

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ
KATEDRA MYSLIVOSTI A LESNICKÉ ZOOLOGIE

Vliv magnetického počasí na orientaci ptactva při sběru potravy

Bakalářská práce

Autor: Jana Hlavová

Vedoucí práce: Ing. Petra Nováková, Ph.D.

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jana Hlavová

Konzervace přírodnin a taxidermie

Název práce

Vliv magnetického počasí na orientaci ptactva při sběru potravy

Název anglicky

Influence of magnetic weather on orientation of birds during feeding

Cíle práce

Uceleně, formou rešerše, shrnout výsledky publikovaných studií se zaměřením na magnetorecepci ptáků. V experimentální části zjistit vliv magnetického pole na orientaci různých druhů ptactva při příjmu potravy minimálně na dvou lokalitách a získaná data statisticky vyhodnotit.

Metodika

Z dostupné literatury bude vypracována podrobná literární rešerše o magnetorecepci živočichů se zaměřením na ptactvo. Praktická část práce bude věnována experimentu, ve kterém bude sledována magnetická orientace semenožravého ptactva na kulatých krmítkách (min. průměr 30 cm) pomocí fotopastí. Sledování budou probíhat v různých ročních obdobích alespoň na dvou lokalitách v ČR. Z pořízených fotografií budou následně vyhodnocovány směry těl jedinců při sběru potravy ve stupních. Získaná data budou statisticky vyhodnocena v programu Oriana.

Do 31.12.2017 budou posbírána data pro statistické zpracování a předána vedoucímu práce. Literární rešerše bude průběžně konzultována s vedoucím práce a zpracována nejpozději do 31.12.2017. První rukopis bakalářské práce bude předložen ke kontrole vedoucímu práce nejpozději do 28. února 2018.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran textu

Klíčová slova

magnetismus, magnetická orientace, semenožravé druhy

Doporučené zdroje informací

- Able, K.P. 1994 Magnetic orientation and magnetoreception in birds. *Prog. Neurobiol.* 42, 449-476.
- Beason, R.C. 2005 Mechanisms of magnetic orientation in birds. *Integr. Comp. Biol.* 45, 565-573.
- Begall, S., Malkemper, S. E. P., Červený, J., Němec, P. & Burda, H. 2013 Magnetic alignment in mammals and other animals. *Mamm. Biol.* 78,10-20.
- Červený, J., Begall, S., Koubek, P., Nováková, P. & Burda, H. 2011 Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biol. Lett.* 7, 355-357.
- Červený, J., Burda, H., Ježek, K., Kušta, T., Husinec, V., Nováková, P., Hart, V., Hartová, V., Begall, S. & Malkemper, E.P. Magnetic alignment in warthogs *Phacochoerus africanus* and wild boars *Sus scrofa*. *Mammal Rev.* 47(1), doi:10.1111/mam.12077.
- Hart, V., Malkemper, E.P., Kušta, T., Begall, S., Nováková, P., Hanzal, V., Pleskač, L., Ježek, M., Policht, R., Husinec, V., Červený, J. & Burda, H. 2013 Directional compass preference for landing in water birds. *Front. Zool.* 10(38), doi: 10.1186/1742-9994-10-38.
- Hart, V., Nováková, P., Malkemper, E.P., Begall, S., Hanzal, V., Ježek, M., Kušta, T., Němcová, V., Adámková, J., Benediktová, K., Červený, J. & Burda, H. 2013 Dogs are sensitive to small variations of the Earth's magnetic field. *Front. Zool.* 10(80), doi:10.1186/1742-9994-10-80.
- Wiltschko, W., Wiltschko, R. & Ritz, T. 2011 The mechanism of the avian magnetic compass. *Procedia Chem.* 3, 276-284.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Petra Nováková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Elektronicky schváleno dne 5. 5. 2017

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 10. 04. 2018

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv magnetického počasí na orientaci ptactva při sběru potravy vypracovala samostatně pod vedením Ing. Petry Novákové, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Církvicích 12.4. 2018

Podpis autora

Poděkování

Nejprve bych chtěla poděkovat své vedoucí mé bakalářské práce Ing. Petře Novákové Ph.D. a také své rodině a příbuzným, kteří mi pomáhali se získáním dat.

V Církvicích 12.4. 2018

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá magnetickou orientací, magnetorecepcí, magnetismem, magnetickým alignmentem a semenožravými druhy ptactva. Magnetická orientace znamená, že zvířata používají informace z magnetického pole k ovládní svého chování. Magnetorecepce je schopnost zvířat vnímat magnetické pole a magnetický alignment je spontánní natočení živočicha určitým směrem. Magnetismus je projevující na nositele elektrického náboje např. zvířata. Semenožravá ptactva se živí semeny rostlin např. zvonek zelený, strnad obecný atd.

V teoretické části shrnuje formou rešerše magnetické pole, magnetoreceptci zvířat a její mechanismy. Taktéž podává informace o studovaných druzích ptactev a popisuje území, kde se nachází.

Cílem praktické části bylo zjistit vliv magnetického pole na orientaci u semenožravého ptactva různých druhů při příjmu potravy. Data byla nasbírána na zahradách dvou lokalit Malín 1344 a Církvice 3531, které se nacházejí v okrese Kutná Hora. Statistické vyhodnocení v programu Oriana prokázalo preferenci severovýchodní osy.

Klíčová slova: magnetismus, magnetická orientace, semenožravé druhy

Abstract

Bachelor thesis deal with magnetic orientation, magnetoreception, magnetism, magnetic alignment and seminal species of birds. Magnetic orientation means that animals use information from the magnetic field to control their behavior. Magnetoreception is the ability of animals to perceive the magnetic field and magnetic alignment is the spontaneous rotation of the animal in a certain direction. Magnetism is manifested on the wearer of electric charge, for example animals. Semnoptera birds feed on plant seeds such as *Carduelis Chloris*, *Emberiza citrinella*, etc.

In the theoretical part summarizes the magnetic field, magnetoreceptions of animals and their mechanisms. It also provides information on studied species of birds and describes the area where they are located.

The aim of the practical part was to determine the influence of the magnetic field on the orientation of the seed-bearing species of birds of various species on food intake. The data was collected in the gardens of the two localities Malin 1344 and Církvice 3531, located in the Kutná Hora district. The statistical evaluation in the Oriana program has shown a north-eastern axis preference.

Key words: magnetism, magnetic orientation, seed-bearing species of birds

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíl práce.....	12
3. Magnetické pole Země	13
4. Magnetorecepce	15
4.1. Orientace v magnetickém poli.....	15
4.1.1. Magnetický kompas.....	16
4.1.1.1. Magnetický alignment.....	16
4.1.2. Typy kompasové orientace	17
4.1.3. Demonstrace magnetické kompasové orientace	18
4.1.4. Mapový smysl.....	19
5. Mechanismy magnetorecepce	21
5.1. Magnetorecepce založená na elektromagnetické indukci.....	22
5.2. Magnetorecepce založená na základě magnetitu.....	24
5.3. Magnetorecepce založená na základě radikálových párů	26
6. Charakteristika řádů, čeledí a determinační znaky druhů ptactva....	29
7. Metodika	35
8. Lokality	37
8.1. Malín.....	37
8.2. Církvice	38
9. Biogeografie.....	39
10. Výsledky.....	40
10.1. Malín	40
10.2. Církvice	44
10.3. Porovnání výsledků analýzy všech dat.....	48
11. Diskuze.....	51
12. Závěr	52
13. Použitelná literatura a zdroje	53
14. Přílohy.....	56

Seznam obrázků, grafů, tabulek a příloh

Obrázek č. 1: Znázornění geomagnetického pole	14
Obrázek č. 2: Inkliniční kompas ptáků.....	17
Obrázek č. 3: Orientační chování migrujících červenek	18
Obrázek č. 4: Aparatura pro testování individuálních ptáků pod chromatickým světlem	28
Obrázek č. 5: Nákres dřevěné konstrukce	35
Obrázek č. 6: Mapka s vyznačenou rozlohou lokality Malín	37
Obrázek č. 7: Mapka s vyznačenou rozlohou lokality Církvice	38
Obrázek č. 8: Mapka s vyznačenými lokalitami	40
Graf č. 1: Axiální histogram z lokality Malína	41
Graf č. 2: Axiální histogram z lokality Malína	42
Graf č. 3: Axiální histogram z lokality Malína	43
Graf č. 4: Axiální histogram z lokality Církvice	45
Graf č. 5: Axiální histogram z lokality Církvice	46
Graf č. 6: Axiální histogram z lokality Církvice	47
Graf č. 7: Axiální histogram z lokality Malína	49
Graf č. 8: Axiální histogram z lokality Církvice	50
Tabulka č. 1: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína	41
Tabulka č. 2: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína	42
Tabulka č. 3: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína	43
Tabulka č. 4: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice.....	45
Tabulka č. 5: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice	46
Tabulka č. 6: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice	47

Tabulka č. 7: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína	49
Tabulka č. 8: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice	50
Příloha č. 1: Grafy typů magnetického počasí	56
Příloha č. 2: Obrázky vyhodnocování směru těl lokality Malín.....	58
Příloha č. 3: Obrázky vyhodnocování směru těl lokality Církvice	60

1. Úvod

Zemské magnetické pole je k dispozici všude na planetě (Beason, 2005; Wiltschko a kol., 2011) a chrání život na Zemi před pronikavým zářením přicházejícím ze Slunce i ze vzdálených oblastí vesmíru (Randa a kol., 2016). Poskytuje užitečné informace, nejen lidem pomocí kompasů a buzol, ale také zvířatům (Randa a kol., 2016). Např. ptáci využívají pro směrové anebo poziční informace (Mouritsen, 2015).

Magnetické pole není pravidelné a je narušeno regionálními a místními nesrovnalostmi (Wiltschko a Wiltschko, 1995).

Orientace a navigační dovednosti jsou nezbytné pro přežití všech stěhovavých ptáků (Able a Able, 1997) a pomocí sign-postů tzv. ukazatelé směru nebo-li rozcestníky jsou specifické v různých oblastech, které mohou pomoci určit správný směr jejich cesty do cíle (Wiltschko, 2005; Vácha a Němec, 2007).

Existují dva typy kompasové orientace: polaritní a inklinanční (Wiltschko a Wiltschko, 1995; Wiltschko a kol., 2003; Vácha a Němec, 2007).

Magnetorecepce je schopnost u mnoha zvířat vnímat geomagnetické pole např. octomilka obecná, včela medonosná, červenka obecná atd. (Nishimura a Fukushima, 2009) a je prokázána mnoha behaviorálními pokusy změnou magnetického pole a pozorováním změn magnetické orientace (Wiltschko a kol., 2011), taktéž změnou barvy světla (Vácha a Němec, 2007) a doposud nebyl určen a lokalizován magnetoreceptor.

Dnes jsou považovány tři možnosti mechanismů: zaměřené na magnetorecepci založené na elektromagnetické indukci, magnetorecepci založené na základě magnetitu a chemickou magnetorecepci. Z toho první se týká výhradně mořských živočichů. (Wiltschko a Wiltschko, 2005; Němec a Vácha, 2007; Mouritsen 2015).

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shrnout publikovatelné studie a zpracovat formou literární rešerše se zaměřením na magnetorecepci ptactva.

Rešeršní část bakalářské práce shrnuje informace o magnetickém poli, magnetorecepci zvířat, u kterých byla zjištěna a její uvažované hypotézy mechanismů.

V úvodu metodické části podává informace o determinačních znacích ptactva, u kterých byla vyhodnocována magnetická orientace a poloha studovaných oblastí. Dále popisuje metodiku sběru dat a jejich vyhodnocování.

Cílem praktické části bakalářské práce je zjistit vliv magnetického pole na orientaci různých druhů ptáků při příjmu potravy na zahradách dvou lokalit Malín a Církvice.

Výsledky vyhodnocování získaných dat ze dvou lokalit jsou shrnuty a diskutovány na závěr práce.

3. Magnetické pole Země

Země vytváří své vlastní magnetické pole (geomagnetické pole), které je většinou vytvářeno elektrickými proudy v kapalném vnějším jádru Země (dynamo efekt) (Mouritsen, 2015).

Magnetické pole Země se podobá dipólovému poli obřího tyčového magnetu (Johnsen a Lohmann, 2005). Magnetické póly nejsou zcela totožné s póly zeměpisnými, ale leží v jejich blízkosti (Wiltschko a Wiltschko, 1995). V současné době se magnetický severní pól nachází v severní Kanadě a magnetický jižní pól se nachází jižně od Austrálie (Mouritsen, 2015).

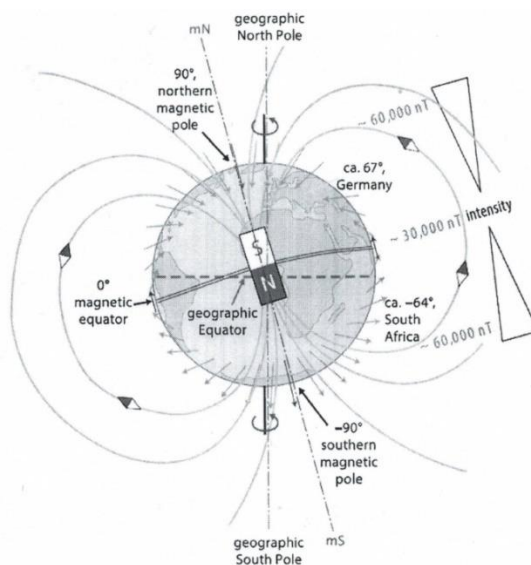
Indukční čáry magnetického pole opouštějí magnetický jižní pól a znovu vstupují do magnetického severního pólu. Polarita indukčních čar magnetického pole vždy směřuje k magnetickému severu, proto mohou poskytnout vysoce spolehlivý směrový odkaz, který může být použit jako základ pro magnetický kompas kdekoli na planetě Země kromě magnetických pólů. Na magnetických pólech směřují indukční čáry přímo nahoru (na magnetickém jižním pólu) nebo přímo dolů (na magnetickém severním pólu). Na magnetickém rovníku jsou indukční čáry magnetického pole rovnoběžné s povrchem Země.

Síla nebo intenzita pole Země je nejslabší u rovníku (cca. 30,000 nT) a nejsilnější v blízkosti magnetických pólů (cca. 60 000 nT) (Wiltschko a Wiltschko, 1995; Johnsen a Lohmann, 2005; Mouritsen, 2015).

Magnetický sklon je úhel mezi linií magnetického pole a zemským povrchem. Magnetický sklon se tedy postupně mění od -90° na magnetickém jižním pólu, 0° na magnetickém rovníku a na $+90^\circ$ na magnetickém severním pólu (R. Wiltschko a W. Wiltschko, 1995; Mouritsen 2015).

Magnetická deklinace je odchylka mezi geografickým a magnetickým severem. Magnetické odklonění je úhel mezi magnetickým severem a geografickým severem (Mouritsen 2015).

Magnetické pole není pravidelné a je narušeno celosvětovými, regionálními a místními nesrovnalostmi. Tyto odchylky od ideálního dipólového pole tvoří magnetickou topografii, oblasti s vyšší intenzitou a oblasti s nižší intenzitou tvořící magnetické hory a údolí (Wiltschko a Wiltschko, 1995).



Obr. č. 1: Znárodnění geomagnetického pole (Mouritsen, 2015)

Magnetické pole Země není také časově úplně stálé (Wiltschko a Wiltschko, 1995; Johnsen a Lohmann, 2005). Časové změny, které mají původ v činnosti Slunce, se nazývají magnetické bouře. Magnetické bouře jsou nepravidelné výkyvy spojené s aktivitou slunečního záření a slunečními světly, ale jsou i pravidelné denní změny, které jsou způsobeny elektromagnetickým zářením Slunce působícího na ionosféru. Sekulární variace znamenají pomalé změny v lokálních magnetických parametrech v průběhu let. V geologických časech došlo k dramatickým změnám magnetického pole, z nichž nejvýznamnější jsou změny polarity (Wiltschko a Wiltschko, 1995).

4. Magnetorecepce

Magnetorecepce je schopnost detekovat magnetické pole Země. Řada živočichů má tuto schopnost, např. losos nerka (*Oncorhynchus nerka*), mořské želvy (*Dermochelys coriacea*), čolek zelenavý (*Notophthalmus viridescens*), langusty karibská (*Panulirus argus*), včela medonosná (*Apis mellifera*), octomilka obecná (*Drosophila melanogaster*), červenka obecná (*Erithacus rubecula*) a další (Cryptochrome and Magnetic Sensing, 2011; Nishimura a Fukushima, 2009).

4.1. Orientace v magnetickém poli

Mnohé behaviorální experimenty ukazují, že zemské magnetické pole je všudypřítomné (Beason, 2005; Wiltschko a kol., 2011) a poskytuje užitečné informace pro život mnoha druhů živočichů (Mouritsen, 2015). Např. živočichové dokáží využívat geomagnetické pole mnoha způsoby: magnetický kompas, magnetickou intenzitu nebo sklon, které jsou součástí navigační mapy a magnetické podmínky regionů mohou sloužit jako znaky, které mohou vyvolat specifické reakce (Wiltschko a Wiltschko, 2005).

Zjistilo se, že ptactvu slouží k určení směru mimo geomagnetického pole Země, také poloha Slunce, hvězd a polarizované světlo oblohy. Také mohou určit svou pozici pomocí čichových, sluchových a zrakových vodítek. Když jim selžou tyto navigační vodítka např. zataženou oblohou, umí si poradit tím, že si umějí přenastavit mapu a pomocí jen geomagnetického pole se dokáží orientovat (Vácha a Němec, 2007).

4.1.1. Magnetický kompas

Friedrich W. Merkel a Wolfgang Wiltschko v polovině šedesátých let objevili, že ptáci mají magnetický kompasový smysl. Byl objeven i u dalších taxonomických skupin zvířat např. u měkkýšů, koryšů, hmyzu a u pěti tříd obratlovců (Johnsen a Lohmann, 2005).

Pro zvířata schopná vnímat geomagnetické pole představuje spolehlivý a vždy dostupný zdroj. Zejména naznačuje směry, které jim poskytuje magnetický kompas (Wiltschko a kol., 2011).

4.1.1.1. Magnetický alignment

Magnetický alignment je spontánní natočení těla živočicha určitým směrem, který se objevuje u živočicha v klidu a není řízena jinými faktory. (Begall a kol., 2008).

Např. vodní ptáci při dosedu na vodní hladinu preferují natočení těla severojižním směrem (Hart a kol., 2013).

Taktéž byla prokázána preference orientace severojižním směrem u pasoucích se či odpočívajících jelenů, srnců a domácího skotu na základě satelitních snímků z aplikace Google Earth (Begall a kol., 2008) i u divokých prasat se potvrdila preference severojižním směrem. Předpokládá se, že preference směru vyplývá vyrovnáním pozice zvířat podle indukčních čar magnetického pole (Hart a kol., 2013; Červený, 2016).

Bylo zjištěno, že běžné poziční chování živočichů mohou narušit např. extrémně nízké frekvence magnetického pole způsobené přítomností drátů vysokého napětí (Burda a kol., 2009).

4.1.2. Typy kompasové orientace

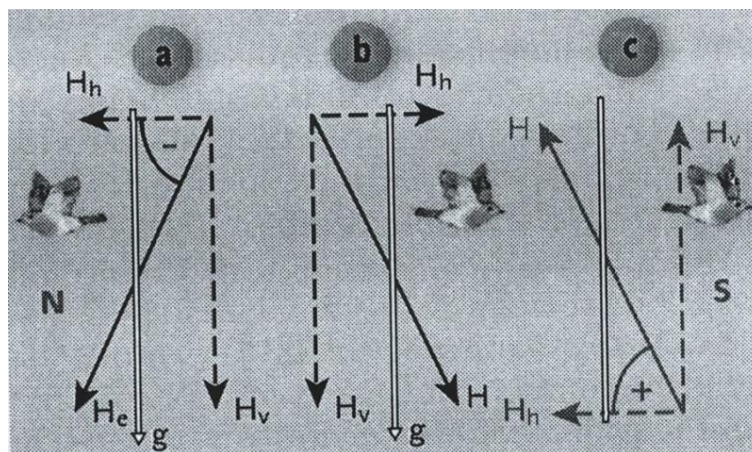
Existují dva typy kompasové reakce živočichů: polaritní a inkliniční (Wiltschko a Wiltschko, 1995; Wiltschko a kol., 2003; Vácha a Němec, 2007).

Polaritní - dokáže přímo rozeznat polaritu magnetického vektoru, a tedy i směr na jih od směru na sever. Někteří živočichové např. lososi a podzemní hlodavci mají polaritní kompas.

Inkliniční - je magnetický kompas ptáků, který je založený na sklonu indukčních čar bez použití polarity. Z tohoto důvodu ptáci rozlišují mezi pólem a rovníkem místo mezi severem a jihem. Inkliniční kompas používají kromě ptáků i mořské želvy (Ritz a kol., 2002; Vácha a Němec, 2007).

Interpretace inkliničního kompasu: živočichové poznají směr severo-jihní osy, ale nemají schopnost přímo určit její polaritu. Kde je sever a kde jih, odvozují až ze znaménka inklinace. Letí-li např. holub po magnetickém poledníku a osa pole před ním směřuje k Zemi, může si být jist, že letí na sever.

Při experimentu s obrácenou horizontální složkou pole bylo zjištěno, že ptáci reagovali letem na druhou stranu. Stejný obrat nastal, i když zůstala horizontální složka stejná, ale byla obrácena inklinace (obr. č. 2) (Vácha a Němec, 2007; W. Wiltschko a kol., 2011).



Obr. č. 2: **Inkliniční kompas ptáků:** Normální orientace (a). Otočíme-li experimentálně vertikální složku geomagnetického pole (b), má to stejný účinek jako otočení složky horizontální (c). Ptáci, ale také čolci a želvy odvozují tedy polaritu pole ze znaménka sklonu pole (inklinace). (Vácha a Němec, 2007)

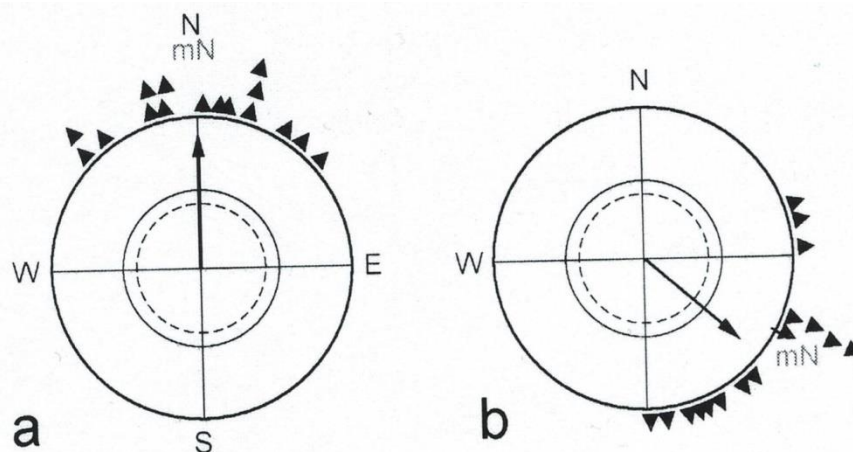
4.1.3. Demonstrace magnetické kompasové orientace

První důkaz o orientaci magnetického kompasu u zvířat pochází od červanky obecné, která je noční migrant. (Johnsen a Lohmann, 2005; Wiltschko a kol., 2011). Během migračního období je její chování řízeno spontánní tendencí létat v noci do směru migrace. Tento instinkt je tak silný, že dokonce i ptáci žijící v zajetí, směřují do příslušného směru ve svých klecích, čímž poskytují pevnou základnu pro experimenty.

Typ klece, který je dnes nejčastěji používán, je ve tvaru trychtýře a nakloněné stěny jsou pokryty speciálním papírem, kde ptáci nechávají značky při své spontánní aktivitě, čímž se dokumentuje rozložení jejich pohybů. Tyto značky jsou důležité proto, abychom vypočítali a získali směr, kterým pták mířil. (Wiltschko a kol., 2011)

Magnetické pole v prostoru klece a jejím bezprostředním okolí lze lokálně ovlivňovat pomocí cívek. Např. tyčové magnety (viz. Jorgen Rabol, 1979) nebo také pomocí Helmholtzových cívek. (obr. 3)

Pro vyhodnocení testů orientace živočichů se používají cirkulární diagramy. (Němec a Vácha, 2007)



Obr. č. 3: **Orientační chování migrujících červenek na jaře testované v (a) lokálním geomagnetickém poli a (b) experimentálních polích s magnetickým severem posunutým o 120 ° pomocí Helmholtzových cívek (Wiltschko a kol., 2011).**

4.1.4. Mapový smysl

V dnešní době lidé používají Global positioning system (GPS), který poskytuje lidem informace o zeměpisné poloze a průběžně počítá směr k cíli. Právě poziční informace obsažené v magnetickém poli u některých migrujících druhů ptactva poskytují podobný způsob jako GPS u lidí. (Johnsen a Lohmann, 2005)

Výzkumníci předpokládají, že existují dva typy receptorů, které vytvářejí magnetickou mapu. První pro magnetický kompas, který určuje směr. Druhý může sloužit k přenosu informací o poloze a pravděpodobně je založen na magnetitu (Beason, 2005; Wiltschko, 2005).

Sign-posts tzv. ukazatelé směru nebo-li rozcestníky jsou specifické v různých oblastech, které mohou pomoci určit správný směr jejich cesty do cíle. Jejich reakce jsou vrozené tedy vyvolané magnetickými podmínkami. (Wiltschko, 2005; Vácha a Němec, 2007).

Mapový smysl byl zjištěn např. u ocasatých obojživelníků, mořských želv, ptáků a humrů (Wiltschko, 2005; Johnsen a Lohmann, 2005).

Právě na základě pokusu u mláďat karety obecné (*Caretta caretta*) pomocí Merritovy cívky bylo zjištěno, že mají vrozený sign post, protože reagovala stejně, jako kdyby byla v oceánu s dospělými želvami a přitom v oceánu nikdy mláďata nebyla. (Němec a Vácha, 2007)

Ve Švédsku vědci s experimentem se slavíky tmavými (*Luscinia luscinia*) zjistili, že když jim nastaví magnetické pole jako v severní Africe, začnou nabírat hmotnost. Aby mohli zvládnout náročnou a dlouhou cestu přes Saharu (Wiltschko, 2005; Vácha a Němec, 2007).

Orientace a navigační dovednosti jsou nezbytné pro přežití všech stěhovavých ptáků. Mnoho větších ptáků jsou denní migranti a cestují ve skupinách, což znamená, že mladí ptáci těchto druhů mohou jednoduše sledovat zkušené ptáky, kteří znají cestu. Nicméně, většina malých pěvců jsou noční migranti (např. červenka obecná) a cestují sami bez kontaktu s jejich rodiči. V důsledku toho musí být všechny jejich navigační schopnosti založeny na zděděných smyslových schopnostech a strategiích (Able a Able, 1997; Mouritsen, 2015), ale např. u holubů (*Columba livia*) může být získaná navigační schopnost na základě

zkušenosti a holubi si mohou nastavit mapu podle orientačních vodítek (např. podle polohy Slunce) (Vácha a Němec, 2007).

5. Mechanismy magnetorecepce

Mnoho živočichů vnímá a orientuje se podle magnetického pole na rozdíl od lidí, kterým byla tato schopnost odepřena (Wiltschko a Wiltschko, 2005). Tudiž nemáme představu, jak a co vlastně zvířata z magnetického pole cítí. (Vácha a Němec, 2007)

Magnetorecepce je prokázána jen mnoha behaviorálními pokusy např. spočívajícím změnou magnetického pole a pozorováním změn magnetické orientace (Wiltschko a kol., 2011), taktéž změnou barvy světla a krátkou vlnovou délkou a následným pozorováním orientace či dezorientace (Vácha a Němec, 2007). Přes všechny pokusy a výsledky nebyl doposud prokazatelně určen a lokalizován magnetoreceptor (Wiltschko a Wiltschko, 2005; Němec a Vácha, 2007; Mouritsen 2015).

Dnes jsou hypoteticky považovány tři možnosti mechanismů: zaměřené na magnetorepenci založené na elektromagnetické indukci, magnetorepenci založené na základě magnetitu a chemickou magnetorepenci (Johnsen a Lohmann, 2005; Wiltschko a Wiltschko, 2005; Němec a Vácha, 2007; Mouritsen 2015).

5.1. Magnetorecepce založená na elektromagnetické indukci

Tento model vyžaduje přítomnost elektroreceptorů, které mají nejen paryby, ale také mihule, mnohé skupiny ryb, někteří vodní obojživelníci a ptakořitní savci (Johnsen a Lohmann, 2005).

Mořští živočichové v geomagnetickém poli vnímají změny elektromotorického napětí indukované svým pohybem. Tento typ magnetorecepce připadá v úvahu u velkých a rychlých živočichů žijících v moři, kteří jsou vybaveni velmi citlivými elektroreceptory.

Mořská voda je vysoce vodivé médium, vzduch však nikoliv, proto ptáci a další pozemští živočichové nemohou indukovat magnetorepceci stejným způsobem, který byl navržen pro mořské živočichy elektricky citlivé (Johnsen a Lohman, 2005). Tato hypotéza je právě omezena jen na mořské živočichy (Wiltschko a kol., 2011).

Orgán, který by mohl být zprostředkován magnetorepceci založenou na elektromagnetickou indukci se nazývá Lorenziniho ampule (Johnsen a Lohmann, 2005; Vácha a Němec, 2007; Mouritsen, 2015). Tyto ampule jsou rozmístěny po celém těle např. u rejnoka druhu *Raja laevis*. Lorenziniho ampule jsou kanálky vyplněné aminopolysacharidem a fungují jako pohybující se vodič (Vácha a Němec, 2007). Mořská voda slouží jako médium a elektroreceptory na dně kanálků jako vysoce citlivé voltmetry (Vácha a Němec, 2007; Wiltschko a Wiltschko, 2005; Mouritsen, 2015).

Tato hypotéza má určité komplikace. Při pohybu živočicha na sever nebo na jih je indukované napětí nula, ale když se bude pohybovat na východ nebo na západ, napětí je maximální (s opačnými znaménky). Směr pohybu na severovýchod a jihovýchod bude vytvářet stejné napětí, tím pádem bude neodlišitelné. Předpokládá se, že živočich odliší oba směry vychýlením ze směru plavby a porovná změnu své orientace se změnou receptorového napětí. Další komplikací jsou oceánské proudy, které mohou ztěžovat orientaci (Vácha a Němec, 2007).

Také nedávný experiment s vloženým magnetem na těle stručky druhu *Dasyatis brevicaudata* hypotézu zpochybnil, protože magnet připevněný tak, že se

pohybuje spolu se zvířetem, by neměl právě rušit magnetorecepci založenou na magnetické indukci (Vácha a Němec, 2007).

5.2. Magnetorecepce založená na magnetitu

V sedmdesátých letech bylo zjištěno, že některé bakterie obsahují řetězcy jednoho doménového magnetitu, které působí jako magnety a vyrovnávají tyto bakterie podél indukčních čar geomagnetického pole (Wiltschko a Wiltschko, 2005). Krystaly těchto bakterií však nejsou součástí aktivního sensorického systému, ale vedou pouze k pasivnímu vyrovnání (Wiltschko a Wiltschko, 1995).

Objevení magnetitu u bakterií vedlo výzkumníky k hledání také u různých druhů živočichů. Magnetit byl nalezen u včel, mořských želv, lososů, ptáků a dalších živočichů (Wiltschko a Wiltschko, 2005).

U živočichů byly nalezeny magnetity ve dvou formách, buď krystaly s jednou doménou anebo supermagnetické (Johnsen a Lohmann, 2005; Vácha a Němec, 2007; Mouritsen, 2015).

Krystaly s jednou doménou jsou velké 50 nm, které se otáčejí do souladu se zemským magnetickým polem a jsou schopny detekovat polaritu pole (tj. mohou rozlišit magnetický sever a jih) (Johnsen a Lohmann, 2005). Tato forma magnetitu byla nalezena např. ve sliznici čichové jamky pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*).

Na rozdíl od supermagnetických krystalů o velikosti 2-5 nm jsou nanočástičky magnetitu, které nemají trvalý magnetický moment a nemohou se tak otáčet v souladu se zemským magnetickým polem.

Shluky nanokrystalů mají superparamagnetické vlastnosti – ve vnějším poli je v nich indukován magnetický moment, jehož orientace je vždy shodná s orientací vnějšího pole. Pokud by byly takové shluky nanokrystalů zakotveny v plazmatické membráně neuronu, budou se vzájemně přitahovat nebo odpuzovat v závislosti na směru vnějšího pole, což může vést k deformacím membrány. Tato forma magnetitu byla nalezena v podkoží horní poloviny zobáku holubů (Johnsen a Lohmann, 2005; Vácha a Němec, 2007; Mouritsen, 2015).

Přenos informace nejspíš probíhá pomocí mechanoreceptorů, snímajících točivý moment, či ovlivňujících iontové kanálky svou rotací, čímž by je otvíraly či zavíraly (Johnsen a Lohmann, 2005; Němec a Vácha, 2007). Experimenty s holubou, jimž byl přerušen trojklanný nerv, vedly ke ztrátě geomagnetického pole a jejich dezorientaci (Johnsen a Lohmann, 2005; Vácha a Němec, 2007).

Přestože přímé důkazy, že magnetit působí v magnetorecepci, zůstávají omezené, dodatečné přímé důkazy byly poskytnuty experimenty s magnetickým impulsem. Silné magnetické pole krátkého trvání může být použito ke změně směru magnetizace v magnezitových částicích s jednou doménou či narušit uspořádání shluků superparamagnetický nanokrystalů (Johnsen a Lohmann, 2005; Vácha a Němec, 2007). Pulzní magnetizace může proto ovlivnit nebo dokonce zničit magnetoreceptory založené na magnetitu. U migrujících pěvců, holubů, mořských želv nebo hlodavců to vede k dezorientaci či výrazné změně směru. (Vácha a Němec, 2007)

Zjistilo se, že receptor založený na magnetitu ke své funkci nepotřebuje světlo. Např. bezchybné orientace ve tmě jsou schopny ryby, mořské želvy a někteří hlodavci. (Vácha a Němec, 2007)

5.3. Chemická magnetorcepce

Model vysvětluje mechanismus chemických reakcí. Slabé geomagnetické pole nedokáže ovlivňovat všechny chemické reakce, ale přesto je schopno ovlivňovat vznik různě orientovaných spinových stavů elektronů a tím i některé chemické reakce, při kterých se tvoří radikálové páry (Wiltschko a Wiltschko, 2005; Vácha a Němec, 2007).

U organismů vznikají radikálové páry přechodem elektronu z donorové molekuly na akceptorovou molekulu. Jejímž výsledkem může být singletový nebo tripletový produkt. Magnetické pole mění dynamiku přechodu tak, že výtěžek tripletových produktů je závislý na orientaci molekuly fotopigmentu vůči vnějšímu magnetickému poli. Tyto fotopigmenty jsou předpokládány v sítnici oka ptáků, které jsou orientované v různých směrech kvůli magnetickému poli a mohou vyvolat zrakové vjemy (obrazce). Proto bude zvíře vnímat odlišné vzory, pokud se bude dívat různými magnetickými směry. Vyplývá z toho, že tento model je závislý na světle, které poskytuje energii pro počáteční excitaci. Nedovoluje tedy rozeznat sever od jihu, čímž kompas musí být inkлинаční nikoliv polaritní, neboť je v úzkém rozmezí intenzity magnetického pole.

V současnosti jedinými známými fotopigmenty obratlovců, o nichž se ví, že tvoří radikálové páry, jsou kryptochromy (Ritz a kol., 2002; Johnsen a Lohmann, 2005; Mouritsen, 2015). Předpokládá se, že mohou být receptorovou molekulou. Kryptochromy jsou flavoproteiny, které se podílejí na cirkadiálních systémech rostlin a živočichů. Kryptochromy reagují na modré světlo a mají absorpční spektra, která do značné míry odpovídají spektrálnímu oknu, v němž jsou tažní pěvci schopni orientace magnetickým kompasem (Wiltschko a Wiltschko, 2011). Taktéž jsou citlivé na světlo a existují v sítnici a epifýze (Johnsen a Lohmann, 2005).

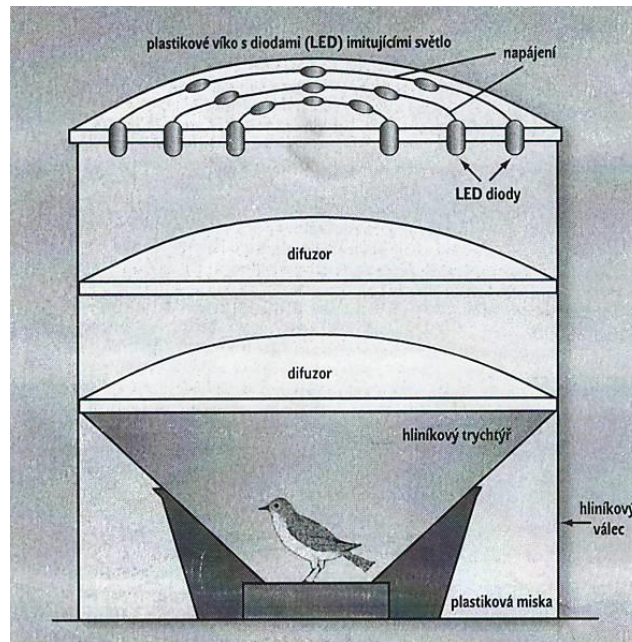
Na základě behaviorálních testů u ptáků s monochromatickým světlem (obr. č. 4) se potvrdilo, že mají tzv. funkční okna, a proto nevidí světlo v celém rozsahu spektra. Tyto funkční okna jsou závislá na určitém rozsahu vlnové délky. Např. u *Erithacus rubecula* a *Zosterops L. Lateralis* se zjistilo, že jsou dobře orientováni ve svém migračním směru pod UV, a také modrým, tyrkysovým a zeleným světlem na krátkou vlnovou délku. Žluté a červené světlo má delší vlnovou délku,

a proto jsou dezorientovaní (Wiltschko a Wiltschko, 1999; Wiltschko a kol., 2007; Wiltschko a kol., 2011), ale při delší době intenzity červeného světla se dokážou přivyknout a orientovat se. Obojživelníci a octomilky na změnu barvy nereagují dezorientací, ale změnou preferovaného směru o 90° (Vácha a Němec, 2007). Zjistilo se, že pěnice slavíková (*Sylvia borin*) a holub se orientují normálně při modrozeleném světle (Wiltschko a Wiltschko, 1999).

Přímé důkazy, že sítnice je zapojena do magnetorecepce ptáků, zatím neexistují. Ale zakrytí oka, případně přetnutí zrakového nervu, aktivaci spolehlivě zruší. Zjistilo se také, že migrující pěvci s důkladně zakrytým levým okem nejsou schopni orientace, přitom titíž ptáci se zakrytým pravým okem problémy s orientací nemají. Vypadá to, že magnetorecepce je jednostranná (Vácha a Němec, 2007).

Při experimentech se zjistilo, že ptáci vystaveni velmi slabému oscilujícímu radiofrekvenčnímu poli, byli skutečně dezorientovaní (Vácha a Němec, 2007; Mouritsen, 2015). Intenzita byla velmi nízká (zhruba 1% intenzity geomagnetického pole) a frekvence vysoká. Je velmi nepravděpodobné, že by pole ovlivnilo receptor založený na magnetitu (Johnsen a Lohmann, 2005; Wiltschko a Wiltschko, 2005; Vácha a Němec, 2007).

Ptáci se orientují dvěma typy magnetorecepce. Magnetorecepce zprostředkovaná pouze superparamagnetickými krystaly reaguje jen na intenzitu geomagnetického pole. Směrovou orientaci zajišťuje chemická magnetorecepce (Wiltschko a Wiltschko, 2005).



Obr. č. 4: Aparatura pro testování individuálních ptáků pod monochromatickým světlem
(Vácha a Němec, 2007).

6. Charakteristika řádů, čeledí a determinační znaky druhů

Řád: Pěvci (*Passeriformes*)

Největší řád třídy ptáků. Pěvci jsou nejpočetnějším řádem ptáků a tvoří přes polovinu všech ptačích druhů. Patří sem ptáci velmi rozmanitého vzhledu, malé až střední velikosti.

Mají tvarově rozdílné zobáky podle toho, jakou potravou se živí např. zobák zrnojedů je kuželovitý (štíhlý a mohutný), tvrdý, někdy opatřený i různými vruby kvůli lepšímu drcení rostlinných semen. Zobák hmyzožravců je většinou jemný a špičatý, někdy upravený jako pinzeta k vytahování hmyzu ze štěrbin kůry, může být plochý u kořene široký a navíc ještě rozšířený o štětinky, vyrůstající na horní čelisti, sloužící k lapání létajícího hmyzu. Unikátní zobák křivek má zkřížené čelisti, které slouží k rozevírání šupin šišek.

Pěvci obývají všechny typy prostředí kromě moře. Žijí převážně v monogamii. Samci jsou obvykle větší, ale mnohem pestřejší než samice.

Všechny hlasy ptáků se tvoří v orgánu syrinx, který jim umožňuje vydávat melodické, druhově specifické zpěvy. (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999). Syrinx leží na konci průdušnice v místě jejího rozdělení na dvě průdušky a je napojen na dýchací systém. Skládá se z válcovitého bubínku, který se vyvinul s růstem a postupným zkostnatěním několika tracheálních a bronchiálních kroužků (Hanzal a kol., 2016).

Pěvci stavějí hnízda. Jejich mláďata jsou krmivá (nidikolní), líhnou se slepá a holá (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeleď: Krkavcovití (*Corvidae*)

Krkavcovití jsou největší, inteligentní a zvědaví pěvci. Přizpůsobují se různým životním podmínkám především umístěním hnízda nebo volbou potravy. Jejich hlasy jsou spíše drsné než melodické. Většina druhů, o velikosti holuba až káně, je černá a bez jakékoliv kresby, naproti tomu sojky a straky jsou velmi pestré. Obě pohlaví jsou stejná, všechny druhy mají silné nohy a zobáky a živí se téměř vším. Hnízda jsou tvořena většinou z větví, snůška 3 - 7 na modrozeleném základu skvrnitých vajec. Druhy této čeledi žijí ve všech prostředích, od horských štítů po centra měst, některé jsou výrazně společenské.

Sojka obecná (*Garrulus glandarius*)

Popis: velmi pestrá základní barva mléčně kakaová, černo-modré pole v křídlech a černý vous. V letu nápadný bílý kostřec a bílé pole v křídlech.

Prostředí: lesy, parky, častěji i uvnitř měst (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeled': Sýkorovití (*Paridae*)

Jsou stálými ptáky, kteří i v zimě ručkují obratně ve větvích, hledají semena a hmyz a rádi navštěvují krmítka. Jsou to dutinová hnízdiči, kteří ve svých mechem vystlaných hnízdech snášejí až 16 bělavých, červenavě skvrnitých vajec. V zimě se sýkorky rády sdružují do smíšených hejn.

Sýkora koňadra (*Parus major*) je největší a nejznámější. Hnízdí v různých dutinách včetně budek.

Popis: žlutá spodní část těla rozdělená černým podélným pruhem na hrudi (u samic slabší), černá hlava s bílými tvářemi (v šatu mlád'at žlutavé tváře bez černého ohraničení dole) a mechově zelený vrch těla.

Prostředí: světlé lesy, zahrady, parky, v zimě na krmítkách.

Sýkora modřinka (*Parus caeruleus*) je velmi známá menší sýkora. Obratně šplhá ve větvích a často v hejnech.

Popis: bíle lemované modré temeno, černý proužek přes oko, žlutá spodní strana těla s naznačeným podélným pruhem, výrazné modré zbarvení na křídle a ocasu. Šat mlád'at je bledší a hlavu má silně do žluta.

Prostředí: světlé lesy, zahrady, často na krmítkách (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeled': Brhlíkovití (*Sittidae*)

Dokáží šplhat po kmenech hlavou dolů. Hnízda v dutině vystylají kousky kůry a letový otvor zmenšují bahnitou hmotou na jim vyhovující průměr. Většina skalních druhů hnízdí ve stromových či skalních dutinách. Svá teritoria urputně brání i mimo dobu rozmnožování.

Brhlík lesní (*Sitta europaea*) šplhá po kmenech stromů nejen hlavou nahoru, ale i dolů.

Popis: nezaměnitelný krátký ocas, dlouhý zobák, šedomodrá svrchní strana těla, černý proužek přes oko, červenohnědé zbarvení v podbřišku, spodní strana těla rezavě oranžová a u samců boky kaštanově hnědé.

Prostředí: lesy, parky, zahrady, v zimě i na krmítkách (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeled': Drozdovití (*Turdidae*)

Tvoří velkou čeled' středně velkých ptáků, kteří mají dlouhé nohy a velké oči. Při hledání malých bezobratlých poskakují po zemi, živí se však i rostlinnými plody. Svá hnízda si staví z rostlinných stébel na větvích keřů a stromů, do kterých snášejí 3 – 8 barevných skvrnitých vajec. U většiny druhů nejsou pohlaví rozlišitelná a typickou vlastností je hlasitý melodický zpěv. (Douglas a kol., 2011)

Kos černý (*Turdus merula*) je nejznámější drozdovitý pták.

Popis: samci jsou celí černí se žlutým až oranžovým zobákem a očním kroužkem. Samice jsou tmavohnědé až téměř černé, vespod s variabilním odstínem od rezavě po černou, hrud' je různě skvrnitá a zobák žlutý. Šat mlád'at je hnědý se žlutavými čárkami.

Prostředí: zahrady, parky a lesy (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeled': Lejskovití (*Muscicapidae*)

Patří sem malí až středně velcí ptáci, kteří jsou vynikající letci. Většina druhů je spíše malá, vztyčeně posedávají a specializují se na lov hmyzu, který v letu nebo na zemi loví z nějakého vyhlídkového bodu. Celou skupinu tvoří některé zvláště krásně zpívající druhy jako jsou slavíci, modráčci nebo červenky. Druhy z chladnějších a mírných oblastí odlétají na zimu do tropů. Táhnou jen v noci, zatímco přes den shánějí potravu.

Červenka obecná (*Erithacus rubecula*) je velmi známý malý pták a skáče často po zemi.

Popis: čelo, strany hlavy a hrud' je rezavě červená, břicho bělavé, vrch těla a ocas jsou hnědé. Šat mlád'at je hnědý, světle skvrnitý bez červeného zbarvení.

Prostředí: lesy zejména jehličnaté, zahrady a parky (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeled': Vrabcovití (*Passeridae*)

Mají jako všichni zrnosedi silný kuželovitý zobák. Jejich zbarvení je nenápadné a ani hlasové schopnosti nejsou zvláštní. Snášejí 3 – 7 skvrnitých vajec do nedbale stavěných hnízd v dutinách včetně budek. Většinou jsou to společenší ptáci.

Vrabc domácí (*Passer domesticus*) je obecně známý hojný pták a téměř se vždy zdržuje ve skupinách. Hnízdí v budovách a také v budkách.

Popis: samci mají šedé temeno, rezavohnědou šíji, šedý kostřec, černou bradu a ve svatebním šatu i hruď. Samice a mláďata mají hlavu a kostřec šedohnědý a nad oční proužek nažloutlý.

Prostředí: lidská sídliště

Vrabc polní (*Passer montanus*) je běžný a menší než vrabc domácí. Mimo dobu hnízdění se drží v hejnech často společně s vrabcem domácím. Hnízdí s oblibou v budkách.

Popis: temeno rezavohnědé, vespod ohraničené šedým límcem, strany hlavy bílé s černou skvrnou. Černá skvrna je i na bradě a hrdle.

Prostředí: kulturní krajina, vesnice, lesy i parky (Douglas a kol., 2011)

Čeled': Pěnkavovití (*Fringillidae*)

Mají kuželovitý zobák zrnosedů v mnoha variacích (krátký, dlouhý, silný, zkřížený), vždy podle přizpůsobení k druhu a způsobu získávání potravy. Žijí všude, kde mohou nalézt dostatek vhodných semen, od pustin přes zahrady až po lesy. U většiny druhů je možno rozlišit pohlaví. Samci výrazně zpívají, někteří i v letu. Otevřená pevná hnízda se 3 – 6 skvrnitými vejci jsou v křovinách nebo na stromech. U letících ptáků poskytuje určovací znaky zbarvení křídel a ocasu. Většina druhů zůstává u nás přes zimu, některé navštěvují krmítka.

Zvonek zelený (*Carduelis chloris*)

Popis: je ve velikosti vrabce s kuželovitým zobákem, žlutými vnějšími prapory ručních letek a okraji ocasu, celkové zbarvení zelené. U samců svatební šat je šedá loketní část křídla a strany hlavy. Samice matněji hnědozelené, lehce proužkovaná. Šat mláďat je vespod béžový s výraznějším pruhováním.

Prostředí: kulturní krajina, zahrady, parky a navštěvuje často krmítka (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Čeled': Strnadovití (*Emberizidae*)

Živí se převážně semeny a mají kuželovitý silný zobák, obývají však téměř výhradně otevřenou krajinu. Snášejí 3 – 6 vajec, zdobených tmavými čárkami, snášejí do hnízd na zemi. Samice jsou většinou hnědší než samci, kteří se dají snadno určit podle zbarvení hlavy a hrudi. Jejich monotónní zpěv je slyšet zpravidla z vyvýšených míst. Žijí v párech a drží si teritoria. Po vylétnutí mlád'at z hnízda se shlukují do hejn, která putují za potravou. Druhy z extrémních klimatických podmínek pravidelně táhnou.

Strnad obecný (*Emberiza citrinella*) je nejčastější poznatelný podle žlutého zbarvení.

Popis: neskvrnitý rezavohnědý kostřec, vnější ocasní pera s bílými okraji a nevýrazné kresby hlavy. Samci mají svatební šat zářivě žlutý zejména na hlavě. Samice mají bledší se zelenavě hnědými stranami hlavy.

Prostředí: otevřená krajina s mezemi a okraje lesů (Douglas a kol., 2011; Šťastný a kol., 1999)

Řád: Měkkozobí (*Columbiformes*)

Pro tento řád je charakteristické krmení mlád'at výživnou kašovitou hmotou, která se vytváří ve voleti, jehož sliznice se zduří, odlupuje a vytváří tzv. holubí mléko. Holubí mléko stačí pouze pro zajištění výživy dvou mlád'at, proto snášejí pouze 2 vejce a reprodukční úspěšnost nahrazují obvykle 2 – 4 snůškami za rok. (Hanzal a kol., 2016; Šťastný a kol., 1998)

Čeled': Holubovití (*Columbidae*)

Holub hřivnáč (*Columba palumbus*) je největší holub a v celé Evropě je hojný. Hnízdí v párech.

Popis: na křídle má širokou pásku, dospělí ptáci po stranách krku mají velkou bílou skvrnu (v myslivecké mluvě se říká límec), úzká světle šedá páska před tmavým koncovým pruhem, který je na dlouhém ocase

Prostředí: lesy, parky, početněji ve městech, potravu hledá na zemi (pole a louky)

Hrdlička zahradní (*Streptopelia decaocto*) je hojná v lidských sídlech a hnízdí téměř celý rok.

Popis: zbarvení světle šedohnědé, na šíji charakteristický černý pásek, který v šatu mláďat chybí.

Prostředí: téměř výhradně lidská sídliště (Douglas a kol., 2011)

7. Metodika

Cílem bakalářské práce je sledování magnetické orientace semenožravého ptactva na kulatých krmítkách pomocí fotopastí na dvou lokalitách Církvice a Malín v ČR. Z pořízených fotografií budou následně vyhodnocovány směry těl jedinců při sběru potravy ve stupních a výsledky budou statisticky vyhodnoceny.

Vybavení pro sběr dat: kompas, fotopast, krmivo pro venkovní ptactvo, kruhové krmítko (min. průměr 30 cm) podložené cihlou, aby ptáci byli dobře vidět na fotografii kvůli vyhodnocování směru těl.

Sběr dat probíhalo od 8. 4. 2017 – 2. 1. 2018 v Církvicích a od 24.5. 2017 – 12.12. 2017 v Malíně.

Sledování dat: Postavená dřevěná konstrukce jako šibenička (viz. obr. č. 5) zapíchnutá v zemi, nahrazuje strom z důvodu výskytu malých stromků na zahradě, na kterých se fotopast prohýbá. Pod konstrukci se dalo vyvýšené krmítko v průměru 30 cm a nasypalo se krmení pro venkovní ptactvo. Na konstrukci visela fotopast, do které se daly baterky a SD karta, aby mohla fungovat a sbírat data. Pomocí kompasu byla fotopast nasměrována na sever.



Obr. č. 5: Náčres dřevěné konstrukce (Hlavová Jana, 2018)

Vybavení pro vyhodnocování fotografií: fotografie, tužka, program Excel a kruhová stupnice.

Vyhodnocování fotografií: Kruhovou stupnici přiložíme na fotografii ptáka v ose těla, nula je nasměrována na horu jako sever a pomocí pohybem tužky od ocasu k zobáku se určí úhel, kterým směřuje zobák. Data se zaznamenávají do

tabulky v programu Excel úhel ve stupních, číslo fotografie, název lokality, rok, měsíc, den, čas, aktivitu rodové a druhové jméno ptáka (viz obr. z fotopastí v příloze). Byly vyhodnocovány jen fotografie, na kterých ptáci stáli na krmítku. Ti, kteří stáli na okraji krmítka, nebyli vyhodnoceni. Tyto výsledky se pak statisticky vyhodnotí v programu Oriana.

Data byla statisticky vyhodnocena v programu Oriana, která zobrazuje cirkulační grafy, které jsou typické pro vyhodnocení magnetické orientace. Nabízí základní statistiky kruhový průměr, délku středního vektoru, kruhovou směrodatnou odchylku a limity spolehlivosti 95% a 99%. Taktéž nabízí mnoho jednovzorkových testů (Rayleighův test, test Rao), dvou vzorkových testů (Watson-Wheeler F-test) a testy s více vzorky. Vstupní data vychází z Excelu. (Kovach Computing Services, 2018)

8. Lokality

Tyto lokality se nenachází v žádné chráněné krajinné oblasti a nejsou ničím specifické ohledně podnebí a polohou, ale jsou velmi specifické historií a památkami.

8. 1. Malín

Malín je předměstí současné, ale také nejstarší částí Kutné Hory. V 10. Století zde existovalo hradiště Slavníkovců a zde se i razily stříbrné mince ze stříbrné rudy těžené v okolí. Dokladem jsou archeologické nálezy slavníkovských denárů s opisem Malín civitas. Malínské hradiště však zřejmě zaniklo po násilném vyvraždění členů slavníkovského rodu na hradišti Libice v roce 995. Ve 12. století byl založen cisterciácký klášter v Sedlci a na konci 13. Století se spojily hornické osady dále západně od kláštera a tím vzniklo královské horní město Kutná Hora.

V Malíně samotném se díky úpravám a opravám dodnes zachovaly 2 předrománské kostely (kostel sv. Jana a Pavla a kostel sv. Štěpána se hřbitovem) a přibližný tvar hradiště. A neměli bychom také opomenout jednu legendární komoditu, která se pěstovala v Malíně u Kutné Hory – malínský křen (Památky)

Nachází se asi 3 km severovýchodně od centra Kutné Hory. Je součástí Kutné Hory, která je významnou městskou památkovou rezervací, zapsanou na seznamu světového kulturního dědictví UNESCO. Leží ve Středočeském kraji v okrese Kutná Hora.

GPS souřadnice: N 49°58.01632', E 15°18.31263'.



Obr. č. 6: **Mapka s vyznačenou rozlohou lokality Malín** (<https://mapy.cz>)

8. 2. Církvice

Vzhledem ke své výhodné poloze se na těchto území nachází celá řada archeologických nalezišť, které dokládají osídlení tohoto území ještě před naším letopočtem. Nejvýznamnější památka, která se nachází na území obce, je původní románský kostel sv. Jakuba vysvěcený pražským biskupem Danielem roku 1165 za přímé účasti českého krále Vladislava II. a královny Judity. Druhou dominantou obce je kostel sv. Vavřince, u kterého je určitou zajímavostí samostatná zvonice.

Obec Církvice se nachází na rozhraní Polabské nížiny a Železných hor, vzdálená 5km od historického města Čáslav i známé Kutné Hory. Leží ve středočeském kraji a okresu Kutná Hora. Přestože je dnes tato obec jeden celek, původně se jednalo o dvě obce a to Církvice a Sv. Jakub. Obcí protéká potok Klejnárka, jako přítok Labe. (Církvice)

GPS souřadnice: N 49°56.73613', E 15°20.10287'



Obr. č. 7: Mapka s vyznačenou rozlohou lokality Církvice (<https://mapy.cz>)

9. Biogeografie

Území České republiky je rozděleno na kvadráty (čtverce) Používají se ve floristice a faunistice k vytváření biogeografických map. Faunistika mapuje výskyt živočišných druhů na určitém území a floristika mapuje výskyt rostlinných druhů na určitém místě.

V Evropě existují dvě metody:

1. Universal Transverse Mercator (UTM) – je pravoúhlý zeměpisný souřadnicový systém. Základní mapové pole měří 100x100 km a dělí se dále na menší o rozměrech 50x50 km a 10x10 km. Hlavně se používá k mapování rostlin.
2. Kartierung der Flora Mitteleuropas (KFME) – je nejpoužívanější metoda v ČR. Mapové pole měří 10 minut zeměpisné délky a 6 minut zeměpisné šířky. Pole se označuje čtyřmístným číselným kódem např. 6658 a ještě se toto pole dále dělí na čtvrtiny označené písmeny a, b, c a d.

Studovaná území se nachází na kvadrátech: 6057b a 6058 (www.biolib.cz)

10. Výsledky

Data byla získána na zahradě dvou lokalit Malín a Církvice, které se nacházejí ve Středočeském kraji.



Obr. č. 8: Mapka s vyznačenými lokalitami: Malín (1) a Církvice (2) (<https://mapy.cz>)

10. 1. Malín

GPS: N 49°57.98257', E 15°18.10123'

Nadmořská výška 210 m

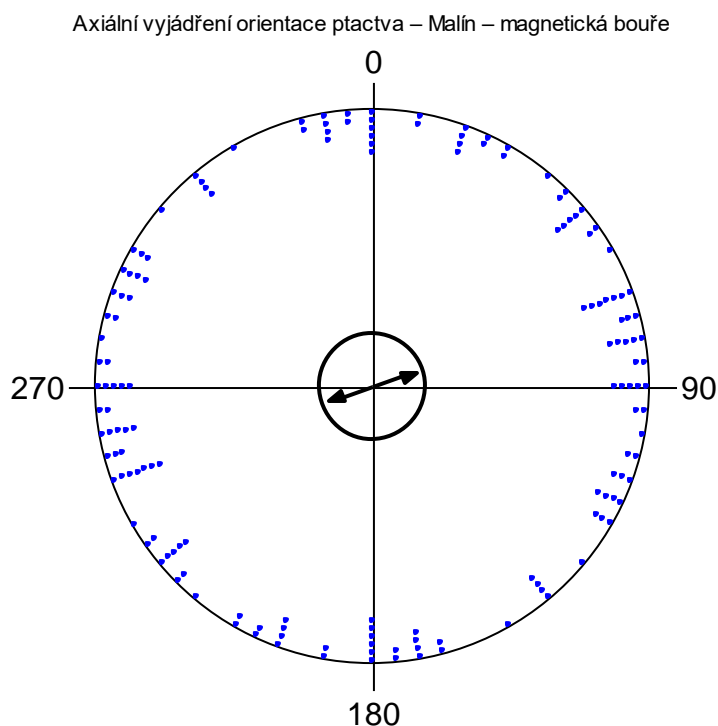
Výměra pozemku: 209 m²

Data byla sbírána od 24.5. 2017 – 12.12. 2017

Popis zahrady: Je malá s jehličnatým stromem a tujemi. Sousedí hned s dalšími zahradami.

Krmítko na této lokalitě bylo navštěvováno ptactvem: kosem černým, hrdličkou zahradní, vrabcem polním, vrabcem domácím, sýkorou koňadrou, brhlíkem lesním, sojkou obecnou, sýkorou modřinkou, zvonkem zeleným a červenkou obecnou.

Statistickým vyhodnocením 78 dat z lokality Malín byl zjištěn průměrný vektor $72,718^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 1). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

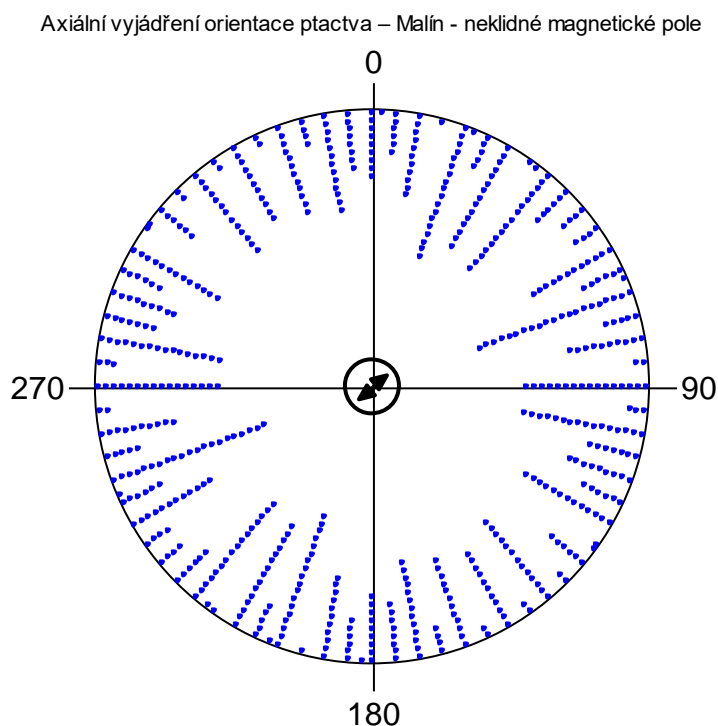


Graf č. 1: Axiální histogram z lokality Malína

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	78
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	$72,718^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,168
Concentration	0,341
Circular Variance	0,416
Circular Standard Deviation	$54,088^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	2,208
Rayleigh Test (p)	0,11
Rao's Spacing Test (U)	235,385
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 1: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína

Statistickým vyhodnocením 301 dat z lokality Malín byl zjištěn průměrný vektor $52,611^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 2). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

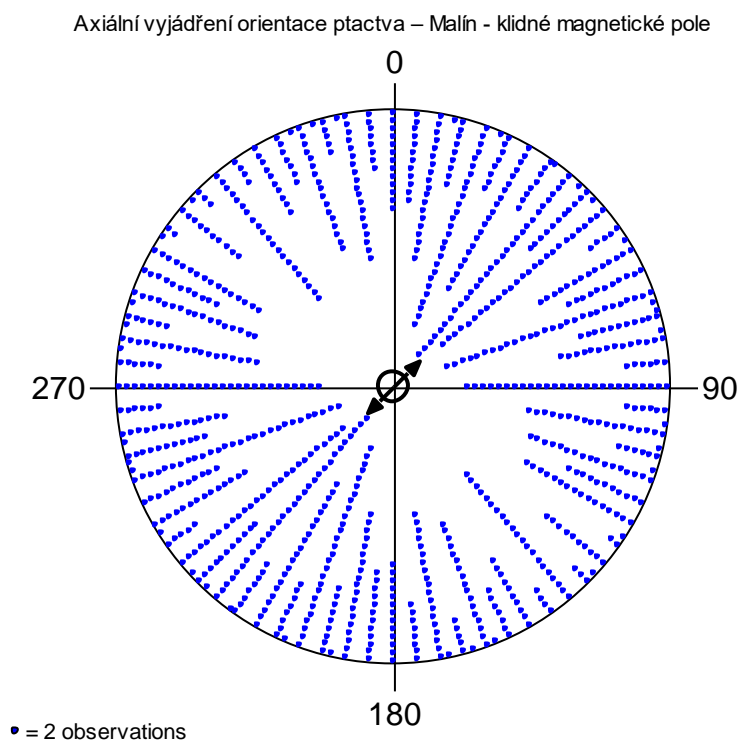


Graf č. 2: Axiální histogram z lokality Malína

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	301
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	$52,611^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,066
Concentration	0,132
Circular Variance	0,467
Circular Standard Deviation	$66,86^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	1,297
Rayleigh Test (p)	0,273
Rao's Spacing Test (U)	310,963
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 2: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína

Statistickým vyhodnocením 965 dat z lokality Malín byl zjištěn průměrný vektor $45,922^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 3). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.



Graf č. 3: Axiální histogram z lokality Malína

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	965
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	$45,922^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,134
Concentration	0,271
Circular Variance	0,433
Circular Standard Deviation	$57,4^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	17,419
Rayleigh Test (p)	$2,72E-8$
Rao's Spacing Test (U)	340,228
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 3: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína

10.2. Církvice

GPS: N 49°56.46385', E 15°20.41363'

Nadmořská výška 216 m

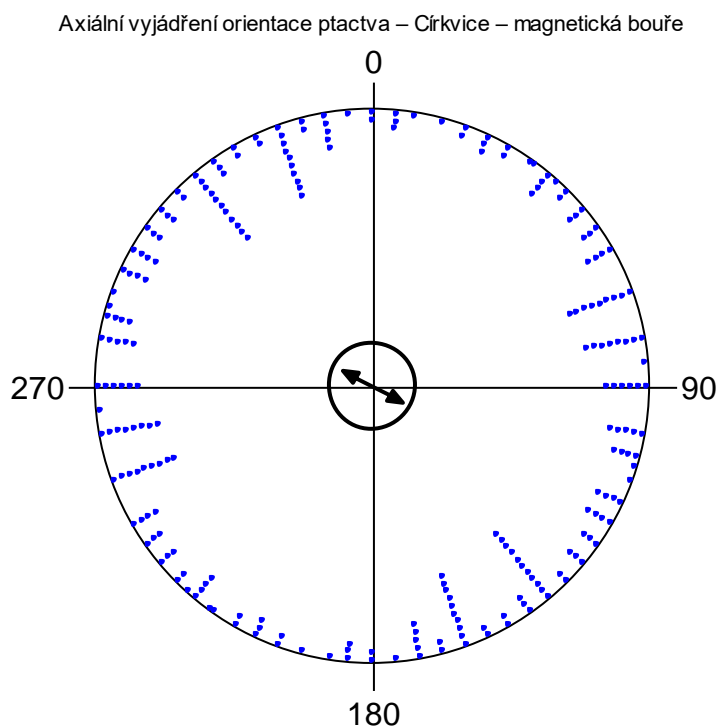
Výměra pozemku 648 m²

Data byla sbírána od 8. 4. 2017 – 2. 1. 2018

Popis zahrady: Je větší než v Malíně, sousedí s jednou zahradou a se statkem. Právě na statku jsou listnaté stromy, na kterých se zdržují ptáci po celý rok a zpívají.

Krmítko na této lokalitě bylo navštěvováno ptactvem: sýkorou koňadrou, vrabcem polním, hrdličkou zahradní, zvonkem zeleným, sýkorou modřinkou, vrabcem domácím, kosem černým, holubem hřivnáčem a strnadem obecným.

Statistickým vyhodnocením 120 dat z lokality Církvice byl zjištěn průměrný vektor $118,464^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 4). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

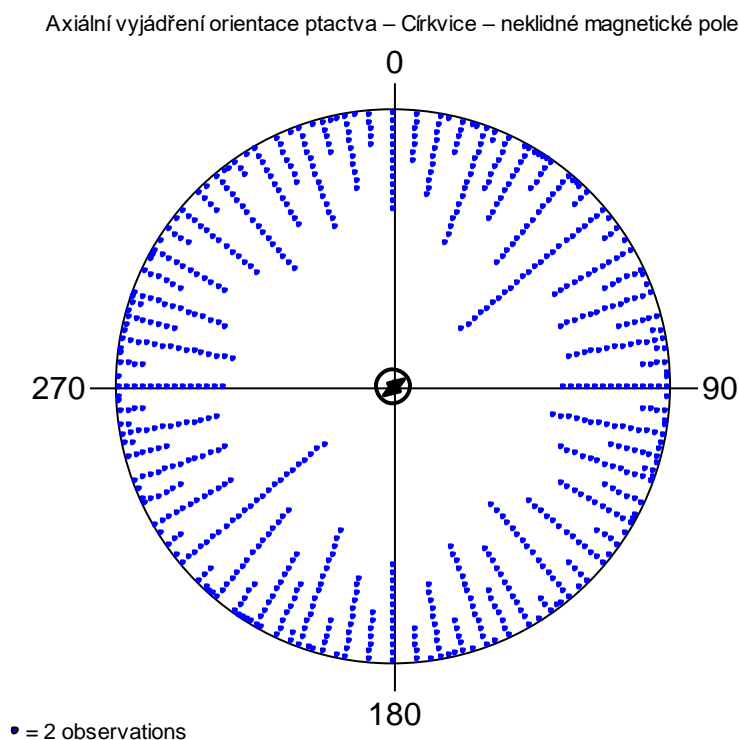


Graf č. 4: Axiální histogram z lokality Církvice

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	120
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	$118,464^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,12
Concentration	0,241
Circular Variance	0,44
Circular Standard Deviation	$59,026^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	1,72
Rayleigh Test (p)	0,179
Rao's Spacing Test (U)	253
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 4: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice

Statistickým vyhodnocením 720 dat z lokality Církvice byl zjištěn průměrný vektor $54,301^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 5). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

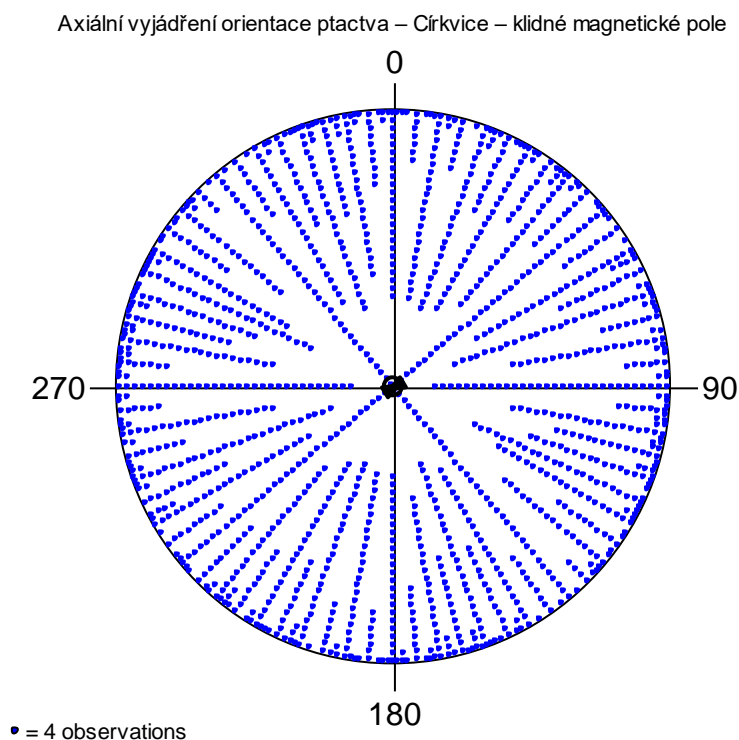


Graf č. 5: Axiální histogram z lokality Církvice

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	720
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	$54,301^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,043
Concentration	0,087
Circular Variance	0,478
Circular Standard Deviation	$71,807^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	1,345
Rayleigh Test (p)	0,261
Rao's Spacing Test (U)	321,5
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 5: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice

Statistickým vyhodnocením 2691 dat z lokality Církvice byl zjištěn průměrný vektor $61,59^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 6). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.



Graf č. 6: Axiální histogram z lokality Církvice

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	2691
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	$61,59^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,014
Concentration	0,027
Circular Variance	0,493
Circular Standard Deviation	$83,992^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	0,497
Rayleigh Test (p)	0,608
Rao's Spacing Test (U)	343,411
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 6: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice

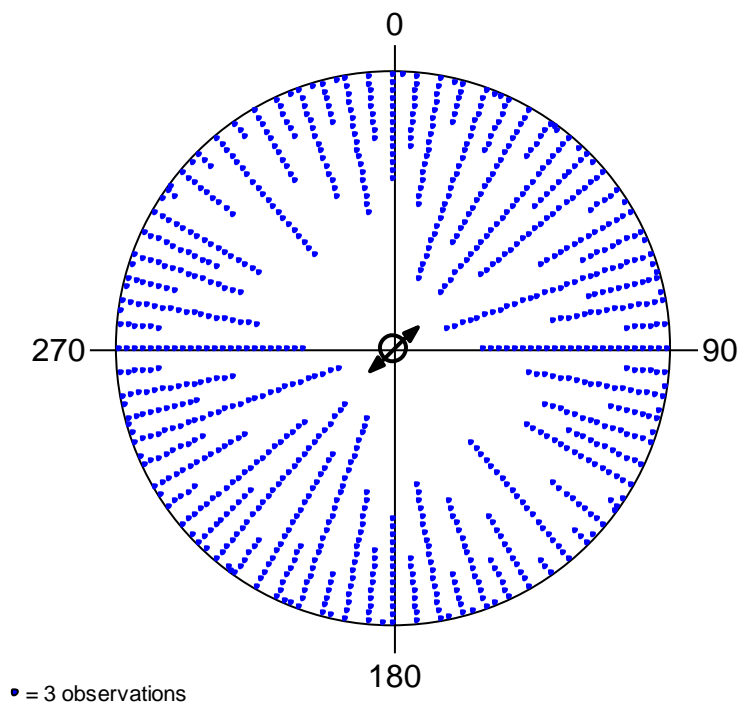
10. 3. Porovnání výsledků analýzy všech dat

Statistickým vyhodnocením 1344 dat z lokality Malín byl zjištěn průměrný vektor $48,68^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 7). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

Statistickým vyhodnocením 3531 dat z lokality Církvice byl zjištěn průměrný vektor $63,722^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru (graf č. 8). Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

U obou lokalit byl jednoznačně prokázán severo-východní směr.

Axiální vyjádření orientace ptactva při sběru potravy - Malín - všechna data

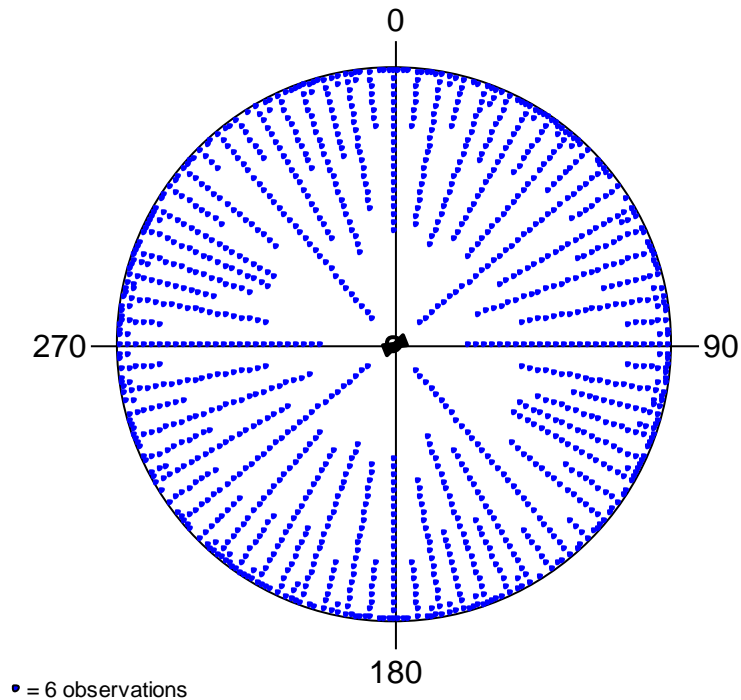


Graf č. 7: Axiální histogram z lokality Malína

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	1344
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	48,68°
Length of Mean Vector (r)	0,117
Concentration	0,236
Circular Variance	0,441
Circular Standard Deviation	59,332°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	18,432
Rayleigh Test (p)	9,88E-9
Rao's Spacing Test (U)	344,464
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 7: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Malína

Axiální vyjádření orientace ptactva při sběru potravy – Církvice - všechna data



Graf č. 8: Axiální histogram z lokality Církvice

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	3531
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector (μ)	63,722°
Length of Mean Vector (r)	0,017
Concentration	0,034
Circular Variance	0,492
Circular Standard Deviation	81,831°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	1,01
Rayleigh Test (p)	0,364
Rao's Spacing Test (U)	346,44
Rao's Spacing Test (p)	< 0.01

Tab. č. 8: Výsledky statistické analýzy dat z lokality Církvice

12. Diskuse

Výsledky statistického zpracování 1344 dat v Malíně a 3531 dat v Církvicích, analýza prokázala preferenci směru severovýchodní osy bez ohledu na vlivu magnetického počasí, nad 5% hranici Rayleigh testu významnosti na obou lokalitách.

V Malíně analýza prokázala pod 5% hranici významnosti Rayleigh testu u neklidného magnetického pole a magnetické bouře. Naproti tomu u klidného magnetického pole přesahuje 5% hranici významnosti Rayleigh testu, totéž se prokázalo v Církvicích.

Byl to překvapivý výsledek, protože bimodální preference severo- jižní osy byla zjištěna např. u ptáků (Hart a kol., 2013) a sudokopytníků (Begall a kol., 2008), když jsou zvířata v klidu a nepůsobí na ně nic.

Možná magnetický alignment byl ovlivněn několika faktory. Jedním z nich může být působení nízkých frekvenci magnetického pole, které poziční chování narušuje (Burda a kol., 2009), ale však tato možnost byla vyloučena, protože obě zahrady se nenachází pod elektrickým vedením.

Dalším faktorem tudíž by mohla být přítomnost psa v lokalitě Malín, která by mohla ovlivnit směr magnetického směru, jelikož pes je predátor jako kočky.

Naproti tomu v Církvicích by mohly zavinit orientaci kočky. Při mém pozorování jsem zjistila, že kočky rády číhaly na ptáky až při létání ke krmítku zobat zrní. Vždy ptáci rychle zobli zrní a odletěli. Taktéž příčinou by na této lokalitě mohl být hluk. Hlavně za krásného počasí nad naší zahradou létají totiž vojenské stíhačky (gripeny), jelikož zhruba 10 min. od zahrady se nachází vojenské letiště Čáslav. A však nelze dokázat, zda opravdu tyto faktory ovlivnily orientaci.

13. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vliv magnetického počasí na orientaci ptactva při krmení z lokalit, které se nachází v okrese Kutná Hora ve Středočeském kraji.

Výsledky statistického zpracování dat ze dvou lokalit, které se nazývají Malín a Církvice, potvrdila jednoznačnou preferenci směru sever-východ. Nejen u magnetického počasí, ale i u všech ptáků bez vlivu magnetického počasí, což je v rozporu se zjištěnými výsledky odborných článků. Ty popisují, že preferují sever-jih, když na ně nepůsobí žádné magnetické počasí.

Byly diskutovány různé faktory, které mohou ovlivnit magnetickou orientaci (magnetický alingment). Lze brát jen spekulativně.

Směrová preference byla sledována u 12 druhů ptáků: sýkory koňadry, vrabce polního, hrdličky zahradní, zvonka zeleného, sýkory modřinky, vrabce domácího, kosa černého, holuba hřivnáče, strnada obecného, brhlíka lesního, sojky obecné a červenky obecné.

13. Použitelná literatura a zdroje

ABLE, Kenneth P. a Mary A. ABLE. Development of sunset orientation in a migratory bird:: no calibration by the magnetic field. *Animal Behaviour*. 1997, 53, 363-368.

BARTHEL, Peter H. a Paschalis DOUGALIS. *Ptáci Evropy*. Plzeň: Ševčík, 2011, 191 s. Průvodce přírodou (Ševčík). ISBN 978-80-7291-215-5.

BEASON, Robert C. Mechanisms of Magnetic Orientation in Birds. *Integrative and Comparative Biology*. 2005,45, 565-573.

Begall S., Červený J., Neef J., Vojtěch O., Burda H., 2008: Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proc Natl Acad Sci USA* 105: 13451–13455.

Burda H., Begall S., Červený J., Neef J., Němec P., 2009: Extremely lowfrequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proc Natl Acad Sci USA* 106: 5708–5713.

Cryptochrome and Magnetic Sensing [online]. 2011 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.ks.uiuc.edu/Research/cryptochrome/>

ČERVENÝ, Jaroslav, Hynek BURDA, Miloš JEŽEK, et al. Magnetic alignment in warthogs *Phacochoerus africanus* and wild boars *Sus scrofa*. *Mammal Review*. 2016, , 1-5. DOI: 10.1111/mam.12077. ISBN 10.1111/mam.12077. ISSN ISSN 0305-1838.

HANZAL, Vladimír a kolektiv. *Myslivost I*. I. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze ve spolupráci s Druckvo, spol. s r.o., 2016, 392 s. ISBN 978-80-87668-23-8.

Hart V., Malkemper E.P., Kušta T., Begall S., Nováková P., Hanzal V., Pleskač L., Ježek M., Policht R., Husinec V., Červený J., Burda H. 2013 Directional compass preference for landing in water birds. *Frontiers in Zoology* 10(38), doi: 10.1186/1742-9994-10-38.

Johnsen S., Lohmann, K. J., 2005: The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews. Neuroscience*. 6: 703-712 63.

Kovach Computing Services: Oriana [online]. [S. l.]: [s. n.], c2018 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.kovcomp.co.uk/oriana/oribroc.html>

Magnetic Orientation in Animals. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995. Zoophysiology. ISBN 978-3-642-79751-4.

- MOURITSEN, Henrik. Magnetoreception in Birds and Its Use for Long-Distance Migration. *Sturkie's Avian Physiology*. 2015, (6), 113-133. DOI: 10.1007/978-3-642-10,769-6_20.
- NISHIMURA, Tsutomu a Masanori FUKUSHIMA. Why animals respond to the full moon: Magnetic hypothesis. *Bioscience Hypotheses*. 2009, 2(6), 399-401. DOI: 10.1016/j.bihy.2009.06.006. ISSN 17562392.
- RABOL, Jorgen. Magnetic Orientation in Night-Migrating Passerines. *Wiley*. 1997, 10, 69-75.
- RANDA, Miroslav, Václav HAVEL, Gerhard HÖFER, et al. *Fyzika 6: pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus, 2016. ISBN 978-80-7489-048-2.
- RITZ, Thorsten, David H. DOMMER a John B. PHILLIPS. Shedding Light on Vertebrate Magnetoreception. *Minireview*. 2002, 34, 503-506.
- ŠŤASTNÝ, Karel, Vladimír BEJČEK a Pavel VAŠÁK. *Svět zvířat Ptáci (3)*. 6. Praha: Albatros, 1999, 150 s. Svět zvířat. ISBN 80-000-0756-8.
- ŠŤASTNÝ, Karel, Vladimír BEJČEK a Pavel VAŠÁK. *Svět zvířat Ptáci (2)*. 5. Praha: Albatros, 1998, 147 s. Svět zvířat. ISBN 80-00-00657-x.
- VÁCHA, Martin a Pavel NĚMEC. Kompas a mapa: Orientace v geomagnetickém poli. *Vesmír 86*. 2007, 224-228
- VÁCHA, Martin a Pavel NĚMEC. Mechanizmy magnetorecepce: Jak živočichové vnímají geomagnetické pole. *Vesmír 86*. 2007, 284-289.
- WILTSCHKO, Roswitha, Katrin STAPPUT, Hans-Joachim BISCHOF a Wolfgang WILTSCHKO. Light-dependent magnetoreception in birds:: increasing intensity of monochromatic light changes the nature of the response. *Frontiers in Zoology*. 2007, 4(1), 1-12. DOI: 10.1186/1742-9994-4-5. ISSN 17429994.
- WILTSCHKO, W. a R. WILTSCHKO. The effect of yellow and blue light on magnetic compass orientation in European robins, *Erithacus rubecula*. *Springer-Verlag*. 1999, 184, 295-299.
- WILTSCHKO, W., U. MUNRO, H. FORD a R. WILTSCHKO. Magnetic orientation in birds: non-compass responses under monochromatic light of increased intensity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2003, 270(1529), 2133-2140. DOI: 10.1098/rspb.2003.2476. ISSN 0962-8452.
- WILTSCHKO, Wolfgang a Roswitha WILTSCHKO. Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology A*. 2005, 191(8), 675-693. DOI: 10.1007/s00359-005-0627-7. ISSN 0340-7594.

WILTSCHKO, Wolfgang, Roswitha WILTSCHKO a Thorsten RITZ. The mechanism of the avian magnetic compass. *Procedia Chemistry*. 2011, **3**(1), 276-284. DOI: 10.1016/j.proche.2011.08.035. ISSN 18766196.

Internetové zdroje:

<http://www.cirkvice.cz>

<http://www.pamatky-kutna-hora.cz>

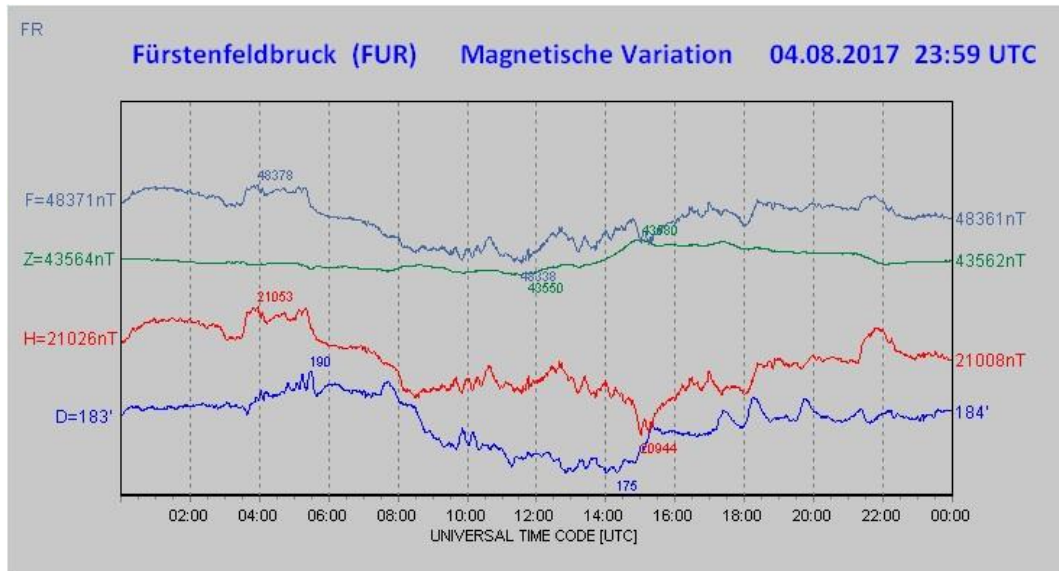
<https://mapy.cz>

www.biolib.cz

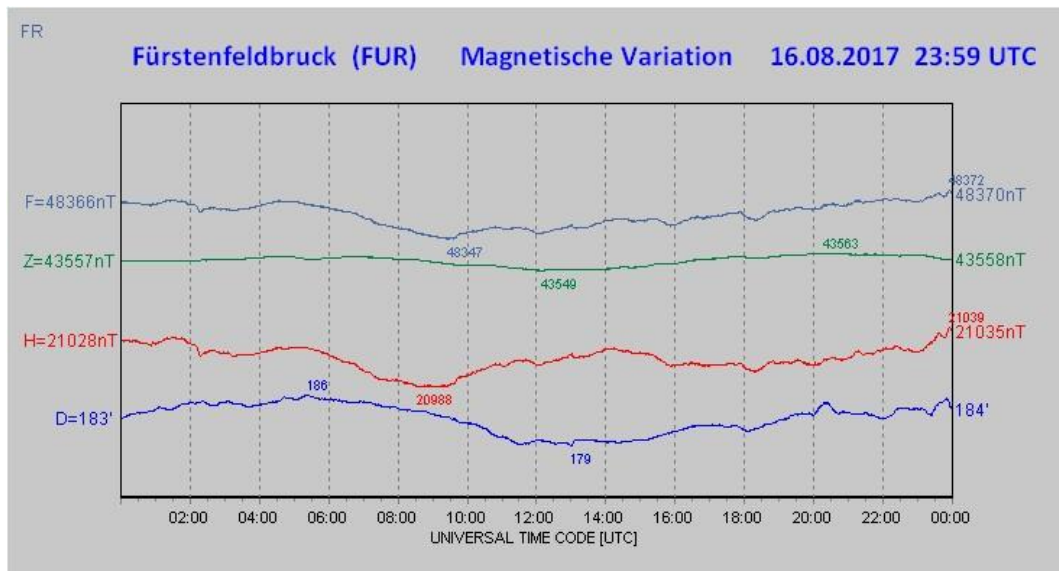
14. Přílohy

Příloha č. 1: Grafy typů magnetického počasí

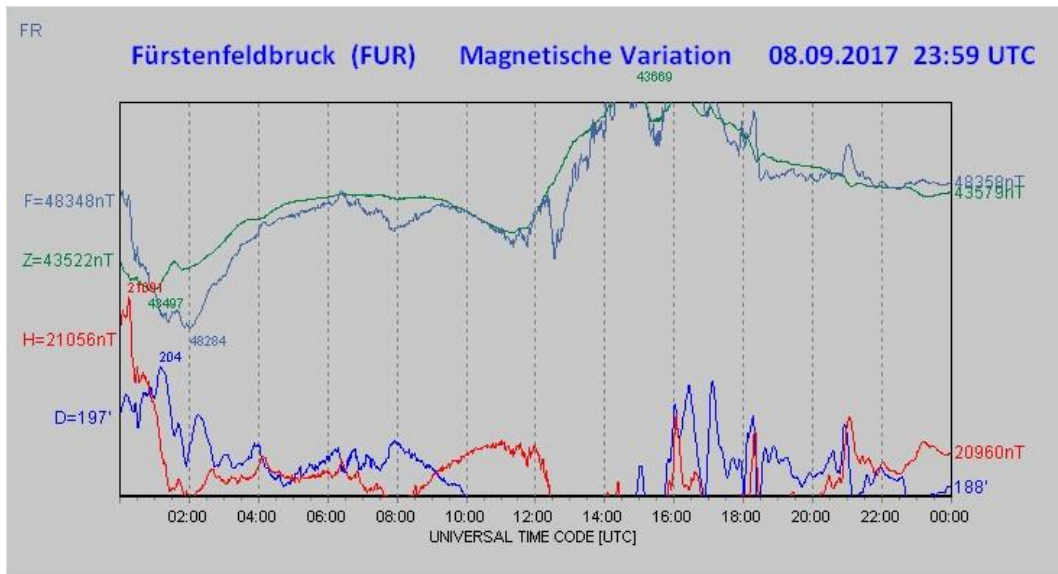
Neklidné magnetické pole



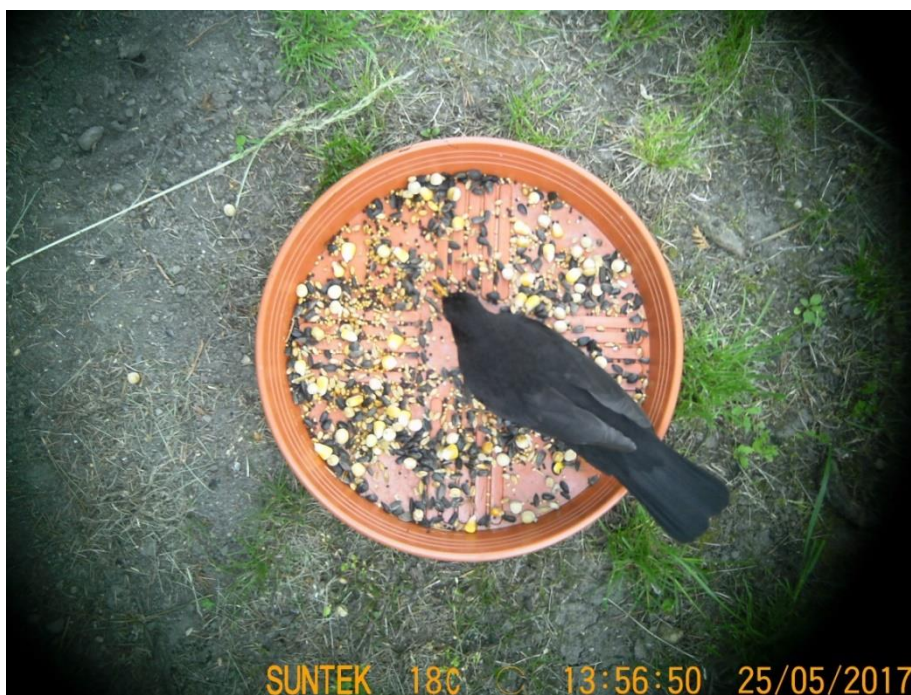
Klidné magnetické pole



Magnetická bouře



Příloha č. 2: **Obrázky vyhodnocování směru těl lokality Malín**



kos černý: 315°, číslo fotografie: PTDC0029



hrdlička zahradní: 320°, číslo fotografie: PTDC1065



sojka obecná: 220°, číslo fotografie: PTDC3302



Brhlík lesní: 170°, číslo fotografie: PTDC9157

Příloha č. 3: **Obrázky vyhodnocování směru těl Církvice**



sýkora modřinka: 335°, číslo fotografie: PTDC0511



zvonek zelený: 320°, číslo fotografie: PTDC1431



hrdlička zahradní: 50°, číslo fotografie: PTDC2380



vrabec domácí: 50°, číslo fotografie: PTDC6858

