky. Mnohé z nich jsou využívány u dospělých jedinců jako sekundární pohlavní znaky a jiné se objevují např. u ptačích mládřat v období, kdy jsou závislá na krmení rodiči (Alcock 1997). Bylo dokázáno, že ornamentace mládřat ovlivňuje rodiče v přidělu potravy. Zvýhodňování mládřat s pestrou ornamentací bylo prokázáno na mládřatech lysky americké (*Fulica americana*). Ty se rodí s dlouhými oranžovými chocholy na zádech a hrdlech. Jejich ornamenty poskytují rodičům signály, díky kterým určují, které mládě nakrmí přednostně. Barevnější jedinci jsou krmeni přednostněji a intenzivněji než ti s méně výraznou ornamentací (Krebs, Putland 2004).

Ptáci mohou ornamenty načechrat, prodloužit nebo je roztáhnout, čímž se snaží upoutat pozornost opačného pohlaví, které si následně vybere nejatraktivnějšího jedince, se kterým zplodí potomstvo. Samice tento znak využívají při výběru partnera, protože geny, které pomohly vytvořit tento ornament, zdědí i jejich potomstvo (van Dijk et al. 2010). Fisher (1930) poznamenal, že samčí mládě zdědí daný ornament, zatímco samice zdědí preference pro tento ornament.

V oblasti evoluce sekundárních pohlavních znaků existují dvě hlavní teorie vzniku ornamentů. Jednou z nich je Fisherův (1930) „runaway model“, který vysvětluje vývoj intenzivní samčí ornamentace vytrvalou řízenou samičí volbou. Teorie říká, že samčí předvádění výrazného ornamentu a samičí preference pro tento výrazný znak se navzájem posilují kvůli genetické korelaci. U jejich potomků je následně velká pravděpodobnost výskytu tohoto ornamentu a časem může druh dospět až k extrémnímu pohlavnímu dimorfismu. Fisherovu teorii (1930) potvrzuje samec páva korunkatého (*Pavo cristatus*), který má na rozdíl od samice extrémně dlouhá a barevná ocasní pera, která se zdají být neslučitelná s přirozeným výběrem. Tento znak se vyvinul i přes to, že dlouhý ocas snižuje hbitost samce a zároveň zvyšuje jeho viditelnost pro predátory. Z toho důvodu Fisherova teorie předpokládá, že vývoj dlouhého ocasu je možný jen v případě, že mají přednost v páření ti jedinci, kteří mají delší a barevnější ocasní pera než ti, co je nemají (Fisher 1915; 1930). Dalším takovým příkladem je vida kohoutí (*Euplectes progne*), kde si samice pro páření vybírají samce

s nejdelším ocasem. Samčí ocas dosahuje až 40 cm, což je dvojnásobek velikosti jeho těla (Singh 2016; Britannica 2018).

Druhou teorií je model dobrých genů („good genes“). Tato teorie navrhuje, že si samice vybírají samce s vlastnostmi, které jsou upřímnými indikátory („honest signals“) schopnosti samce předávat geny, které zvýší přežití nebo reprodukční úspěch jejich potomků. Hypotéza dobrého genu pro polyandrii navrhuje teorii, že pokud samice najde lepšího partnera, než byl ten předešlý, znovu dochází k páření, aby oplodnila vajíčka spermatem kvalitnějšího samce (Yasui 1997). Příkladem good genes teorie je samice hýla mexického (*carpodacus mexicanus*), která se páří raději s jasně zbarvenými samci, kteří mají zároveň vysoké procento přežití zimních měsíců. Tato preference naznačuje, že páření s takovými samci zvýší přežití jejich potomků (Hamilton, Zuk 1982; Britannica 2019).

## 5.2 Sexuální selekce

Ptáci jsou bezkonkurenčně nejpestřeji zbarvenými obratlovci a velmi často tak využívající komunikaci pomocí ornamentů. Jako ornament mohou sloužit jak opeřené, tak neopeřené části těla (Veselovský 2001).

Sexuální selekce představuje přirozenou součást života živočichů. Jedná se o evolučního činitele, kdy si jedinec vybírá nejideálnějšího partnera pro rozmnožování a dává tak vznik silnému a kvalitnímu potomstvu (Darwin 2007). Cílem všech živočichů je předat své geny co nejvíce potomkům a zajistit tak pokračování svých genů (navyšování „fitness“) (Mays et al. 2008).

Pohlavní výběr poprvé popsal Charles Darwin (1871), který popisuje dva základní mechanismy výběru—intrasexuální a intersexuální. Intrasexuální výběr označuje proces vnitrodruhové selekce, při kterém dochází ke konkurenčnímu boji mezi členy stejného pohlaví. Typicky se odehrává mezi samci ucházejícími se o příležitost reprodukce. Intersexuální selekce zahrnuje výběr mezi jedinci opačného pohlaví. Nejčastěji se s tímto procesem setkáváme u samic, které si volí atraktivního partnera pro páření. Na pohlavní atraktivitě se podílí zejména velikost, zbarvení, tvar těla a chování jedince. U ptáků se setkáváme například s namlouvacími rituály,

společným budováním hnízda nebo situacemi, kdy samec poskytuje samici potravu před kopulací (Thornhill 1976).

### 5.3 Signalizační funkce ornamentů

Rozsah, pestrost a symetrie ornamentů plní významnou signalizační funkci, kdy okolí získává informace o daném jedinci. Ptáci výrazné zbarvení v podobě ornamentů využívají v oblasti sexuální selekce, při teritoriálních interakcích mezi samci či obraně svého teritoria před predátory. Naopak nevýrazné zbarvení slouží k maskování především samic, mláďat a vaječných skořápek (Keyser, Hill 2000).

V rámci sexuální selekce si samice vybírají ideálního partnera pro kopulaci. Výrazná ornamentace je energeticky velmi náročná a zároveň zvyšuje riziko predace jedince následkem snížení jeho krypse v prostředí. Tímto vzniká trade-off mezi zvýšením vlastního fitness a rizikem predace (Darwin 1871). Samice si pro zajištění kvalitního potomstva vybírá vždy nejzdatnějšího samce, přičemž se rozhoduje na základě samčích čestných signálů kvality („honest signals“), které můžeme pozorovat na již zmíněných opeřených či holých částech těl ptáků (Pomiankowski 1987). V případě, že se jedná o přímé znaky kvality, bývá jejich vyjádření omezeno vysokými náklady na jejich vytvoření nebo udržení (Kodric-brown, Brown 1984).

Podstatným a přímým ukazatelem kvality jedince může být karotenoidní zbarvení. Pokud má pták syté karotenoidové zbarvení, znamená to, že jeho tělo má větší množství tohoto pigmentu, než fyziologicky potřebuje a na základě toho je označen za zdatného jedince (Hill 1999). Intenzita ornamentů na bázi karotenoidů může signalizovat také rozmnožovací zdatnost jedince. To lze pozorovat např. na plameňácích (*Phoenicopteridae*), u kterých dochází v případě nedostatku karotenoidů v potravě ke zhoršení reprodukční schopnosti (Suvorov 2007).

Völker (1938) na evropských pěvcích prokázal, že karotenoidy jsou u obratlovců získávány z rostlinných látek, a to buď konzumací ovoce, semen nebo jiných částí rostlin. Dále také z kořisti, především konzumací býložravců. Fakt, že ptáci získávají pigmenty z potravy vedl k hypotéze, že rozdíly v přísunu pigmentů v potravě mohou ovlivnit karotenoidní zbarvení ptáků (Hill 1992, 1993). Příkladem barviva získaného z potravy je xantaxtin. Ten získávají plameňáci z řas a drobných

korýšů. Pokud nemají dostatečný příjem této potravy bohaté na xantaxin, své typické růžové zbarvení ztrácejí (Hill, McGraw 2006).

Tato hypotéza byla potvrzena také na studii Velando et al. (2006). Ti prováděli výzkum na tereji modronohém (*Sula nebouxi*), který má modré nohy zbarvené na bázi strukturálních barev a karotenoidů. Výsledky z jejich studie prokázaly, že pokud jsou samci po dobu 48 hodin odstaveni od jídla, jejich nohy blednou, ale naopak pokud jsou opět nakrmeni čerstvými rybami, intenzita modrého zbarvení se opět zvyšuje. Z toho vyplývá, že karotenoidy odhalují imunologický stav, ve kterém se zrovna nachází, případně jeho schopnost opatřit dostatečné množství potravy. Díky hustému prokrvení neopeřených částí těla se mohou fenotypové změny ornamentu projevit i v řádu několika dnů nebo hodin (Dey et al. 2014).

Fakt, že karotenoidy odráží imunologický stav jedince potvrdili také Faivre et al. (2003) na studii kosa černého (*Turdus merula*), který má zobák zbarvený právě díky karotenoidům. Zjistili, že jedincům, kterým byl podán antigen SRBC (Sheep Red Blood Cells) se značně snížila barevnost jejich zobáku. Dokázali tím, že během aktivace imunitního systému jsou “přebytečné” karotenoidy stahovány z oběhu za účelem lepšího fungování imunitního systému a zároveň k vypořádání se s produkcí volných radikálů, které se tvoří během obranné reakce. To vše probíhá na úkor sexuální signalizace, která rychle odráží expresi karotenoidů do ornamentů. Naznačuje to také trade-off mezi přidělováním karotenoidů do ornamentů nebo do imunitního systému. Tato signalizace bývá využívána během intersexuálních a intrasexuálních interakcí.

K produkci červených pigmentů používají ptáci žluté karotenoidy a endogenně je přeměňují na červené ketokarotenoidy oxidační reakcí katalyzovanou ketolázou (Brush 1990, Goodwin 1984). Ketoláza je enzym, který generuje ketokarotenoidy, vyskytuje se v kůži, játrech a sítnici (Mundy, 2016). Tato schopnost přeměnit žluté karotenoidy na červené je druhově specifická schopnost. Příkladem těchto druhů je kardinál červený (*Cardinalis cardinalis*), hýl nachový (*Carpodacus purpureus*) nebo křivka obecná (*Loxia curvirostra*) (Brush, 1990).

McGraw et al. (2003) sledovali vztahy mezi příjmem potravy, cirkulací karotenoidů v plazmě a pigmentací zobáku na bázi karotenoidů u zebříček pestrých. Snažili se zjistit, zda pigmentace zobáku slouží jako indikátor dostatečného přísunu

pigmentů ve stravě a transportu karotenoidů přes krevní oběh. Během jejich experimentu výběru potravy zjistili, že samci mají pestřeji zbarvené zobáky než samice, a to i přes to, že samice konzumovaly stejný typ a množství potravy jako samci. Zjistili také, že u samců i samic zebříček cirkulovaly v krevní plazmě stejné čtyři hlavní karotenoidní pigmenty (lutein, zeaxanthin, anhydrolutein a  $\alpha$ -kryptoxanthin), ale u samců cirkulovala významně vyšší koncentrace plazmatických karotenoidů než u samic. Jednotlivci s vyšší hladinou karotenoidních pigmentů měli jasněji zbarvené zobáky. Výsledkem tedy je, že u zebříček pestrých hraje ve zbarvení zobáku důležitější roli plazmatický transport pigmentů než složení nebo množství stravy bohaté na karotenoidy. Jedna z možností, proč nebyly samice tak pestře zbarvené byla, že samice získané karotenoidy investuje do vývoje embrya na místo pestrého zbarvení. Tímto poznatkem McGraw et al. (2003) dokázali, že ne u všech druhů platí hypotéza Hilla (1992), že ptáci konzumující větší množství karotenoidů v potravě jsou pestřeji zbarvení.

Kromě výše zmíněných signalizačních funkcí ornamentů u dospělých jedinců existuje také signalizační funkce ornamentů u mláďat. Bylo dokázáno, že ornamentace mláďat ovlivňuje rodiče v přidělu potravy. Zvýhodňování mláďat s pestrými ornamentací bylo prokázáno např. na mláďatech lysky americké (*Fulica americana*). Ty se rodí s dlouhými oranžovými chocholy na zádech a hrdlech. Jejich ornamenty poskytují rodičům signály, díky kterým určují, které mládě nakrmí přednostně. Barevnější jedinci jsou krmeni přednostněji a intenzivněji než ti s méně výraznou ornamentací (Krebs, Putland 2004).

## 5.4 Pohlavní dimorfismus a asortativní párování

Pohlavní dimorfismus vzniká v důsledku sexuální selekce, přičemž se vyznačuje tím, že samec a samice stejného druhu se od sebe liší nejen pohlavními orgány, ale i svým tělesným vzhledem, tzv. sekundárními pohlavními znaky. Jsou jimi morfologické znaky jako je např. odlišné zbarvení, velikost nebo tvar těla. Ptáci jsou známí tím, že mají na rozdíl od jiných živočišných druhů mnohem nápadnější druhotné pohlavní znaky (Darwin 1871). Mnoho autorů došlo k závěru, že jedním z důvodů vzniku pohlavního dimorfismu je karotenoidní zbarvení. Argumentem pro toto tvrzení bylo, že v porovnání s ostatními pigmenty je vytvoření karotenoidů energeticky



nejnákladnější a samec jejich pomocí může demonstrovat své kvality (Mahler et al. 2003).

Znaky pohlavního dimorfismu se vyvíjejí převážně u samců, kteří bývají vystaveni samičímu pohlavnímu výběru. Tyto znaky můžeme pozorovat na opeřených nebo holých částech těl ptáků. Některé znaky, jako jsou např. výrazné zbarvení peří, zobáku nebo kůže na hlavě či krku, nám mohou signalizovat dobrou kondici a kvalitu daného jedince (Ligon 1999). Kromě barevnosti daných znaků záleží i na jejich symetrii, která také patří mezi indikátory kvality (Moller 1991).

U ptáků můžeme pozorovat pohlavní dimorfismus stálý nebo dočasný. K dočasnému dochází většinou v době páření, kdy jsou ptáci nejvíce pohlavně aktivní a jejich sekundární pohlavní znaky jsou velmi výrazné. Příkladem takového dimorfismu je pestře zbarvený svatební šat, který můžeme pozorovat např. u samců kachen divokých (*Anas platyrhynchos*) (Duellman, Trueb 1994).

Pohlavní dimorfismus závisí na stáří daného jedince. Dimorfní znaky se totiž v průběhu života mění a vyvíjí se. Většina mláďat v juvenilním období má nenápadné zbarvení podobně jako samice. To se však od dospělých jedinců liší. Příkladem této vývojové změny jsou např. rackovití (*Laridae*), kdy dochází k změnám v opeření v rámci několika let (Kořínek 1999).

Na základě znaků pohlavního dimorfismu a jejich vnější (fenotypové) podobnosti dochází k asortativnímu párování. V případě, že si jedinec hledá fenotypově shodný protějšek hovoříme o homogamii, tedy o pozitivním asortativním párování (Buss, Barnes 1986; Alvarez, Jaffe 2004; Little et al. 2006). Znamená to tedy, že velký samec má tendenci pářit se s velkou samicí a naopak (Delestrade 2001; Shine et al. 2001). Kromě velikostních preferencí bylo u ptáků zjištěno také párování na základě věku, rodičovského chování, kondice nebo sociálního postavení (Black, Owen 1995; Rintamäki et al. 1998). Pozitivní asortativní párování probíhá také na základě melaninových, strukturálních nebo karotenoidních ornamentů. To naznačuje, že se jedinci asortativně párují na základě kvalitativní podobnosti (Hill 1993; Roulin 1999b; Regosin, Pruett-Jones 2001). Jawor et al. (2003) na kardinálu červeném (*Cardinalis cardinalis*) potvrdili, že pozitivní asortativní párování probíhá jak na

základě zbarvení peří, tak na základě ornamentace holých částí jako byl v jejich případě zobák.

## **6 Modelový organismus-čejka černoprsá (*Vanellus indicus aigneri*)**

Z taxonomického hlediska čejky černoprsé spadají do rodu *Vanellus* (čejka), čeledi Charadriidae (kulíkovití) a řádu Charadriiformes (dlouhokřídlí). Řád dlouhokřídlí se dále rozděluje na podřád bahňáci, racci a alky. Právě čejky jsou nejpočetnějšími a nejznámějšími zástupci bahňáků. Samci i samice jsou stejně zbarveni. Jejich křídla a záda mají světle hnědou barvu s fialovými odlesky, ale hlava, krk, hrudník a ocasní pera jsou černá. Pera křídel jsou ze spodní strany bílá a jsou viditelná pouze během letu. Od očí přes břicho až k ocasu vede výrazná bílá skvrna. Kolem očí mají výrazné červené okružní s masitým červeným lalokem směřujícím k zobáku. Zobák má také červenou barvu a je zakončený černým hrotem. Dalším výrazným prvkem na jejich těle jsou dlouhé žluté nohy. Osobitý vzhled je doplněn jejich hlučnou povahou. Čejky jsou nepřetržitě ostražitě a jsou první, kdo detekuje nebezpečí a vyvolá poplach svým hlasitým poplachovým voláním. Jejich let je pomalý, ale velmi obratný např. při obraně hnízda před predátory (Jackson 1976; Gupta, Kaushik 2011).

Oblast výskytu se rozléhá od států Perského zálivu (Spojené Arabské Emiráty, Irák, Írán atd.), přes státy jižní Asie až po východní a jihovýchodní Asii. Čejky černoprsé žijí obvykle v párech nebo trojicích, a to na dobře zavlažovaných místech, v blízkosti vodních nádrží nebo kaluží. Preferují otevřené krajiny, pastviny nebo zoraná pole (Rakesh 1997).

V období rozmnožování mohou vytvářet velká hejna od 26 do 200 ptáků. Čejky žijí v monogamii, ale můžeme se setkat i s výjimkami polygynie (jeden samec a dvě až tři samice). Sezóna namlouvání a párování probíhá hlavně v období od března do srpna. Pokud je namlouvací akt úspěšný, dochází ke kopulaci a následně ke snášení vajec do mělkých jamek v zemi (hnízdnicích kotlinek), které předem připravil samec (Rakesh 1997). Jamky jsou někdy lemované oblázky, kozím nebo zaječím trusem. Samice snáší 3-4 kropenatá vejce s průměrem 42x30mm. Vejce jsou krypticky

zbarvená a velmi dobře splývají se zemí (viz příloha č. 1). Rodiče si namáčejí břišní peří, kterým následně ochlazují vejce během horkých dní a zároveň tak dodávají vodu vylíhnutým kuřatům. Kuřata se líhnou za 28 až 30 dní. Samec i samice se střídají v inkubaci vajec a zastrašují potenciální predátory pomocí náletů nebo manévrování během letu. Čejky většinou hnízdí ve společenství několika párů, kde si každý brání své hnízdní teritorium (Khajuria 1972; Saxena 1973; Kalsi, Khera 1986). Jejich strava zahrnuje hmyz, plže a další bezobratlé živočichy, které vybírá ze země. Mohou se živit také některými semeny (Jackson 1976).

Obr. č. 2: čejka černoprská (Eva Vozabulová 2019).

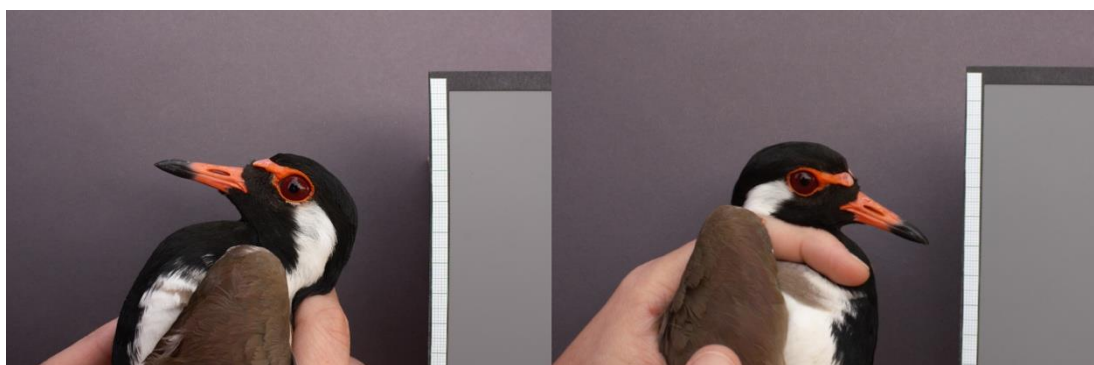


## 7 Metodika

### 7.1 Terénní sběr dat

Studie byla prováděna na hnízdní populaci čejky černoprsé v soustavě uměle vytvořených lagun v přírodní rezervaci Al Marmoom, Dubaj, Spojené Arabské Emiráty. Terénní sběr dat probíhal v hnízdní sezóně 2018 a 2019. Ptáci byli odchytáváni na hnízdě do sklopky, barevně značeni, váženi, měřeni a fotografováni. Také jim byl odebíráán krevní vzorek, ze kterého bylo pomocí PCR analýzy zjišťováno pohlaví jednotlivců (Griffiths et al. 1998). Fotografie byly pořizovány fotoaparátem Canon450D ve formátu RAW s využitím expozičního bracketingu. Ke standardizaci fotografií byl použit barevný standard XRiteColour Grey 18 % a milimetrové měřítko. Pořizovány a dále analyzovány byly dva typy fotografií, levá a pravá strana hlavy (viz obr. č. 3). Celkem byly zpracovány fotografické záznamy 87 jedinců z 68 hnízd. U 24 vybraných jedinců byla v terénu změřena reflektance širší kraniální části očního laloku pomocí spektrofotometru Jaz 200-850 nm Ocean Optics Inc., který nám byl zapůjčen na omezený čas Ústavem biologie obratlovců AV ČR. Reflektance byla měřena za standardizovaných světelných podmínek v temné komoře (viz příloha č. 2). Měření bylo opakováno vždy čtyřikrát.

Obr. č. 3: Dva typy fotografií pořizované při sběru dat (Eva Vozabulová 2019).

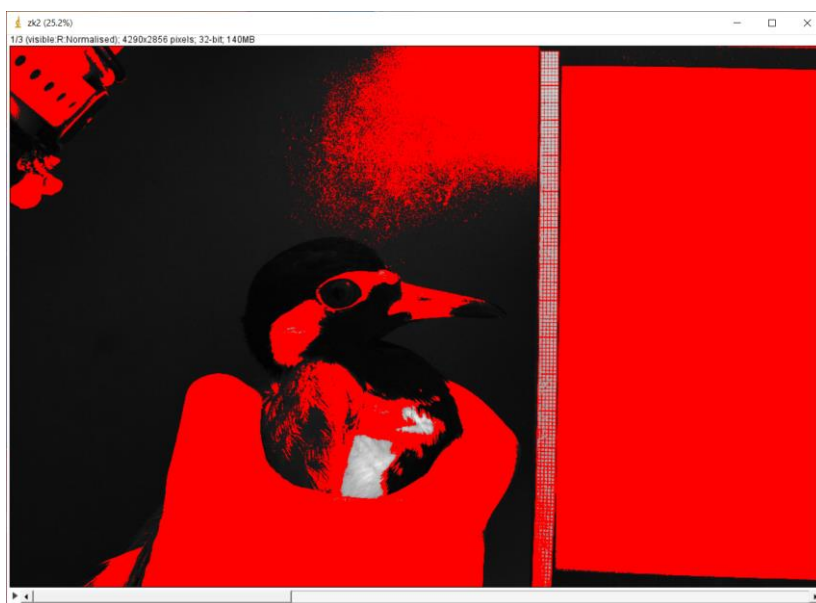


## 7.2 Zpracování fotografií v programu ImageJ

Fotografie byly zpracovány v programu ImageJ 2.0.2. pomocí pluginu micaToolbox (Troscianko, Stevens 2015). Pro zpracování fotografií bylo použito nastavení (viz příloha č. 3). Fotografie a soubory patřící k ní byly pojmenovány anglickou zkratkou strany, ze které byla fotka pořízena, číslem identifikačního kroužku a číslem zpracované fotky např. r\_CF79\_IMG1469. Dále byl na fotografii nástrojem Rectangle označen 18% standard (viz příloha č. 4) a nástrojem Line určena velikosti měřítka (Scale Bar), v našem případě 10 mm (viz příloha č. 5).

U fotografií byla označena celá plocha očního laloku pomocí nástroje Wand Tool (Threshold) s nastavením (viz příloha č. 6). Tento nástroj označil plochy s vysokým rozdílem v kontrastu (viz obr. č. 4). Plocha očního laloku byla manuálně vybrána a případně dovektorizována tak, aby odpovídala realitě.

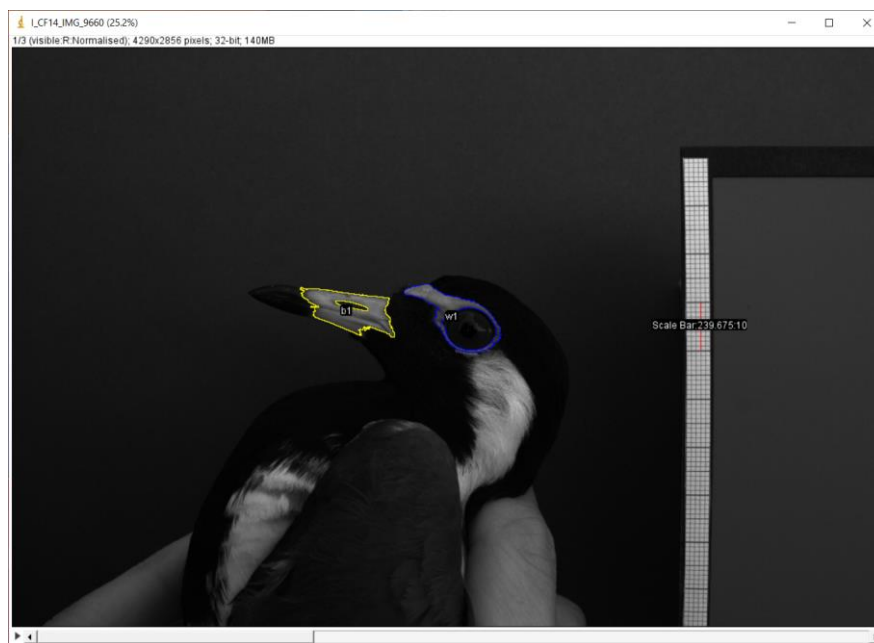
Obr. č. 4: Použití nástroje Wand Tool ke zpracování očních laloků a zobáku ze strany.



Po zpracování fotografií popsaném výše vznikly ke každé fotografii dva soubory. Jedním souborem byl zipový soubor ROI obsahující označené zájmové oblasti fotografie (lalok) a druhým souborem byl soubor MSPEC (multispectral image), kterým byla upravená fotografie (viz obr. č. 5). Pro správný výpočet velikosti laloku byl u upravených fotografií zjištěn minimální počet pixelů/mm pomocí nástroje Batch scale bar calculation (viz příloha č. 7). Následně byla fotografie zpracována pomocí nástroje Batch multispectral image analysis v rozsahu 400-700 nm (viz příloha

č. 8). Výstupem tohoto zpracování byl soubor .csv, který obsahoval naměřené hodnoty reflektance v červeném, modrém a zeleném spektru a údaje o velikosti plochy ornamentu v pixelech. S těmito údaji jsem dále pracovala v programu R Core Team (2021), viz kapitola Statistické zpracování dat.

Obr. č. 5: Označené zájmové oblasti fotografie čejky černoprsé ze strany.



### 7.3 Zpracování dat pomocí spektrofotometru

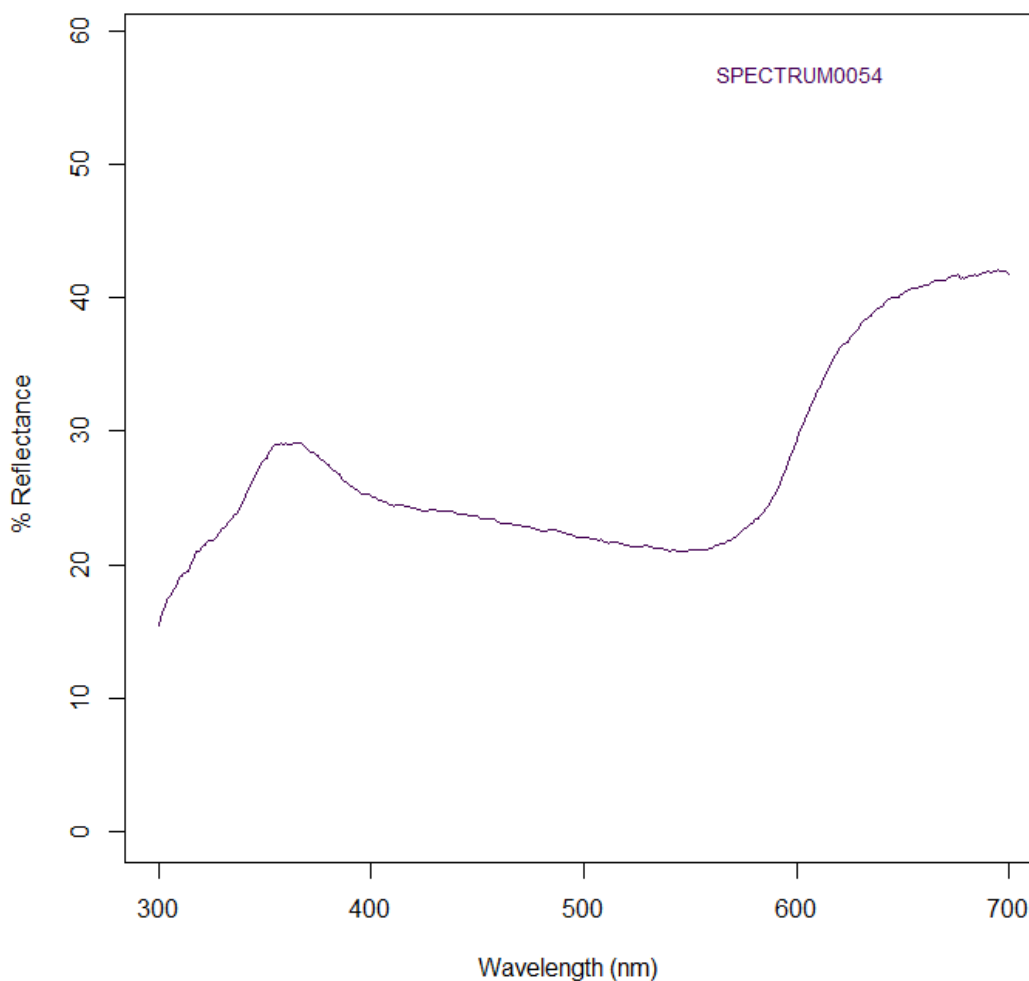
Protože mají ptáci odlišnou schopnost vnímat barvy a dokážou na rozdíl od lidí vidět i barvy reflektující v UV spektru, byl pro hodnocení dat použit také spektrofotometr. Po naše účely byl použit spektrofotometr Jaz 200-850 nm Ocean Optics Inc. Spektrofotometr je jediný přístroj, který dokáže vyhodnotit charakter a množství světla, které se od daného předmětu odráží. Na základě toho dokáže objektivně hodnotit barevnost předmětu. Odrazivost světla byla měřena ve vlnových délkách v rozmezí 300-700 nm. Výstupem měření spektrofotometru je křivka odrazivosti (reflektance), která nám ukazuje množství odraženého světla na určité vlnové délce (viz obr. č. 6). Tato křivka nám objektivně popisuje charakter barvy daného předmětu, přičemž charakter barvy je složen ze tří veličin, kterými jsou odstín, sytost a jas (Šulc, Honza 2014). V rámci této bakalářské práce byla počítána sytost červené a UV barvy očních laloků čejky černoprsé (viz tab. č. 2), se kterou se dále pracovalo ve statistických metod pro zjištění závislosti barvy očních laloků na pohlaví.

Výsledky analýzy byly porovnány s výsledky získanými analýzou fotografie v programu Image J.

Tab. č. 2: Tabulka s výpočty sytosti očních laloků.

|                           |   |
|---------------------------|---|
| UV sytost                 | UV reflexe/celková reflexe  |
| Fialová a modrá sytost    | Fialová a modrá reflexe/ celková reflexe                          |
| Zelená a žlutá sytost     | Zelená a žlutá reflexe/ celková reflexe                           |
| Oranžová a červená sytost | Oranžová a červená reflexe/ celková reflexe                       |
| $\lambda$ UV (odstín UV)  | vlnová délka, při které je reflexe v intervalu 300-400nm nejvyšší |

Obr. č. 6: Křivka zobrazující reflektanci očního laloku čejky černoprsé.



#### 7.4 Statistické zpracování dat

Data byla statisticky zpracována a vyhodnocena pomocí programu R Core Team (2021). V první řadě byly stanoveny nulové a alternativní hypotézy. Nulová hypotéza ( $H_0$ ) je vždy formulována jako nepřítomnost rozdílu mezi pozorovanými hodnotami. Opakem nulové hypotézy je hypotéza alternativní ( $H_A$ ), která svou formulací poukazuje na statisticky významný rozíl mezi naměřenými hodnotami.

Následně bylo zjišťováno, zda data splňují předpoklady pro použití parametrických testů. Hlavním kritériem použití parametrického testu je normální rozložení dat, které bylo otestované pomocí Shapiro-Wilkova testu (S-W test). V případě nesplnění předpokladu o normalitě dat, byl použit test neparametrický.



Veškeré testování proběhlo na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Pakliže výsledná p-hodnota byla menší než hladina významnosti  $\alpha$ , došlo k zamítnutí nulové hypotézy a přijetí hypotézy alternativní (Haruštiaková 2017).

První část statistické analýzy proběhla na výstupních datech programu ImageJ, druhá část statistické analýzy proběhla na datech získaných spektrofotometrem. V první části statistické analýzy byl testován i) rozdíl a korelace velikosti a sytosti červené barvy mezi pravým a levým lalokem, ii) rozdíl ve velikosti a sytosti červené barvy laloků mezi samci a samicemi (pohlavní dimorfismus), iii) korelace velikosti a sytosti červené barvy očních laloků mezi partnery (asortativní párování). V druhé části statistické analýzy byl testován rozdíl sytosti červené a UV barvy laloků mezi samci a samicemi.

V rámci první části statistické analýzy bylo nejprve zjišťováno, zda existuje rozdíl mezi pravou a levou stranou očního laloku v rámci pozorovaných znaků sytosti červené barvy a velikosti očních laloků (i.). Analyzovaná data byla získána na 87 jedincích. Sledovaný znak na pravé i levé straně se vztahoval na daného jedince, čímž se jednalo o párová data, která byla otestována pomocí párového testu. Navíc byla provedena korelační analýza, která vyhodnocuje míru vztahu mezi dvěma veličinami.

Následně bylo zjišťováno, zda existuje rozdíl v sytosti červené barvy očního laloku mezi samci a samicemi (ii.). Statistická analýza proběhla na 38 samicích a 49 samcích pomocí dvouvýběrového testu. Pro tento test byla vypočítána průměrná hodnota sytosti červené barvy z obou laloků dohromady. Oční laloky tak byly analyzovány jako jeden ornament, a ne separátně každý zvlášť. Závislost velikosti očního laloku na pohlaví byla počítána pomocí modelu lineární regrese, v rámci kterého byla v interakci zohledněna velikost hlavy. Tím bylo zabráněno nepřesné interpretaci výsledku, kdy by velikost laloku mohla být ovlivněna velikostí jedince. Vstupními hodnotami bylo pohlaví, velikost hlavy a velikost očního laloku. Stejně jako u sytosti červené barvy očního laloku byla vypočítána průměrná hodnota velikosti z obou očních laloků.

Dále bylo zjišťováno, zda se jedinci čejky černoprsé párují na základě sytosti červené barvy očního laloku a velikosti očního laloku (iii.). Asortativní párování bylo testováno pomocí výpočtu korelačního koeficientu, páry tvořilo 32 jedinců z 16 hnízd. Vstupními daty byla průměrná hodnota velikosti a sytosti červené z obou laloků.

V druhé části statistické analýzy byl zjišťován rozdíl v sytosti UV a červené barvy mezi samci a samicemi z dat naměřených spektrofotometrem. Nejprve byla analyzována sytost červené barvy, a to z důvodu porovnání shodnosti výsledků mezi analýzou fotografie a spektrofotometrickým měřením. Statistická analýza proběhla obdobně jako v případě dat z programu ImageJ, kdy se testovaly dva nezávislé výběry. Vstupní data představují průměrnou hodnotu z pravého a levého očního laloku dohromady. Měření spektrofotometrem proběhlo pouze na 24 jedincích.

Z dat naměřených spektrofotometrem byla vypočtena UV sytost očního laloku. Byl proveden test rozdílu UV sytosti očního laloku mezi samci a samicemi. Vstupními daty byla průměrná hodnota sytosti z pravého a levého očního laloku. Protože byla porovnávána UV sytost mezi pohlavím, byl využit dvouvýběrový test. Toto měření probíhalo stejně jako v předchozím testu na 24 jedincích.

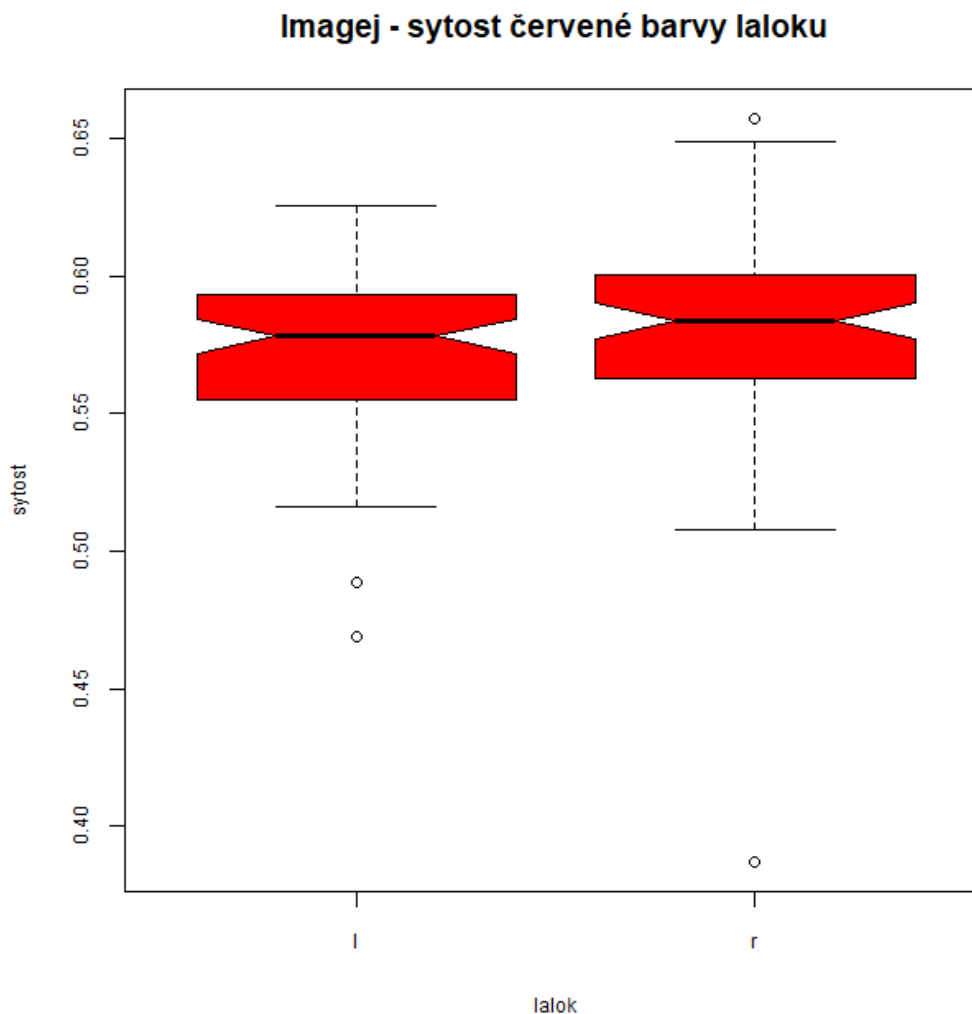
## 8 Výsledky

### 8.1 Výsledky ImageJ

#### Testování sytosti červené barvy pravého a levého očního laloku

Nulová hypotéza zněla, že není rozdíl mezi sytostí červené barvy levého a pravého očního laloku. Alternativní hypotéza zněla, že je rozdíl mezi sytostí červené barvy levého a pravého očního laloku. Provedeným S-W testem s výslednou hodnotou **p=0,009** nebyl splněn předpoklad o normálním rozložení dat, proto byl použit neparametrický párový Wilcoxonův test. Na základě výsledné p-hodnoty Wilcoxonova testu **p=0,011** byla zamítnuta nulová hypotéza. Bylo přijato tvrzení, že existuje statisticky významný rozdíl mezi sytostí červené barvy levého a pravého očního laloku (viz obr. č 7).

Obr. č. 7: Graf sytosti červené barvy levého a pravého očního laloku.



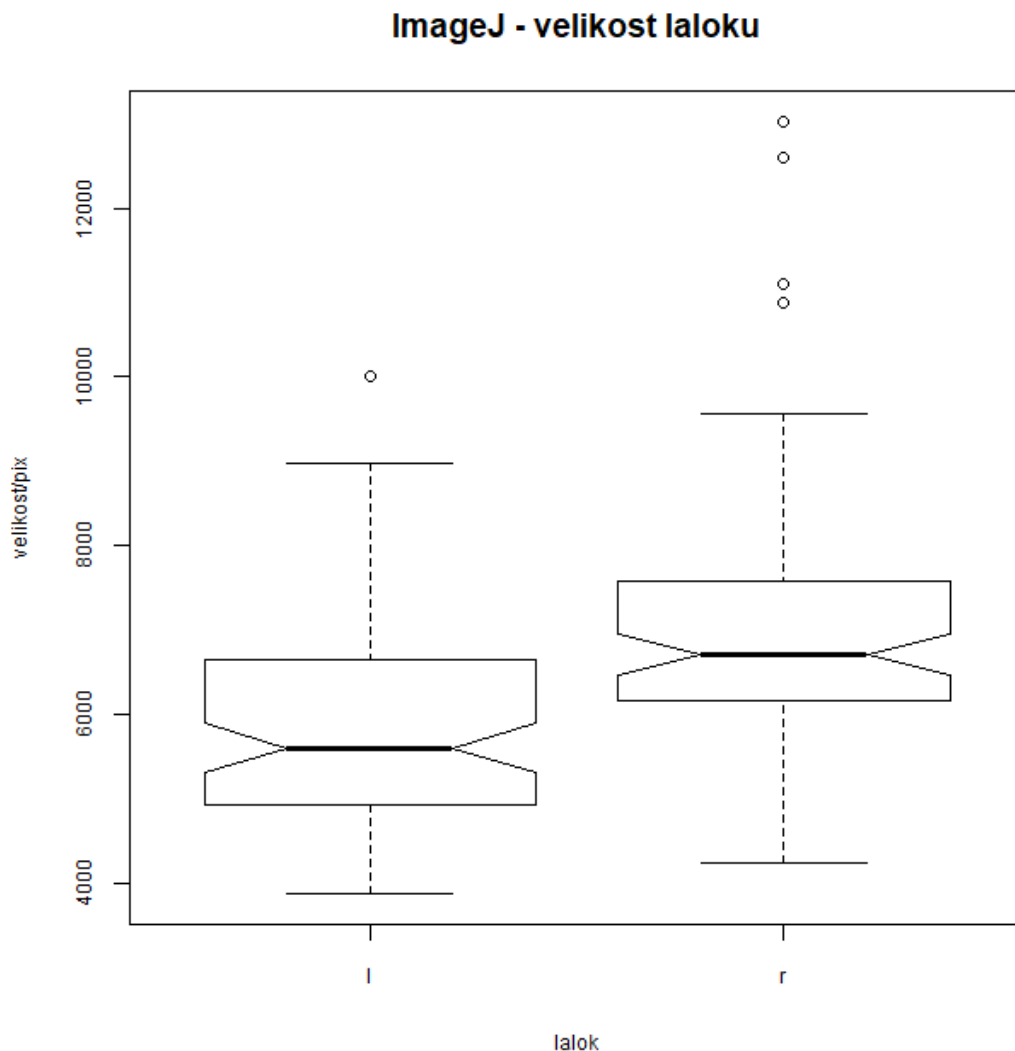
l= left (levý lalok), r=right (pravý lalok)

Dále proběhlo testování korelace mezi zbarvením pravého a levého laloku. Byla sestavena nulová hypotéza, která říká, že sytost červené barvy pravého a levého očního laloku není lineárně závislá. Alternativní hypotéza říká, že sytost červené barvy pravého a levého očního laloku je lineárně závislá. Vzhledem k nenormálnímu rozdělení dat (S-W test,  $p < 0,05$ ) byl pro výpočet korelační analýzy použit Spearmanův korelační test. Korelační koeficient  $r=0,451$  ( $p < 0,001$ ) představuje mírný až střední stupeň korelační závislosti. Pro lepší interpretaci výsledku byl převeden na koeficient determinace  $r^2=0,203$ , který nám říká, že sytost červené barvy je na sebe kladně lineárně závislá z 20,3 %.

## Testování velikosti pravého a levého očního laloku

Nulová hypotéza stanovuje, že není rozdíl mezi velikostí levého a pravého očního laloku. Alternativní hypotéza stanovuje, že je rozdíl mezi velikostí levého a pravého očního laloku. Provedeným S-W testem ( $p < 0,05$ ) nebyl splněn předpoklad o normálním rozložení dat. Vzhledem k tomu byl použit párový Wilcoxonův test. Na základě výsledné p-hodnoty Wilcoxonova testu  $p < 0,001$  byla zamítnuta nulová hypotéza. Bylo přijato tvrzení, že mezi velikostí levého a pravého očního laloku byl nalezen statisticky signifikantní rozdíl (viz obr. č. 8).

Obr. č. 8: Graf velikosti levého a pravého očního laloku.



l= left (levý lalok), r=right (pravý lalok)

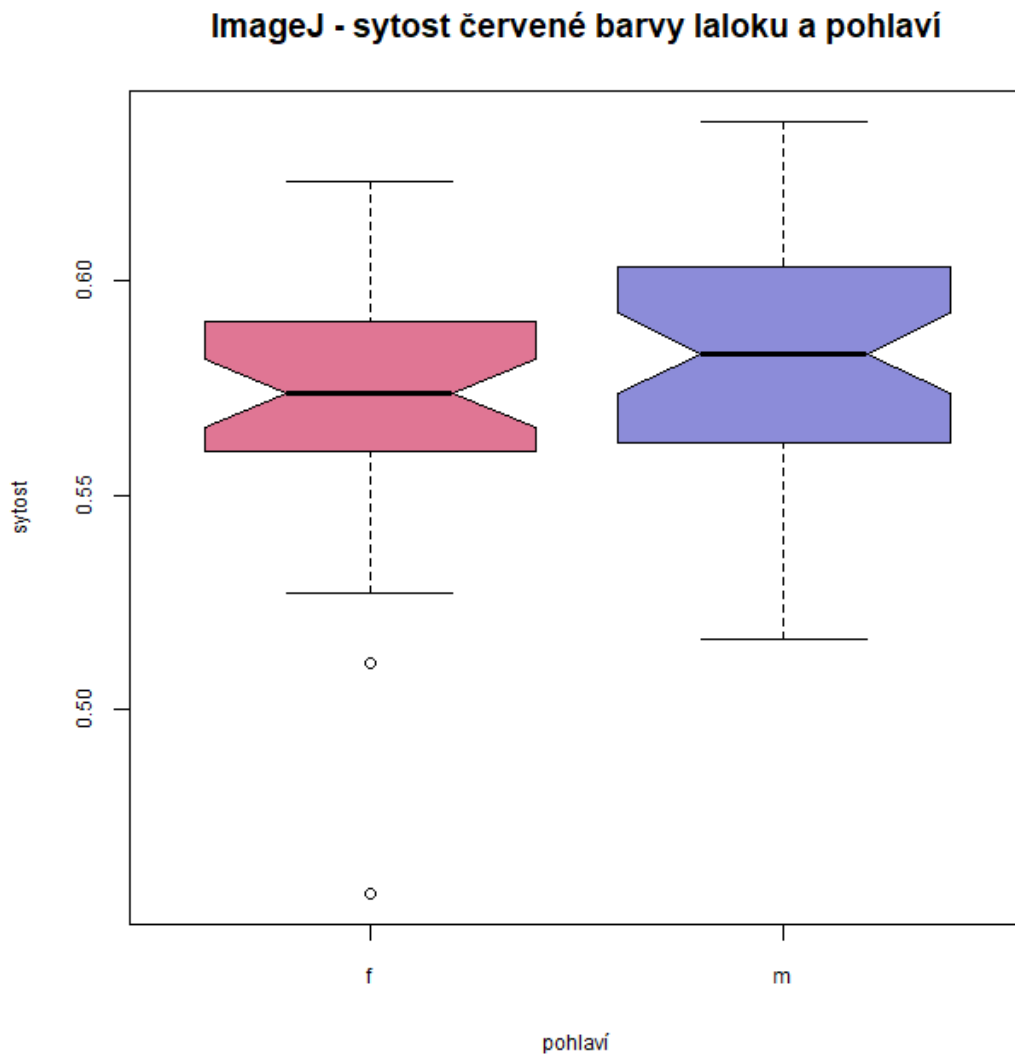
Následně proběhlo testování korelace mezi velikostí pravého a levého očního laloku. Byla stanovena nulová hypotéza, která říká, že velikost pravého a levého očního laloku není lineárně závislá. Alternativní hypotéza říká, že velikost pravého a levého očního laloku je lineárně závislá. Vzhledem k nenormálnímu rozložení dat (S-W test,  $p < 0,05$ ), byl pro výpočet korelační analýzy použit Spearmanův korelační test. Korelační koeficient  $r=0,475$  ( $p < 0,001$ ), představuje mírný až střední stupeň korelační závislosti. Pro lepší interpretaci výsledku byl převeden na koeficient determinace  $r^2=0,226$ . Ten nám říká, že velikost pravého a levého očního laloku je na sebe kladně lineárně závislá z 22,6 %.

Dle výsledků provedených analýz byl zjištěn statisticky prokazatelný rozdíl mezi velikostí a sytostí červené barvy levého a pravého očního laloku. Na základě těchto výsledků byl v následných analýzách používán průměr hodnot z obou laloků, reprezentující oba laloky jako jeden ornament.

#### **Testování sytosti červené barvy očního laloku v závislosti na pohlaví**

Nulová hypotéza zní, že není rozdíl mezi sytostí červené barvy očních laloků samců a samic. Alternativní hypotéza zní, že je rozdíl mezi sytostí červené barvy očních laloků samců a samic (viz obr. č. 9). Byla zamítnuta normalita dat (S-W test,  $p < 0,05$ ), proto byl použit neparametrický dvouvýběrový Wilcoxonův test ( $p=0,166$ ), a základě jeho výsledku byla přijata nulová hypotéza. Bylo tak přijato tvrzení, že mezi samci a samicemi není statisticky signifikantní rozdíl v sytosti červené barvy očních laloků.

Obr. č. 9: Graf průměrných hodnot sytosti červené barvy očních laloků u samců a samic.

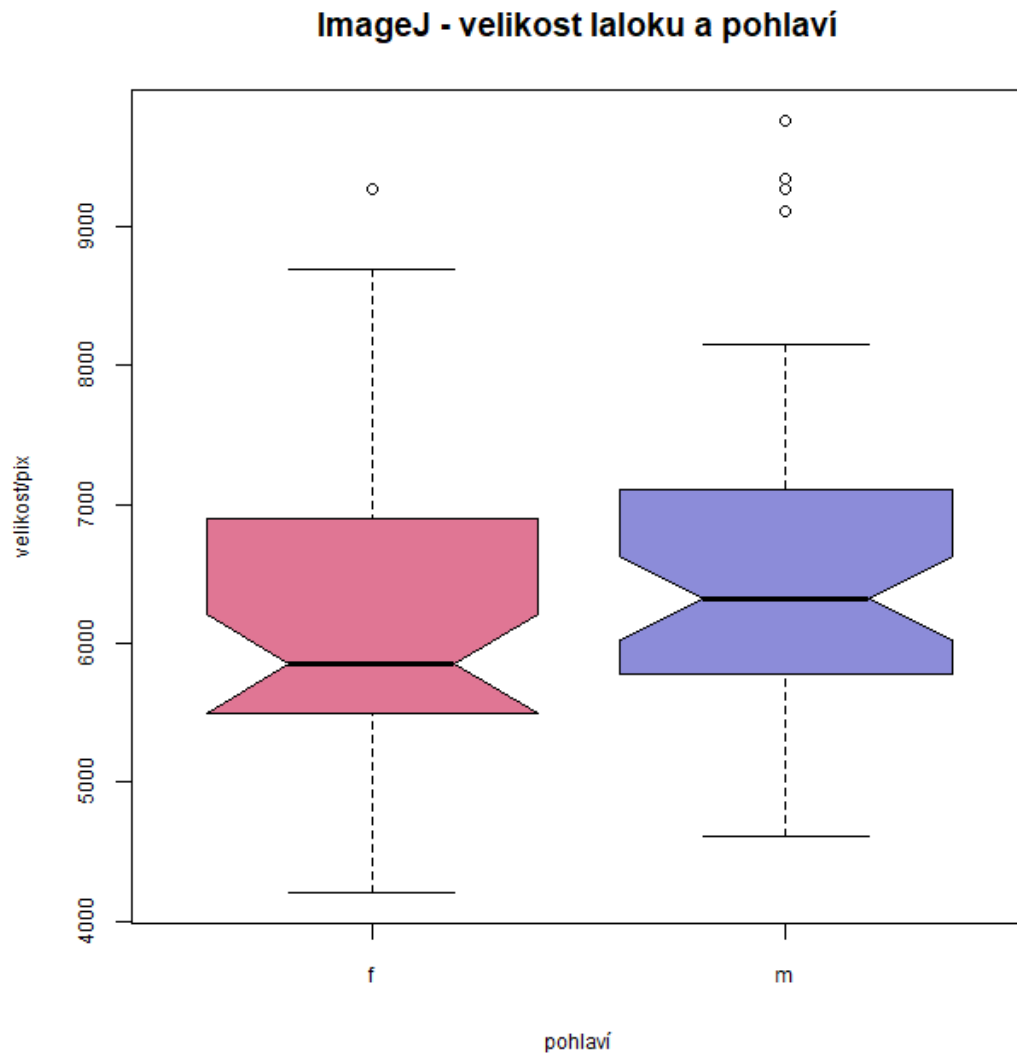


f= female (samice), m=male (samec)

### Testování závislosti velikosti očního laloku na pohlaví

Nulová hypotéza říká, že velikost očního laloku není závislá na pohlaví. Alternativní hypotéza říká, že velikost očního laloku je závislá na pohlaví. Na základě výpočtu modelu lineární regrese, kdy byla velikost laloku interaktivována s velikostí hlavy ( $p=0,105$ ) byla přijata nulová hypotéza. Nebylo tak prokázáno, že by průměrná velikost očních laloků byla závislá na pohlaví. (viz obr. č. 10).

Obr. č. 10: Graf průměrných hodnot velikosti očních laloků u samců a samic.



f= female (samice), m=male (samec)

Dle výsledků analýz nebyl prokázán pohlavní dimorfismus čejky černoprsé na základě velikosti a sytosti červené barvy očních laloků.



### **Testování asortativního párování na základě sytosti červené barvy očních laloků**

Na základě S-W testu ( $p=0,99$ ;  $p=0,07$ ) byla přijata hypotéza o normálním rozdělení dat. Vzhledem k tomu byl vypočten Pearsonův korelační koeficient závislosti průměrné sytosti červené barvy obou laloků mezi partnery. Korelační koeficient  $r=0,01$  ( $p=0,7$ ) reprezentuje v podstatě nulovou korelaci. Na základě těchto výsledků je možné podpořit tvrzení, že mezi partnery neexistuje žádná statisticky prokazatelná závislost v sytosti červené barvy očních laloků.

### **Testování asortativního párování na základě velikosti očních laloků**

Na základě S-W testu ( $p=0,63$ ;  $p=0,24$ ) byla přijata hypotéza o normálním rozdělení dat. Vzhledem k tomu byl vypočten Pearsonův korelační koeficient závislosti průměrné sytosti červené barvy obou laloků mezi partnery. Korelační koeficient  $r=0,19$  ( $p=0,46$ ) reprezentuje velmi slabou až žádnou korelaci. Na základě těchto výsledků je možné podpořit tvrzení, že mezi partnery neexistuje žádná statisticky prokazatelná závislost ve velikosti očních laloků.

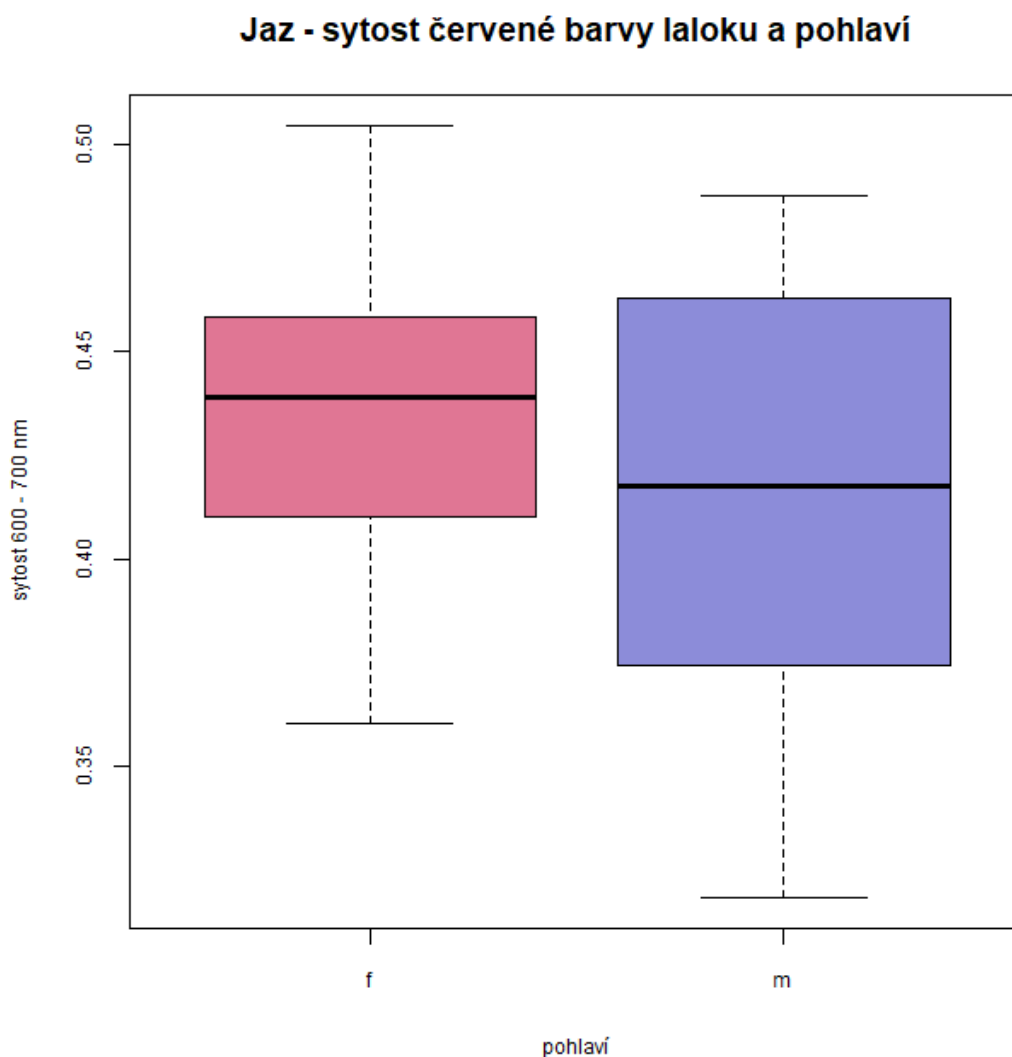
Dle výsledků analýz nebylo potvrzeno asortativní párování čejek černoprsých na základě velikosti a sytosti červené barvy očních laloků.

## **8.2 Výsledky spektrofotometr**

### **Testování sytosti červené barvy očních laloků mezi pohlavím**

Nulová hypotéza stanovuje, že není rozdíl mezi sytostí červené barvy očních laloků samců a samic. Alternativní hypotéza stanovuje, že je rozdíl mezi sytostí červené barvy očních laloků samců a samic. Předpoklad o normalitě dat byl splněn u obou výběrů (S-W test,  $p>0,05$ ). Zároveň byl splněn předpoklad o homogenitě rozptylů (F-test=0,824,  $p=0,799$ ). Výslednou p-hodnotou dvouvýběrového parametrického t-testu ( $p=0,386$ ) byla přijata nulová hypotéza. Nepodařilo se prokázat statisticky významný rozdíl mezi sytostí červené barvy očního laloku samců a samic. Stejného výsledku bylo dosaženo i v případě výsledků získaných na základě dat z programu ImageJ.

Obr. č. 11: Graf sytosti červené barvy očních laloků samců a samic ze spektrofotometru.

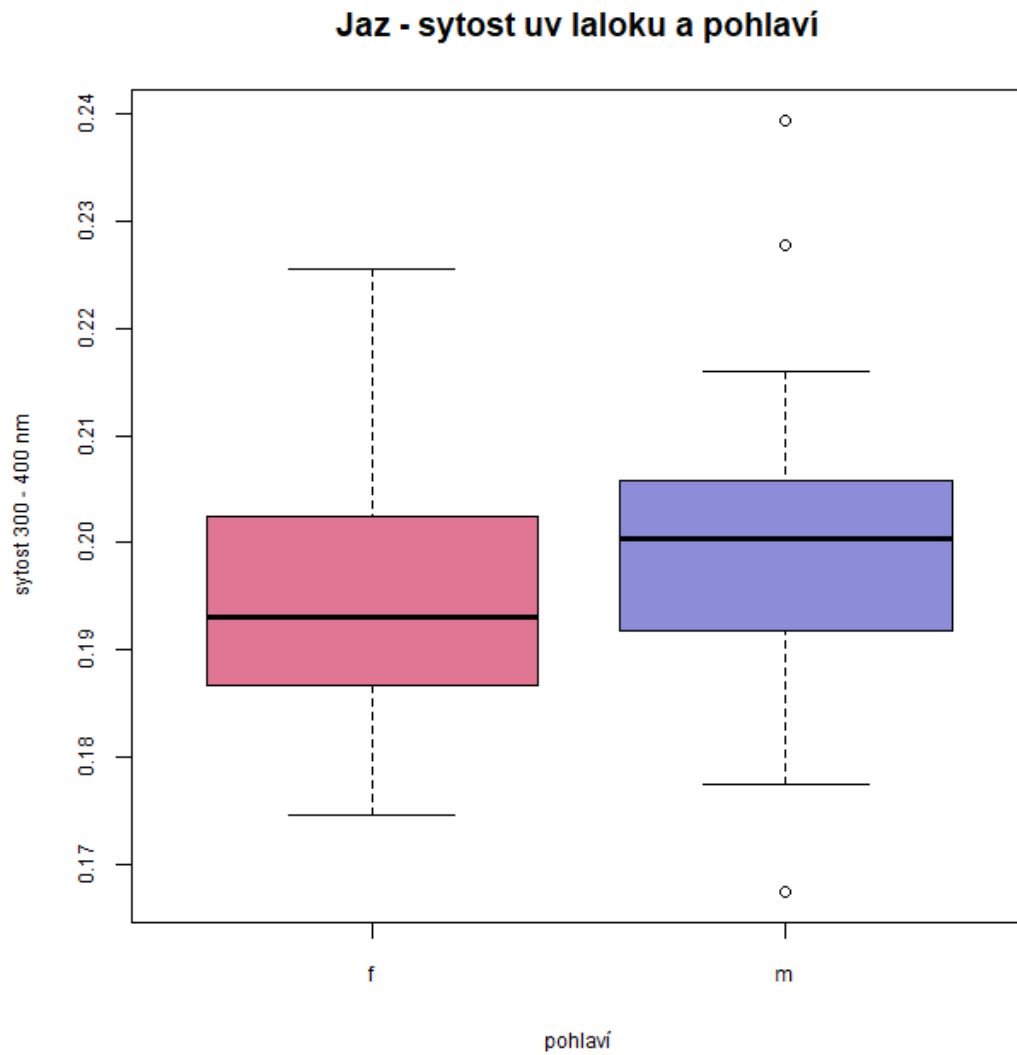


f= female (samice), m=male (samec)

### Testování UV sytosti očních laloků v závislosti na pohlaví

Nulová hypotéza říká, že není rozdíl mezi sytostí UV barvy očních laloků samců a samic. Alternativní hypotéza stanovuje, že je rozdíl mezi sytostí UV barvy očních laloků samců a samic. Předpoklad o normalitě dat byl splněn u obou výběrů (S-W test,  $p > 0,05$ ). Zároveň byl splněn předpoklad o homogenitě rozptylů (F-test=0,843,  $p = 0,829$ ). Výslednou p-hodnotou dvouvýběrového parametrického t-testu ( $p = 0,545$ ) byla přijata nulová hypotéza. Nepodařilo se prokázat statisticky významný rozdíl v sytosti UV barvy očních laloků mezi samci a samicemi.

Obr. č. 12: Graf UV sytosti očních laloků samců a samic.



f= female (samice), m=male (samec)

Dle výsledků provedených analýz nebyl prokázán pohlavní dimorfismus čejky černoprsé na základě sytosti červené barvy a sytosti UV očních laloků.

## 9 Diskuse

Cílem této práce bylo zjistit, zda hrají karotenoidní ornamenty roli v pohlavním dimorfismu čejky černoprse. Byla prováděna analýza dat pomocí dvou metod, jejichž výsledky byly následně porovnány. Proběhlo zpracování dat pomocí analýzy fotografie programem ImageJ a zpracování dat ze spektrofotometrického měření. Pozorovanými znaky byla velikost a sytost červené barvy očních laloků. Avšak ani jeden z těchto sledovaných znaků se neprokázal jako ukazatel pohlavního dimorfismu nebo asortativního párování u čejky černoprse.

Je otázkou, zda mají čejky černoprse jiné znaky pohlavního dimorfismu a o jaké znaky může jít. Je také možné, že tento druh nemá žádné tyto znaky. Podle genetických modelů se pohlavní dvoutvárnost vyvinula z monomorfismu. Monomorfismus představuje pohlavní jednotvárnost, znamená to, že daný druh má pouze jeden vzhled a nemá tedy žádné výrazné znaky pohlavního dimorfismu. Darwin (1871) a další vědci zjistili, že pohlavní dimorfismus byl v některých případech vyvinut díky pohlavnímu výběru, potravní rivalitě mezi pohlavími nebo rozdílu mezi reprodukčními rolemi mezi samci a samicemi (Hedrick, Temeles 1989). Darwinova teorie o pohlavním výběru říká, že kvůli nevyváženosti rodičovských rolí investují samci více energie a času do namlouvání a sebe prezentace než samice (Liker, Székely 1999a). Prostřednictvím namlouvacích rituálů se u samců mohly díky samičím preferencím vyvinout sekundární pohlavní znaky (Orians 1969). Čejka černoprse patří mezi monogamní druhy s tzv. biparentální rodičovskou péčí, kdy se na inkubaci vajec i péči o mláďata podílí oba rodiče (Naik et al. 1961; Rakesh 1997). U monogamních druhů často pozorujeme kromě biparentální péče také monomorfismus (Kleiman 1977; Mori, Lovari 2014). To by mohlo být jedním z důvodů, proč se u čejek černoprse nevyvinul výrazný pohlavní dimorfismus.

Dalším důvodem může být to, že namlouvacím rituálem u čejky černoprse je svatební let, kterým samec ukazuje velikost svého teritoria, schopnost zahánět predátory či jak zdatným je letcem. Svatební lety a obrana teritoria jsou dobrým a upřímným ukazatelem samčí kvality (Cramp 1983). Možná právě proto nebylo potřeba, aby se u nich vyvinul výrazný sekundární pohlavní znak, kterým by samec musel samici při námluvách zaujmout.

V mé práci byla testována sytost červené barvy a velikost očních laloků u jednotlivců. Cílem tohoto testu bylo zjistit, zda mají jedinci stejně barevný a stejně velký pravý a levý oční lalok. Výsledek tohoto testu ukázal, že mezi pravým a levým očním lalokem je rozdíl jak ve velikosti, tak v sytosti červené barvy. Byla vypočítána korelační závislost velikosti pravého a levého očního laloku na 22,6 % a korelační závislost sytosti červené barvy očních laloků na 20,3 %. Ačkoliv nebyl testován tvar očních laloků, výsledky posuzovaných parametrů naznačují minimální symetričnost sledovaných znaků. Je však možné, že někteří jedinci vykazují větší symetričnost očního laloku než jiní, což může být upřímným signálem kvality. Symetričnost totiž může být také jedním z upřímných signálů kvality (Moller 1991).

Vzhledem k tomu, že se při našem výzkumu neprokázala červenost laloků jako znak závislý na pohlaví, není zřejmě znakem pohlavního dimorfismu a nemá tedy zásadní vliv na výběr partnera u čejky černoprsé. Je však velmi pravděpodobné, že by mohlo jít o znak reflektující zdravotní stav a kondici jedince. To zároveň navrhuji jako předmět dalšího výzkumu. Navrhuji zjistit, zda je tento ornament vázán na kvalitu a množství potravy, jako tomu bylo např. u výzkumu Velando et al. (2006) na tereji modronohém. Kromě sytosti červených laloků by u nich mohla být hodnocena jako znak kvality např. symetričnost laloků. Symetričnost může být někdy lepším ukazatelem kvality než je barevnost ornamentů (Moller 1991). Červené zbarvení u čejky černoprsé by mohlo být také signálem pro rozmnožovací zdatnost (Suvorov 2007). To by znamenalo, že jedinci s červenějšími očními laloky mají lepší reprodukční schopnost. Tyto laloky mohou být také znakem agresivity a sloužit jako armamenty, tak jak tomu je u monomorfního laločníka sedlatého. Výsledky studie Lloyd-Jones, Briskie (2015) naznačují, že sdílení územní obrany v páru je charakteristické pro monomorfní druhy. Zároveň se při jejich výzkumu potvrdilo, že při obraně území se tyto laloky více prokrví a jsou červenější. Je tedy možné, že tento jev probíhá také u čejky černoprsé? Při hodnocení našich výsledků musíme brát v potaz, že náš výzkum probíhal v hnízdní sezoně a ne v období námluv a párování. Je tedy možné, že v období námluv by laloky vykazovaly jiné hodnoty sytosti červené barvy než v období hnízdění, kdy např. samice investuje karotenoidy do vaječných žloutků. To může být tedy také důvodem proč se naše očekávání nenaplnilo.

Dalším testem bylo posuzováno asortativní párování. Cílem bylo zjistit, zda se čejka černoprsá páruje na základě velikosti a sytosti červené barvy očního laloku. Tato hypotéza se však nepotvrdila. Vysvětlením může být malé množství vzorku (16 párů), které bylo pro test použito. Kvůli nízkému počtu pozorování nebylo možné použít interakci s morfologickým měřením, tudíž nebylo možné vyloučit zkreslení velikosti očního laloku celkovou velikostí jedince. Přestože tento test naznačuje, že se čejka černoprsá nepáruje na základě sytosti červené barvy a velikosti laloku nemusí to znamenat vyvrácení asortativního párování u tohoto druhu. Mohou se párovat na základě velikosti těla či jiného ornamentu na těle.

### ***Použité metody a analýzy***

Pro terénní sběr dat byl zvolen primárně fotoaparát, protože manipulace s ním je v terénu jednodušší než se spektrofotometrem. Fotoaparát je také levnější a může si ho dovolit skoro každý na rozdíl od finančně velmi nákladného spektrofotometru. Mým cílem bylo hodnotit hlavně sytost červené barvy očních laloků, tudíž byl fotoaparát pro mé účely dostačující. Přestože je fotoaparát brán za méně spolehlivý nástroj, co se týče hodnocení sytosti barev, byl hodnocen velice kladně ve studii Troscianko, Stevens (2015), kteří ve své práci porovnávali fotografie zpracované v programu ImageJ za využití pluginu MicaToolbox s výsledky ze spektrofotometru. Mnou zvolená kombinace pořizování fotografií fotoaparátem a jejich následné zpracování v programu ImageJ se skvěle osvědčila. Nevýhodou našeho fotoaparátu je, že neumí pořizovat fotografie v UV spektru, i z toho důvodu bylo nutné použít alespoň na malý vzorek dat spektrofotometr. Spektrometr nám byl zapůjčen z Ústavu biologie obratlovců AV ČR pouze na omezenou dobu. Proto bylo pomocí něho získáno pouze omezené množství dat. Mým cílem také bylo porovnat výsledky analýzy dat pořízených fotoaparátem a vyhodnocené programem ImageJ s výsledky analýzy dat ze spektrofotometru. I přes malé množství dat ze spektrofotometru byly výsledky analýzy z programu ImageJ shodné s výsledky analýzy ze spektrofotometru. Tím bylo potvrzeno, že analýza fotografie je vhodnou a celkem levnou metodou měření, kterou se dá do jisté míry suplovat spektrofotometr. Vzhledem k tomu, že ptáci na rozdíl od nás vidí v UV spektru, byl proveden kontrolní test spektrofotometrem na UV reflektanci očních laloků. Tento test ukázal, že oční lalok reflektuje v UV spektru pouze minimálně (viz obr. č. 6), což potvrdilo mé výsledky, podle kterých nebyl

nalezen rozdíl v sytosti UV mezi samcem a samicí. Zároveň to potvrzuje fakt, že ptáci patřící do řádu dlouhokřídých jsou méně senzitivní na UV spektrum (Odeen et al. 2009).

## 10 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo přiblížit téma signalizační funkce ornamentů u ptáků a zjistit, zda jsou červené oční laloky znakem pohlavního dimorfismu u čejky černoprsé. Tyto laloky byly analyzovány pomocí dvou metod: spektrofotometru a fotografie s následným zpracováním v programu ImageJ. Pomocí programu ImageJ bylo zjištěno, že sytost červené barvy a velikost očních laloků není závislá na pohlaví. Na 16 sledovaných párech bylo testováno asortativní párování na základě velikosti a sytosti červené barvy očních laloků. Asortativní párování na základě těchto parametrů nebylo u čejky černoprsé potvrzeno. Výsledky analýzy fotografie v programu ImageJ byly následně potvrzeny pomocí analýzy dat ze spektrofotometru, která taktéž neprokázala žádný rozdíl mezi sytostí červené barvy laloků samců a samic. Pomocí spektrofotometru bylo také zjištěno, že oční laloky odrážejí minimální množství UV záření.

Závěrem tedy je, že kožní laloky čejky černoprsé zřejmě nejsou znakem pohlavního dimorfismu.



## 11 Seznam použitých zdrojů

### Odborné publikace

Alatalo R. V., Gustafsson L., Lundberg A., 1986: Do Females Prefer Older Males in Polygynous Bird Species? *The American Naturalist* 127. 241-245.

Alcock J., 1997: *Animal Behavior: an Evolutionary Approach* (6th ed.). Sinauer Associates Inc., USA.

Alvarez L., Jaffe K., 2004: Narcissism guides mate selection: Humans mate assortatively, as revealed by facial resemblance, following an algorithm of “self seeking like”. *Evolutionary Psychology* 2. 177-194.

Andersson S., 1996: Bright ultraviolet colouration in the Asian whistling-thrushes (*Myiophonus* spp.). *Proceedings of the Royal Society B* 263. 843-848.

Andersson S., Amundsen T., 1997: Ultraviolet colour vision and ornamentation in bluethroats. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 264. 1587-1591.

Badyaev A. V., Hill G. E., 2000: Evolution of sexual dichromatism contribution of carotenoid-versus melanin-based coloration. *Biological Journal of the Linnean Society* 69. 153–172.

Barrette C., Vandal D., 1990: Sparing, relative antler size, and assessment in male caribou. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 26. 383-387.

Bennett A. T. D., Cuthill I. C., Norris K. J., 1994: Sexual selection and the mismeasure of color. *American Naturalist* 144. 848-860.

Berglund A., Bisazza A., Pilastro A., 1996: Armaments and ornaments: an evolutionary explanation of traits of dual utility. *Biological Journal of the Linnean Society* 58. 385-399.

Black J. M., Owen M., 1995: Reproductive performance and assortative pairing in relation to age in Barnacle Geese. *Journal of Animal Ecology* 64. 234–244.

Bowmaker J. K., Heath L. A., Wilkie S. E., Hunt D. M., 1997: Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. *Vision Research* 37. 2183-2194.

- Brooke M. L., 1998: Ecological factors influencing the occurrence of 'flash marks' in wading birds. *Functional Ecology* 12. 339-346.
- Brush A. H., 1978: Avian pigmentation, In: Brush A. H. (ed.): *Chemical zoology*, Vol 10, Aves. Academic Press, New York, 141–161.
- Brush A. H., 1990: Metabolism of carotenoid pigments in birds. *The FASEB Journal* 4. 2069-2977.
- Buchholz R., 1995: Female choice, parasite load and male ornamentation in wild turkeys. *Animal Behaviour* 50. 929-943.
- Buss D. M., Barnes M., 1986: Preferences in human mate selection. *Journal of personality and social psychology* 50. 559-570.
- Cichorek M., Walchuska M., Stasiewicz M., Tymińska A., 2013: Skin melanocytes: biology and development. *Postępy Dermatologii i Alergologii* 30. 30-41.
- Cramp S., 1983: *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East, and North Africa: The Birds of the Western Palearctic Volume III: Waders to Gulls*. Oxford University Press, Oxford.
- Darwin Ch. R., 1871: *The descent of man, and selection in relation to sex*. John Murray, London.
- Darwin Ch., 2007: *O vzniku druhů přírodním výběrem*. Academia, Praha.
- Delestrade A., 2001: Sexual size dimorphism and positive assortative mating in Alpine Choughs (*Pyrrhocorax graculus*). *The Auk* 118. 553–556.
- Dey C. J., Valcu M., Kempenaers B., Dale J., 2014: Carotenoid-based bill coloration functions as a social, not sexual, signal in songbirds (Aves: Passeriformes). *Journal of evolutionary biology* 28. 250-258.
- Doucet S. M., Meadows M. G., 2009: Iridescence: a functional perspective. *Journal of the Royal Society interface* 6. 115-132.
- Duellman W. E., Trueb L., 1994: *The biology of amphibians*. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- Dyck J., 1976: Structural colours. *Proceedings of the International Ornithological Congress* 16. 426-437.

- Faivre B., Gregoire A., Preault M., Cezilly F., Sorci G., 2003: Immune activation rapidly mirrored in a secondary sexual trait. *Science* 300. P 103.
- Fan M., Teunissen N., Hall M. L., Aranzamendi N. H., Kingma S. A., Roast M., Kaspar D., Peters A., 2018: From ornament to armament or loss of function? Breeding plumage acquisition in a genetically monogamous bird. *Journal of Animal Ecology* 87. 1274-1285.
- Fisher R. A., 1915: The evolution of sexual preference. *Eugenics Review* 7. 184-192.
- Fisher R. A., 1930: The genetical theory of natural selection. Oxford University Press, United States.
- Fox D. L., 1976: Animal biochromes and structural colors. University of California Press, Berkeley.
- Gans C., Northcutt N. G., 1983: Neural crest and the origin of vertebrates: a new head. *Science* 220. 268-273.
- Gomez D., Théry M., 2007: Simultaneous crypsis and conspicuousness in color patterns: comparative analysis of a neotropical rainforest bird community. *American Naturalist* 169. 42-61.
- Goodwin T. W., 1984: The Biochemistry of Carotenoids: Volume II. Animals. Springer, London.
- Granhölm N. H., van Amerongen A. W., 1991: Effects of exogenous MSH on the transformation from phaeo- to eumelanogenesis within C57BL/6J-Ay/a hairbulb melanocytes. *The Journal of Investigative Dermatology* 96. 78-84.
- Griffiths R., Double M. C., Orr K., Dawson R. J. G., 1998: A DNA test to sex most birds. *Molecular Ecology* 7. 1071-1075.
- Gupta R. Ch., Kaushik T. K., 2011: On the fundamentals of natural history and present threats to Red-wattled Lapwing in Kurukshetra environs. *Journal of Applied and Natural Science* 3. 62-67.
- Hamilton W. D., Zuk M., 1982: Heritable True Fitness and Bright Birds: A Role for Parasites? *Science* 218. 384-387.

Haruštiaková D., 2017: Analýza a management dat pro zdravotnické obory: Učební texty pro studenty kombinovaného studia. Brno.

Hearing V. J., Tsukamoto K., 1991: Enzymatic control of pigmentation in mammals. *The FASEB Journal* 5. 2902-2909.

Hedrick A. V., Temeles E. J., 1989: The Evolution of sexual dimorphism in animals: Hypotheses and Tests. *Tree* 4. 136-138.

Hill G. E., 1992: Proximate Basis of Variation in Carotenoid Pigmentation in Male House Finches. *The Auk* 109. 1–12.

Hill G. E., 1993: Geographic Variation in the Carotenoid Plumage Pigmentation of Male House Finches (*Carpodacus Mexicanus*). *Biological Journal of the Linnean Society* 49. 63-86.

Hill G. E., 1999: Is there an immunological cost to carotenoid-based ornamental coloration? *The American Naturalist* 154. 589–595.

Hill G. E., McGraw K. J., 2006: *Bird coloration*. Harvard University Press, USA.

Hunt S., Bennett A. T. D., Cuthill I. C., Griffiths R., 1998: Blue tits are ultraviolet tits. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 265. 451-455.

Hyatt G., Salmon M., 1978: Combat in the fiddler crab *Uca pugilator* and *U. pugnax*: A quantitative descriptive analysis. *Behaviour* 65. 182-211.

Jackson P., 1976: Redwattled Lapwing. *Newsletter for Birdwatchers* 16. 11–12.

Jawor J. M., Linville S. U., Beall S. M., Breitwisch R., 2003: Assortative mating by multiple ornaments in northern cardinals (*Cardinalis cardinalis*). *Behavioral Ecology* 14. 515-520.

Kalsi R. S., Khera S., 1986: Some observations on breeding and displacement behaviour of the Redwattled Lapwing *Vanellus indicus indicus* (Aves: Charadriidae). *Res. Bull. Panjab Univ.* 37. 131–141.

Keyser A. J., Hill G. E., 2000: Structurally based plumage coloration is an honest signal of quality in male blue grosbeaks. *Behavioral Ecology* 11. 202–209.

Khajuria H., 1972: Nestlings of the redwattled lapwing, *Vanellus i. indicus* (boddaert). *Pavo* 8. 82–83.

- Kleiman D. G., 1977: Monogamy in mammals. *The Quarterly Review of Biology* 52. 39–69.
- Kodric-Brown A., Brown J. H., 1984: Truth in Advertising: The Kinds of Traits Favored by Sexual Selection. *The American Naturalist* 124. 309-323.
- Kořínek M., 1999: *Zoologická zahrada*. Rubico, Olomouc.
- Krebs E. A., Putland D. A., 2004: Chic chicks: the evolution of chick ornamentation in rails. *Behavioral Ecology* 15. 946–951.
- Ligon J. D., 1999: The Evolution of Avian Breeding Systems. *The Auk* 117. 531-532.
- Liker A., Székely T., 1999a: Mating pattern and mate choice in the Lapwing *Vanellus vanellus*. *Ornis Hungarica* 8-9. 13-25.
- Little A. C., Burt D. M., Perrett D. I., 2006: Assortative mating for perceived facial personality traits. *Personality and Individual Differences* 40. 973-984.
- Liu M., Siefferman L., Hill G. E., 2007: An experimental test of female choice relative to male structural coloration in eastern bluebirds. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 61. 623–630.
- Liu M., Siefferman L., Mays Jr H., Steffen J. E., Hill G. E., 2009: A field test of female mate preference for male plumage coloration in eastern bluebirds. *Animal Behaviour* 78. 879-885.
- Liu Y., Hong L., Wakamatsu K., Ito S., Adhyaru B., Cheng Ch., Bowers C. R., Simon J. D., 2005: Comparison of structural and chemical properties of black and red human hair melanosomes. *Photochemistry and Photobiology* 81. 135-144.
- Lloyd-Jones D., Briskie J. V., 2015: Mutual wattle ornaments in the South Island Saddleback (*Philesturnus carunculatus*) function as armaments. *Ethology* 122. 61-71.
- Lucas A. M., Stettenheim P. R., 1972: *Avian Anatomy-Integument*. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Mahler B., Araujo L. S., Tubaro P. L., 2003: Dietary and sexual correlates of carotenoid pigment expression in dove plumage. *The Condor* 105. 258–267.
- Mays H. L. Jr., Albrecht T., Liu M., Hill G. E., 2008: Female choice for genetic complementarity in birds: a review. *Genetica* 134. 147-158.

- McGraw K. J., 2003: Melanins, metals and mate quality. *Oikos* 10. 402–406.
- McGraw K. J., 2006: Mechanics of melanin-based coloration. In: Hill G. E., McGraw K. J. (eds.): *Bird Coloration, Volume I*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 243-294.
- McGraw K. J., Mackillop E. A., Dale J., Hauber M. E., 2002: Different colors reveal different information: how nutritional stress affects the expression of melanin-and structurally based ornamental plumage. *Journal of Experimental Biology* 205. 3747-3755.
- Mcgraw K., Nogare M. C., 2004: Carotenoid pigments and selectivity of psittacofulvin-based coloration system in parrots. *Comparative biochemistry and physiology part B: Biochemistry & molecular biology* 138. 229-233.
- McGraw K., Parker R. S., Adkins-Regan E., Gregory A. J., 2003: Erratum: Diet, Plasma Carotenoids, and Sexual Coloration in the Zebra Finch (*Taeniopygia Guttata*). *The Auk* 120. 400–410.
- Moller A. P., 1991: Sexual Ornament Size and the Cost of Fluctuating Asymmetry. *Proceedings: Biological Sciences* 243. 59–62.
- Montgomerie R., Lyon B., Holder K., 2001: Dirty ptarmigan: behavioral modification of conspicuous male plumage. *Behavioral Ecology* 12. 429-438.
- Mori E., Lovari S., 2014: Sexual size monomorphism in the crested porcupine (*Hystrix cristata*). *Mammalian Biology* 79. 157–160.
- Mundy N. S., 2016: Red carotenoid coloration in the zebra finch is controlled by a cytochrome P450 gene cluster. *Current Biology* 26. 1435-1440.
- Naik R. M., George P. V., Dixit Dhruv B., 1961: Some observation on the behaviour of the incubating Redwattled Lapwing, *Vanellus indicus indicus* (Bodd.). *Journal of the Bombay Natural History Society* 58. 223-230.
- Odeen A., Hastad O., Alstrom P., 2009: Evolution of ultraviolet vision in shorebirds (Charadriiformes). *Biology Letters* 6. 370-374.
- Orians G. H., 1969: On the evolution of mating systems in birds and mammals. *The American Naturalist* 103. 589-603.

- Owens I. P. F., Hartley I. R., 1998: „Sexual dimorphism in birds: Why are there so many different forms of dimorphism?“. *Proceedings: Biological Sciences* 265. 397-407.
- Plonka P. M., Passeron T., Brenner M., Tobin D. J., Shibahara S., Thomas A., Slominski A., Kadakara A. L., Hershkovitz D., Peters E., Nordlund J. J., Abdel-Malek Z., Takeda K., Paus R., Ortonne J. P., Hearing V. J., Schallreuter K. U., 2009: What are melanocytes really doing all day long...? *Experimental Dermatology* 18. 799–819.
- Pomiankowski A., 1987: The Costs of Sexual Selection. *Journal of Theoretical Biology* 128. 195–218.
- Prum R. O., 2006: Anatomy, physics, and evolution of structural colors. In: Hill G. E., McGraw K. J. (eds.): *Bird Coloration, Volume I*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 295-353.
- Rakesh V., 1997: Flocking and courtship display in Redwattled Lapwing (*Vanellus indicus*). *Journal of the Bombay Natural History Society* 94. 406-407.
- Regosin J. V., Pruett-Jones S., 2001: Sexual Selection and Tail-Length Dimorphism in Scissor-Tailed Flycatchers. *The Auk* 118. 167-175.
- Rintamäki P. T., Lundberg A., Alatalo R. V., Höglund J., 1998: Assortative mating and female clutch investment in Black Grouse. *Animal Behaviour* 56. 1399–1403.
- Rohwer S., 1975: The social significance of avian winter plumage variability. *Evolution* 29. 593–610.
- Roulin A., 1999b: Nonrandom pairing by male barn owls with respect to a female plumage trait. *Behavioral Ecology* 10. 688-695.
- Saxena V. S., 1973: Unusual nesting by Redwattled Lapwing. *Indian Forester* 99. 33–35.
- Shine R., O'Connor D., Lemaster M. P., Mason R. T., 2001: Pick on someone your own size: ontogenetic shifts in mate choice by male garter snakes result in size-assortative mating. *Animal Behaviour* 61. 1133–1141.
- Siitari H., Honkavaara J., Huhta E., Viitala J., 2002: Ultraviolet reflection and female mate choice in the pied flycatcher, *Ficedula hypoleuca*. *Animal Behaviour* 63. 97–102.

- Sinclair S., 1985: How animals see: other vision of our world. Croom Helm, London.
- Stoehr A. M., 2006: „Costly melanin ornaments: the importance of taxon?“. *Functional Ecology* 20. 276–281.
- Šulc M., Honza M., 2014: Svět očima zvířat aneb jak ptáci vnímají barvy. *Živa* 4. 180-181.
- Thornhill R., 1976: Sexual selection and paternal investment in insects. *The American Naturalist* 110. 153-156.
- Toomey M. B., Collins A. M., Frederiksen R., Cornwall M. C., Timlin J. A., Corbo J. C., 2015: A Complex Carotenoid Palette Tunes Avian Colour Vision. *Journal of the Royal Society Interface* 12. 1-12.
- Trams E. G., 1969: Carotenoid transport in the plasma of the scarlet ibis (*Eudocimus ruber*). *Comparative Biochemistry and Physiology* 28. 1177–1184.
- Troscianko J., Stevens M., 2015: Image calibration and analysis toolbox – a free software suite for objectively measuring reflectance, colour and pattern. *Methods in Ecology and Evolution* 6. 1320-1331.
- van Dijk D., Sloot P. M. A., Tay J. C., Schut M. C., 2010: Individual-based simulation of sexual selection: A quantitative genetic approach. *Procedia Computer Science* 1. 2003-2011.
- van Grouw H., 2006: Not every white bird is an albino: sense and nonsense about colour aberrations in birds. *Dutch Birding* 28. 79-89.
- Velando A., Beamonte-Barrientos R., Torres R., 2006: Pigment-based skin colour in the blue-footed booby: an honest signal of current condition used by females to adjust reproductive investment. *Oecologia* 149. 535–542.
- Veselovský Z., 2001: *Obecná ornitologie*. Academia, Praha.
- Völker O., 1938: The dependence of lipochrome-formation in birds on plant carotenoids. *Proc. 8th International Ornithological Congress* 8. 425-426.
- Vorobyev M., Osorio D., Bennett A. T. D., Marshall N. J., Cuthill I. C., 1998: Tetrachromacy, oil droplets and bird plumage colours. *Journal of Comparative Physiology A*. 621-633.



Yasui Y., 1997: A "Good-Sperm" model can explain the evolution of costly multiple mating by females. *The American Naturalist* 149. 573–584.

Zampiga E., Gaibani G., Csermely D., Frey H., Hoi H., 2006: Innate and learned aspects of vole urine UV-reflectance use in the hunting behaviour of the common kestrel *Falco tinnunculus*. *Journal of avian biology* 37. 318-322.

Zi J., Yu X., Li Y., Hu X., Xu H., Wang X., Liu X., Fu R., 2003: Coloration strategies in peacock feathers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100. 12576-12578.

Zicháček V., 1995: *Zoologie*. Fin, Olomouc.

## **Internetové zdroje**

Britannica, The Editors of Encyclopaedia, ©2018: Runaway selection hypothesis (online) [cit. 2021.01.31], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/runaway-selection-hypothesis>>.

Britannica, The Editors of Encyclopaedia, ©2019: Good genes hypothesis (online) [cit. 2021.02.10], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/good-genes-hypothesis>>.

Herrman R., 2006: Ptáci: Rozšířený text pro výuku na gymnáziu (online) [cit. 2020.06.09], dostupné z <<https://docplayer.cz/15737570-Ptaci-rozsireny-text-pro-vyuku-na-gymnaziu-rndr-rostislav-herrmann-mendelovo-gymnazium-opava.html>>.

R Core Team, 2021: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing (online) [cit. 2021.03.30], dostupné z <<https://www.r-project.org/index.html>>.

Singh V., 2016: Always Judge a Grouse by its Cover (online) [cit. 2021.01.29], dostupné z <<https://askabiologist.asu.edu/plosable/grouse-color-signals>>.

Spring K. R., Davidson M. W., b.r.: Sources of visible light (online) [cit. 2021.03.30], dostupné z <<https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/lightandcolor/lightsourcesintro>>.

Suvorov P., 2007: Peří jsou roztřepené plazi šupiny (online) [cit. 2020.06.09], dostupné z <<https://21stoleti.cz/2007/05/18/peri-jsou-roztrepene-plazi-supiny/>>.



## 12 Přílohy

Příloha č. 1- Hnízdo čejky černoprsé s vejci (Miroslav Šálek 2019).



Příloha č. 2- Měření spektrofotometrem v temné komoře (Miroslav Šálek 2019)



Příloha č. 3- Nastavení Generate Multispectral Image

Multispectral Image Generation ×

Camera type

Image type

---

Grey Standards

Grey standards in:

Estimate black point (useful with one standard)

Standard reflectance(s)

Customise standard levels

Standards move between photos

---

Alignment & Scaling

Alignment

---

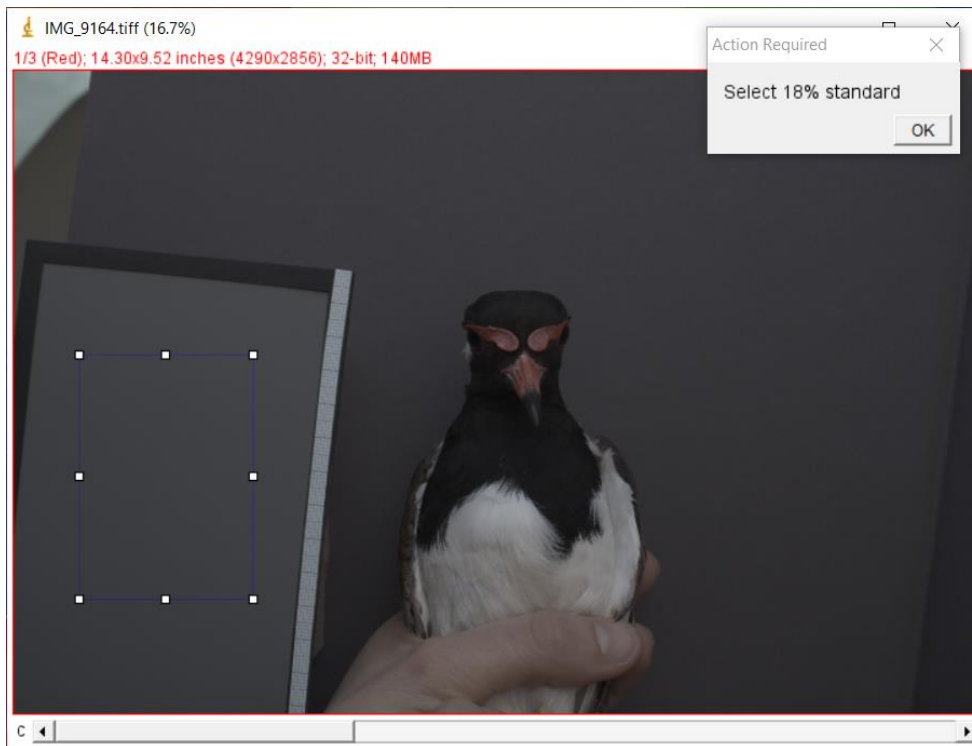
Output

Image output

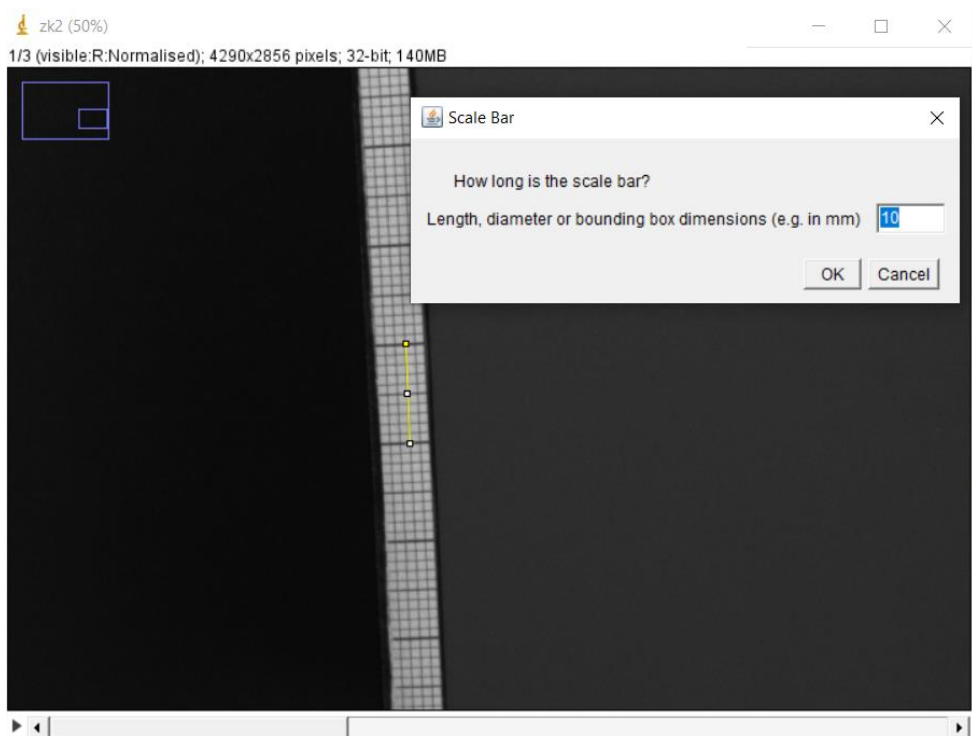
Image Name

Rename Image files

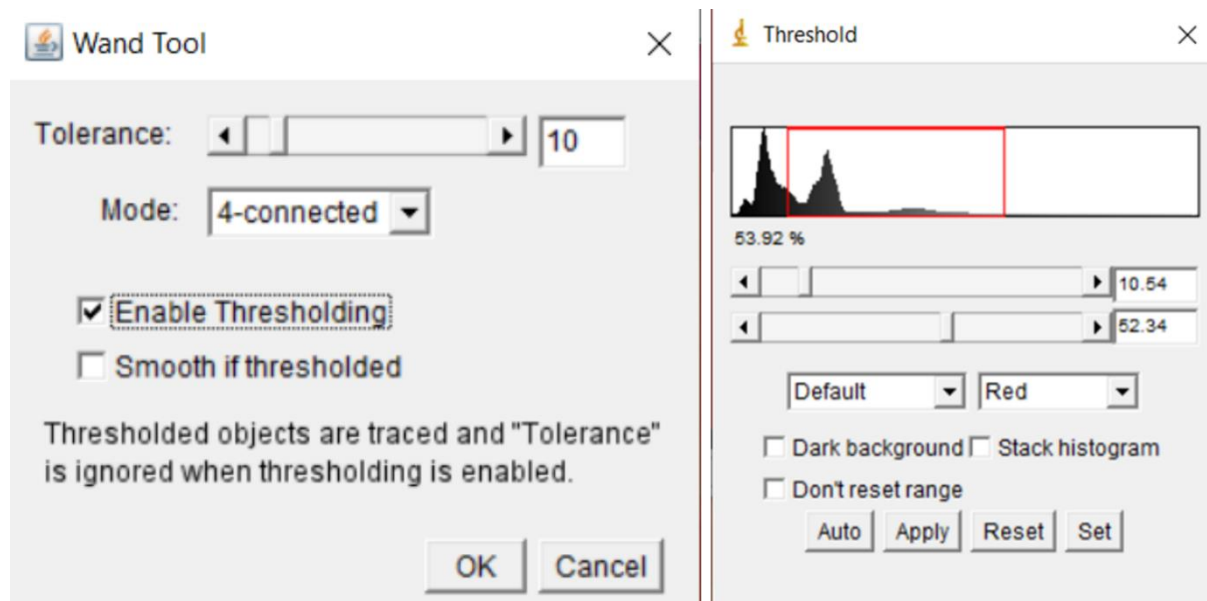
#### Příloha č. 4- Zvolení 18 % standardu



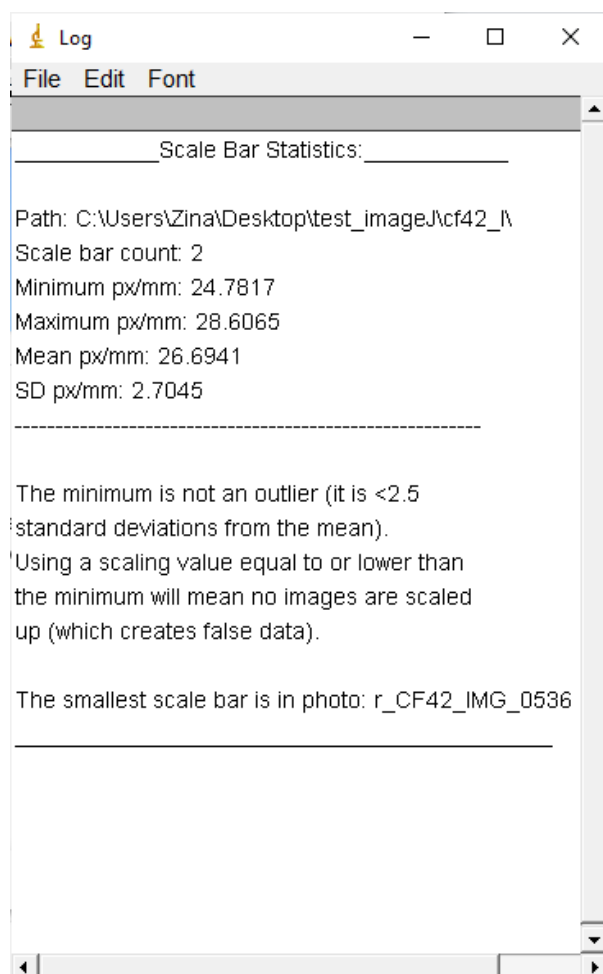
#### Příloha č. 5- Zvolení měřítka (Scale Bar)



Příloha č. 6- Nastavení Wand Tool



Příloha č. 7- Zjištění minimální počet pixelů fotografie (Batch scale bar calculation)



## Příloha č. 8- Nastavení Batch multispectral image analysis

Image Processing Settings

Select the visual system to use:

Model

Add human luminance channel

---

**Image Scaling**

For pattern analysis all images must have the same scale - scale bars must already be added to the image ROIs

Scale (px/mm)

Ignore scale bars and use scale factor

Set to zero to turn off scaling. If you're not sure what scale to use, run the "Batch Scale Bar Calculation" tool on this folder first.

Start processing at file number:

OK Cancel