

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra myslivosti a lesnické zoologie



**Směrová orientace ptactva
při sběru potravy s lokálně ovlivněným
magnetickým polem v Praze 5 - Motole
a na Berounsku (obec Neřežín)**

Bakalářská práce

Autor: Kristýna Blažková

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

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Blažková

Lesnictví
Provoz a řízení myslivosti

Název práce

Směrová orientace ptactva při sběru potravy s lokálně ovlivněným magnetickým polem v Praze 5 – Motole a na Berounsku (obec Neřežín)

Název anglicky

Directional orientation of birds during food intake with locally influenced magnetic field in the area of Prague 5 – Motol and Beroun (Neřežín municipality)

Cíle práce

Formou rešerše shrnout výsledky publikovaných studií se zaměřením na magnetorecepci ptáků. V experimentální části zjistit, zda lokální změny magnetického pole ovlivňují směrovou orientaci ptactva při příjmu potravy a získaná data statisticky vyhodnotit.

Metodika

Bude vypracována podrobná literární rešerše o magnetorecepci živočichů se zaměřením na ptactvo. Praktická část práce bude věnována experimentu, ve kterém bude sledována směrová orientace semenožravého ptactva na kulatých nekovových krmítkách (min. průměr 30 cm) pomocí fotopastí. Sledování budou nejprve probíhat bez ovlivnění tyčovým magnetem (min. počet získaných dat je 200 z každé lokality), poté budou pod krmítka umístěny tyčové magnety (opět je třeba získat min. 200 dat na každé lokalitě). Z pořizovaných fotografií budou vyhodnocovány směry těl jedinců při sběru potravy ve stupních. Získaná data budou statisticky vyhodnocena v programu Oriana.

Harmonogram zpracování:

Studentka bude průběžně konzultovat postup sběru a zpracování dat s vedoucím práce. Data budou nasbírána a předána vedoucímu práce do 31.12. 2018.

První část rešerše (cca 10 stran) bude zaslána ke kontrole vedoucímu práce do 30.9. 2018. Celá rešeršní část práce bude dokončena do 31.1. 2019. Kompletní rukopis práce bude předložen nejpozději 31.3. 2019.

Doporučený rozsah práce

cca 30-40 stran textu

Klíčová slova

magnetická orientace, magnetické pole, magnet

Doporučené zdroje informací

- Able, K.P. 1994 Magnetic orientation and magnetoreception in birds. *Prog. Neurobiol.* 42, 449-476.
- Hart, V., Malkemper, E.P., Kušta, T. et al. 2013 Directional compass preference for landing in water birds. *FRONT ZOOLOGY* 10(38), doi: 10.1186/1742-9994-10-38.
- Nováková, P., Kořanová, D., Begall, S. et al. 2017 Direction indicator and magnetic compass-aided tracking of the sun by flamingos? *Folia Zool.* 66(2), 79-86.
- Pleskač, L., Hart, V., Nováková, P. et al. 2017 Spatial orientation of foraging corvids consistent with spontaneous magnetic alignment responses observed in a variety of free-roaming vertebrates. *Folia Zool.* 66(2), 87-94.
- Wiltshcko, W., Wiltshcko, R., Ritz, T. 2011 The mechanism of the avian magnetic compass. *Procedia Chem.* 3, 276-284.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Petra Nováková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Elektronicky schváleno dne 22. 10. 2018

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 14. 06. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Směrová orientace ptactva při sběru potravy s lokálně ovlivněným magnetickým polem v Praze 5 - Motole a na Berounsku (obec Neřežín) 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 Praze dne 15. 6. 2020

Kristýna Blažková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce, Ing. Petře Novákové, Ph.D., za velkou pomoc při zpracování výsledků, za ochotu a empatii při konzultacích a za cenné rady i inspiraci při výběru tématu této práce.

Abstrakt

Alignment, tedy aktivní natočení těl zvířat podle distribuce některého z vnějších faktorů může být známka adaptace na určitou situaci, kdy je pro jedince výhodou využívat jeden model směrového chování. K orientaci tělesné osy do určitého směru podle vektoru některé fyzikální veličiny může docházet i proto, aby se zvíře vyvarovalo zahlcení nervového systému přílišnou stimulací ze smyslového ústrojí, které vjem dané veličiny zprostředkovává. Alignment podle magnetických indukčních čar již byl pozorován u několika druhů obratlovců i bezobratlých. Cílem této práce bylo dokázat magnetický alignment u semenožravých ptáků při sběru a příjmu potravy.

Ptáci z řádů pěvců (*Passeriformes*), šplhavců (*Piciformes*) a měkkozobých (*Columbiformes*) byli sledováni na dvou lokalitách v České republice, a to ve vilové čtvrti v Praze 5 - v Motole (2204 záznamů) a v obci přímo sousedící s Vojenskými lesy v Brdech - v Neřežíně (6812 záznamů). K monitoraci byly použity fotopasti umístěné nad plastová kruhová krmítka, na něž byla dodávána potrava ve formě slunečnicových semínek, dýňových semínek a ovesných vloček. V druhé fázi monitorovacího období byl pod každé krmítko umístěn tyčový magnet, který lokálně vyrušil magnetické pole Země.

Z pořízených snímků se zaznamenaly informace o odchylce osy těla od severojižní osy, hlava směřující k severu byla hodnocena jako 0° , jiné natočení osy těla bylo měřeno jako úhel, který osa svírala od severu, a to po směru hodinových ručiček. Data byla následně zpracována v programu cirkulární statistiky Oriana.

Výsledky statistických výpočtů ukázaly, že se ptáci v první fázi měření na obou hodnocených lokalitách při sběru potravy signifikantně orientovali podél osy sever-jih. Po umístění magnetu a ovlivnění lokálního magnetického pole nebylo prokázáno žádné výrazné směrové zarovnání osy ptačích těl.

Z uvedeného vyplývá, že semenožraví ptáci při sběru potravy vykazují magnetický alignment. Reakce na magnetické pole jednoznačně potvrzuje schopnost ptáků magnetismus vnímat a signifikanci tohoto vjemu pro jejich chování. Otázkou pro další výzkum zůstává, jakým způsobem se získávají informace o magnetickém

poli z okolí a jakou hierarchii mají ptáci pro hodnocení vnějších faktorů a jejich využívání.

Klíčová slova: magnetický alignment, ptáci, magnetismus, magnetocepce

Abstract

External cues and the distribution of their values in environment can cause animals' bodies to align in a particular way. This might be a sign of adaptation to specific conditions, where a typical pattern of directional behavior could turn to advantage. Alignment of the body axis by an external cue's vector can also serve to avoid overwhelming of the nervous system by stimulation of a sensory organ responsible for perception of the given cue. Alignment along the magnetic field lines was described in many species of vertebrates and invertebrates. Our goal was to show magnetic alignment in seed-eating birds during foraging and food intake.

We monitored birds of orders *Passeriformes*, *Piciformes* and *Columbiformes* at two localities, namely in a garden suburb in Prague 5 - in Motol (2204 recordings) and in a village in Central Bohemia near vast forests - in Neřežín (6812 recordings). We used trail cameras placed above round plastic feeders, where sunflower seeds, pumpkin seeds and oatflakes were supplied when necessary. In the middle of the photo-collecting period a bar magnet was put under each feeder to disturb local geomagnetic field.

Information about direction of the body axis were extracted from these images and recorded in a table. Body position along the north-south axis with head towards north was evaluated as 0° , other positions were evaluated as an angle between the north and body axis, measured clockwise. Data were then processed in a circular statistics program Oriana.

Statistic computing results showed that birds aligned significantly at both localities in the first experimental part along the north-south axis during food intake. After placing the magnet and disturbing the local geomagnetic field no directional alignment was proven.

In conclusion, seed-eating birds show magnetic alignment during food intake. This reaction to magnetic field shows the ability in birds to sense magnetic field and the significance of this sensory input for their behavior. Questions for next scientific research remain, in what ways are magnetic information in birds collected and what is the hierarchy of evaluating external cues in birds.

Key words: magnetic alignment, birds, magnetism, magnetoreception

Obsah

Prohlášení	4
Poděkování.....	5
Abstrakt	6
Abstract.....	8
Obsah.....	9
Seznam grafů a obrázků	10
Úvod	12
Cíle práce	13
Literární rešerše.....	14
1 Magnetismus	14
1.1 Fyzikální základy.....	14
1.2 Magnetické pole Země.....	14
1.3 Možnosti experimentálního ovlivnění magnetického pole	16
2 Vliv magnetismu na živé organismy	16
2.1 Orientace v magnetickém poli.....	17
2.2 Magnetický alignment	21
2.3 Další účinky magnetického pole	21
3 Magnetorecepce.....	22
3.1 Magnetorecepce na základě indukce	22
3.2 Magnetorecepce na základě radikálových dvojic.....	23
3.3 Magnetorecepce na základě ferromagnetických částic.....	25
4 Vliv magnetismu na ptáky	25
Metodika.....	28
1 Lokalita	28
1.1 Motol.....	28
1.2 Neřežín.....	28
2 Pozorované druhy	29
2.1 Pěvci.....	29
2.2 Šplhavci.....	38
2.3 Měkkozobí.....	38
3 Příprava experimentu	39
4 Měření dat	40
5 Statistické zpracování dat.....	41
Výsledky.....	42
Diskuze	49
Závěr.....	51
Seznam použité literatury	52

Seznam grafů a obrázků

Obrázky

Obrázek 1:	Magnetické pole Země	14
Obrázek 2:	Vektor magnetického pole Země a jeho složky	15
Obrázek 3:	Princip inklinálního kompasu při ovlivnění v experimentech	18
Obrázek 4:	Magnetický kompas, paralela polarizačního kompasu u zvířat	19
Obrázek 5:	Distribuce intenzity magnetického pole Země	19
Obrázek 6:	Využívání inklinace magnetického vektoru při myškování u lišek	20
Obrázek 7:	Anatomické lokalizace podezříváné ze zpracování informací o magnetickém poli	22
Obrázek 8:	Kryptochromy jako molekuly zprostředkující magnetocepci na základě radikálových dvojic	23
Obrázek 9:	Odpovědi magnetocepcce u červenky za různých vlnových délek monochromatického světla	26
Obrázek 10:	<i>Carduelis carduelis</i>	29
Obrázek 11:	<i>Carduelis chloris</i>	29
Obrázek 12:	<i>Carduelis spinus</i>	30
Obrázek 13:	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	30
Obrázek 14:	<i>Erithacus rubecula</i>	31
Obrázek 15:	<i>Fringilla coelebs</i>	31
Obrázek 16:	<i>Parus caeruleus</i>	32
Obrázek 17:	<i>Parus major</i>	32
Obrázek 18:	<i>Parus palustris</i>	33
Obrázek 19:	<i>Periparus ater</i>	33
Obrázek 20:	<i>Passer domesticus</i>	34
Obrázek 21:	<i>Passer montanus</i>	34
Obrázek 22:	<i>Phoenicurus ochruros</i>	35
Obrázek 23:	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	35
Obrázek 24:	<i>Sitta europea</i>	36
Obrázek 25:	<i>Turdus merula</i>	36
Obrázek 26:	<i>Garrulus glandarius</i>	37
Obrázek 27:	<i>Pica pica</i>	37
Obrázek 28:	<i>Dendrocopos major</i>	38
Obrázek 29:	<i>Streptopelia decaocto</i>	38
Obrázek 30:	Krmítko s fotopastí v Motole	39
Obrázek 31:	Krmítko s fotopastí v Neřežíně	39
Obrázek 32:	Tyčový magnet připevněný na bedýnku pod misku se semínky	40
Obrázek 33:	Fotopast nasměrovaná tak, aby na snímcích odpovídala horní strana fotky severu	40
Obrázek 34:	Měření odchylky osy těla ptáků od severu	40

Grafy

Graf 1:	Statistika naměřených hodnot z obou lokalit bez ovlivnění magnetického pole	43
Graf 2:	Statistika naměřených hodnot z obou lokalit po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem	44
Graf 3:	Statistika naměřených hodnot z lokality Motol bez ovlivnění magnetického pole	45
Graf 4:	Statistika naměřených hodnot z lokality Motol po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem	46
Graf 5:	Statistika naměřených hodnot z lokality Neřežín bez ovlivnění magnetického pole	47
Graf 6:	Statistika naměřených hodnot z lokality Neřežín po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem	48

Tabulky

Tabulka 1:	Statistická data měření na obou lokalitách bez ovlivnění magnetického pole	43
Tabulka 2:	Statistická data měření na obou lokalitách po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem	44
Tabulka 3:	Statistická data měření z lokality Motol bez ovlivnění magnetického pole	45
Tabulka 4:	Statistická data měření z lokality Motol po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem	46
Tabulka 5:	Statistická data měření z lokality Neřežín bez ovlivnění magnetického pole	47
Tabulka 6:	Statistická data měření z lokality Neřežín po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem.	48

Úvod

Magnetické pole Země je relativně stabilní, všudypřítomná fyzikální veličina, která je pro distribuci svých vlastností v prostoru vhodná pro určování lokality a směru pohybu. Lidé sice nejsou vybaveni smyslovým orgánem schopným vnímat magnetismus podobně jako světlo nebo zvuk, ale pomocí techniky jsme dokázali využít magnetismus v celé řadě vědních oborů.

Na podkladě znalostí magnetického pole se mohl začít vyvíjet výzkum vnímání magnetismu u zvířat. V posledních několika desítkách let bylo zjištěno, že různé skupiny organismů jsou schopny informace z magnetického pole přijímat a dokonce podle nich uzpůsobit své chování. Nejčastěji bylo zkoumáno poziční chování, výzkum se ale také zaměřil na odhalení mechanismu percepce a zpracování magnetické informace (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995).

Jedním z projevů pozičního chování u organismů je alignment. Jedná se o fenomén, kdy jsou osy daných živočichů či orgánů natočeny za přítomnosti specifického vnějšího faktoru podle jeho distribuce. K tomuto alignmentu může docházet buď záměrně, pokud z toho plyne pro zvířata nějaká výhoda, nebo spontánně a to zřejmě proto, aby se vynuloval příjem informací o daném faktoru z prostředí. V případě, že se u nějakého druhu prokáže magnetický alignment, dokazuje to zároveň schopnost vnímat magnetické pole (VÁCHA, 2010).

Tato práce se zabývá popisem vnímání magnetického pole u zvířat a magnetickým alignmentem u ptáků. Téma vnímání magnetického pole u ptáků je často zpracovávané vzhledem k tomu, že ptáci vykazují jednu z největších migračních schopností, a jsou pro ně relativně snadno zprostředkovatelné experimentální podmínky (na rozdíl třeba od mořských savců). Také magnetický alignment u ptáků byl již tématem několika vědeckých prací. V této bakalářské práci bude zpracován experiment, který má za cíl zjistit magnetický alignment u ptáků při sběru potravy, tedy při činnosti, kde by poziční chování nemělo přinést žádné jasné výhody.

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zpracovat téma magnetického alignmentu. Práce obsahuje dvě části: v první - teoretické části je zpracována rešerše současné literatury zabývající se souvislostmi magnetismu a živých organismů a v druhé části je popsán vlastní experiment, ve kterém se sleduje magnetický alignment u semenožravých ptáků při sběru potravy.

Literární rešerše shrnuje základní poznatky o magnetickém poli Země a možnostech jeho experimentálního ovlivnění. Popisuje vliv magnetismu na živé organismy, zejména co se týká orientace v prostoru a magnetického alignmentu. Uvádí přehled nejpopulárnějších teorií o mechanismu vnímání magnetického pole. Dále se zabývá současnými vědomostmi o působení magnetického pole na zástupce ptačí říše.

V praktické části jsou popsány podmínky experimentu, jež si klade za cíl ověřit hypotézu magnetického alignmentu u ptáků tak, že porovnává uspořádání jejich těl v geomagnetickém poli a v podmínkách s lokálně ovlivněným magnetickým polem pomocí tyčového magnetu. Nejprve jsou popsány studované lokality a druhy pozorovaných semenožravých ptáků, poté metody vyhodnocování dat a statistická analýza. Na závěr jsou uvedeny výsledky a jejich diskuze.

Literární rešerše

1 Magnetismus

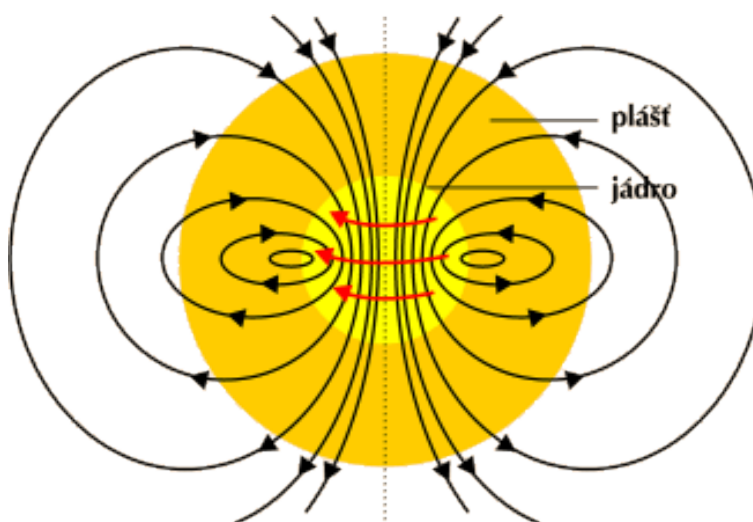
1.1 Fyzikální základy

Magnetismus je fyzikální jev související s pohybem elektricky nabitých částic. Když se tato částice pohybuje, vytváří ve svém okolí pole, ve kterém působí magnetická síla na ostatní tělesa. K vzniku magnetického pole může docházet, pokud se pohybuje předmět s elektrickým nábojem v prostoru, při průchodu elektrického proudu vodičem, nebo při pohybu elektronu v obalu atomu. (SUCKLING, 2019)

Podle veličiny charakterizující látku z hlediska chování ve vnějším magnetickém poli - magnetické susceptibility můžeme materiály dělit na diamagnetické látky a paramagnetické látky. Diamagnetické látky se vyznačují nepřítomností magnetického momentu, po vložení látky do vnějšího magnetického pole dojde k vytvoření magnetických dipólů orientovaných proti vnějšímu poli, čímž se toto pole mírně oslabuje. Naproti tomu v paramagnetických látkách existuje magnetický moment některých částic i před vložení látky do vnějšího magnetického pole a v jeho přítomnosti pak dochází k vzniku celkového magnetického momentu orientovaného podle tohoto vnějšího pole (SEDLÁK, 2002, str. 239-245).

1.2 Magnetické pole Země

Magnetické pole planety Země, nebo také geomagnetické pole, je známo již mnoho let. Podle všeobecně přijímané teorie geodynamo (MCPHERRON, 2019) se podstatou tohoto jevu zdá být pohyb tekuté části zemského jádra. Zemské jádro



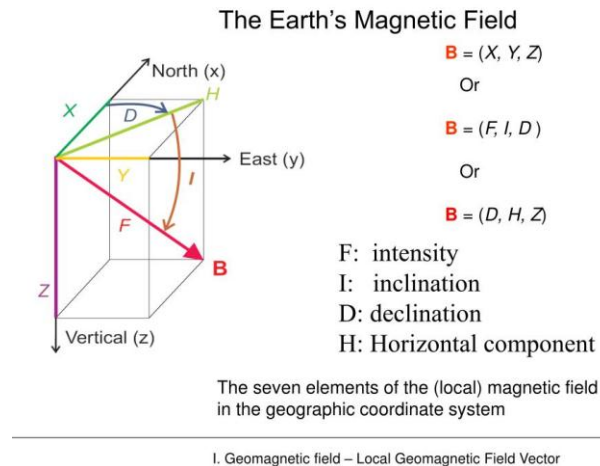
Obr. 1: Magnetické pole Země. Zdroj: energyweb.cz

je tvořeno vnitřní tuhou vrstvou a vnější tekutou vrstvou železa. Pohyb tekuté části vytváří elektromagnetickou indukci zhruba 99% geomagnetického pole. K dalším jeho částem přispívá magnetické pole hornin v litosféře a pohyb masy nabitých částic v ionosféře (DUMBERRY, 2007).

Fyzikální model zemského magnetického pole zjednodušuje realitu na magnetický dipól, který si můžeme představit jako magnetické pole tyčového magnetu umístěného do středu Země a vychylujícího se od osy otáčení Země o několik stupňů (HALENKA, 1984). Velikost tohoto pole určujeme podle vektoru magnetického pole F a sílu magnetického pole měříme v jednotkách Tesla. Průměrná hodnota na povrchu Země je

přibližně 50 μT . Vektor magnetického pole je dán jeho horizontální složkou H , jejíž směr koresponduje se směrem střílky kompasu v daném bodě, a z deklinace, což je úhel horizontální složky od geografického severu, vertikální komponenta je většinou zastoupena inklinací I , to je úhel horizontální složky H od celkového vektoru F (GLASSMEIER, 2009).

K časovým anomáliím Zemského magnetického pole se řadí změny krátkodobé, trvající vteřiny až dny, které jsou zapříčiněny solární magnetickou aktivitou, změnami v ionosféře a pohybem vody v oceánech. Druhý typ změn se nazývá změny sekulární, ty trvají roky až milióny let a mají původ ve výchylnkách aktivity geodynamika. K těmto změnám se řadí pomalé změny velikosti a směru vektoru F i inverze geomagnetického pole, při nichž dochází k výměně severního a jižního pólu (GLASSMEIER, 2009). Dalšími anomáliemi jsou regionální výkyvy intenzity geomagnetického pole na podkladě různé distribuce zmagnetizovaných hornin. Nelze



Obr. 2: Vektor magnetického pole Země a jeho složky.
Převzato od Malservisi, 2012.

opomenout ani magnetický smog tvořený lidskou činností (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 1-7).

1.3 Možnosti experimentálního ovlivnění magnetického pole

Experimenty testující vliv magnetických jevů na organismy a jejich umístění nebo pohyb v prostoru mají několik zásadních omezení. Z hlediska návrhu pokusu je potřeba nejprve najít u studovaného organismu poziční nebo orientované chování, které pak můžeme zkoumat. Některá zvířata jsou tak velkých rozměrů, nebo je jejich specifická prostorová aktivita v tak velkém měřítku, že se jen nesnadno nachází způsob, kterým by se dala magneticky ovlivnit. U všech pokusů je zapotřebí vzít při vyhodnocování dat v úvahu, že zvířata pro své chování mohou mít velice různou motivaci a v jednotlivých případech se může vnímání magnetického pole uplatňovat různou měrou.

K experimentům se často používá interference s geomagnetickým polem v prostředí laboratoře. Nejjednodušší možností je využití tyčového magnetu. Tato metoda má ovšem velikou nevýhodu v tom, že se vzdáleností od magnetu intenzita jeho pole rychle klesá. Tyčový magnet se může také připevnit na tělo zvířete, a tak zabezpečit ovlivnění magnetického pole bez limitace prostorem. Jednou z dalších metod je i využití různých souborů cívek, které mohou změnit magnetické pole v relativně velkém prostoru a v hodnotách odpovídajících reálným podmínkám (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 5-24).

2 Vliv magnetismu na živé organismy

Na poli moderní vědy poprvé navrhnul myšlenku schopnosti zvířat vnímat a využívat informace z magnetického pole v polovině 19. století von Middendorff (VÁCHA, 2007). Tato teorie byla ale vzápětí opuštěna po neúspěšných pokusech prokázat magnetickou orientaci u tažných ptáků a návrat k studiu biomagnetismu přišel až v šedesátých letech minulého století.

Z hlediska behaviorální biologie je nutné rozlišovat u zvířat různé odpovědi na magnetické pole. Organismus může vykazovat aktivní nebo pasivní reakce které se liší tím, jestli je pro jejich průběh nutná energie vynaložená daným organismem, tedy jestli je sledovaná odpověď umožněna pouze energií fyzikálních jevů souvisejících s magnetismem nebo se na ní aktivně podílí sám organismus.

K aktivním odpovědím patří například orientace, pro niž je potřeba zpracování magnetické informace, která musí být vyhodnocena v rámci celkové situace daného jedince v prostředí. Naproti tomu k pasivnímu uspořádání magnetotaktických bakterií dochází pouze tak, že se buňka vychýlí do směru magnetických indukčních čar magnetickou silou, kterou geomagnetické pole působí na částičky magnetitu obsažených v cytoplazmě (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 15 - 16).

Byla by chyba opomenout vliv magnetismu na rostliny. S rozvojem výzkumu smyslové biologie zaměřené na vliv geomagnetismu na živočichy se objevily i výzkumy týkající se rostlin, které ukazují, že velikost magnetického pole má vliv na fenotyp a mohla hrát významnou roli v rostlinné evoluci (VANDERSTRAETEN, 2018).

2.1 Orientace v magnetickém poli

Aby mohl být pohyb, na který živočich vynakládá energii výhodný, musí jej směřovat v závislosti na lokalizaci různých podnětů v okolí - musí se umět orientovat. Existuje několik principů, jak toho dosáhnout. Organismus se může orientovat *přímo* pomocí vlastností hledaného objektu, které umí aktuálně rozlišit ve svém okolí, nebo *nepřímo*, jestliže cíl, jehož je potřeba dosáhnout, leží na vzdálenějším místě a jeho senzorické vlastnosti nelze využít. V tomto případě musí jedinec zjistit správný směr svého cíle a pomocí vnější reference určit daný směr v aktuální situaci (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 20 -21).

Navigaci v prostoru můžeme rozdělit na dva dílčí aspekty. Za prvé je při pohybu nutné vědět, jakým směrem se jedinec pohybuje vůči konstantnímu bodu. K tomu je nutné v každém místě určit směr k tomuto bodu. Jako tento konstantní bod je možné si představit sever a zařízení nebo schopnost, kterým ho určíme, bude kompas. Jedná se tedy o kompasovou orientaci. Za druhé se při lokomoci většinou dosahuje cíle, protože je nutné nejprve determinovat směr cílového bodu od současné lokalizace daného jedince. Této schopnosti se říká mapový smysl (BEASON, 2005).

2.1.1 Kompasová orientace

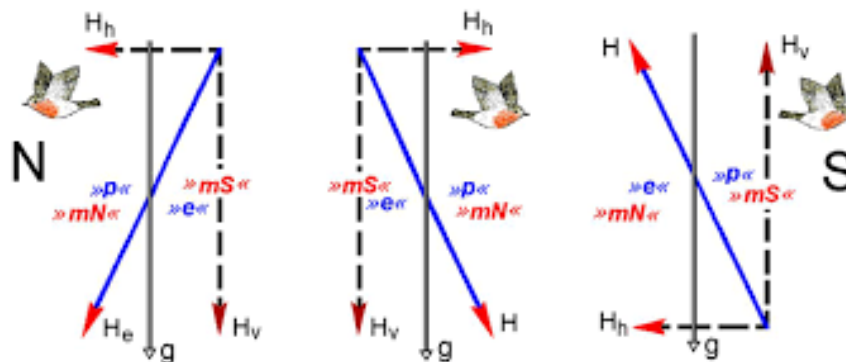
Zvířata mají v přirozeném prostředí na výběr z různých zdrojů informací, které jim mohou sloužit jako vodítka pro určení směru. Již od 19. století je známo, že tažní ptáci využívají slunečný a hvězdný kompas. Tyto navigační nástroje jsou ale závislé na počasí, a za vysoké oblačnosti se nedají použít. V takovém případě se zvířata

spoléhají na relativně stabilní magnetické pole Země a využívají údaje získané pomocí magnetorecepce (WILTSCHKO et WILTSCHKO, str. 97).

Magnetický kompas byl prokázán u několika desítek druhů bezobratlých a obratlovců. Jsou rozlišovány dva typy kompasu (NĚMEC, 2007), a to inklinální kompas a polarizační kompas. Jsou i zvířata, která využívají oba mechanismy v závislosti na činnosti, ke které orientaci potřebují, jako třeba čolek (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 91).

2.1.1.1 Inklinální kompas

Inklinální kompas umožňuje zvířeti rozlišovat směr k pólu a od pólu, tedy k rovníku. K tomu se využívá inklinace, jejíž velikost, tudíž velikost odchylky vektoru magnetického pole od horizontální roviny rozlišuje tyto dva směry. Při testování inklinálního kompasu se v experimentech obrátí nejprve horizontální složka vektoru magnetického pole, poté vertikální složka (viz obr. 3). Na pokusná zvířata to má stejný efekt, a to obrácení směru jejich pohybu. Pokud se změní obě složky vektoru najednou, nedojde v chování pokusných subjektů k deviaci pohybu.



Obr. 3: Princip inklinálního kompasu při ovlivnění v experimentech.
Převzato z Wiltschko et Wiltschko, 1995.

V magnetickém poli bez vertikální složky (pouze horizontální složka jako na rovníku) jsou zvířata vybavena pouze inklinálním kompasem většinou dezorientovaná.

Tento typ orientace má zásadní evoluční výhodu při repolarizacích geomagnetického pole, které zachovává odchylku inklinace, takže se pro zvířata využívající inklinální kompas při migraci směr nemění (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 46-54).

2.1.1.2 Polarizační kompas

Polarizační kompas funguje obdobně jako technický kompas, ukazuje tedy přímo polaritu magnetického vektoru, konkrétně jeho vertikální složku (VÁCHA, 2007). Zvířata jsou tedy schopna přesně určit směr na sever. Byl pozorován u mnoha druhů a u některých zvířat nelze vyloučit přítomnost obou typů kompasu. Při pokusech například u langusty karibské (*Panulirus argus*) bylo ukázáno, že se dokáže orientovat podle geomagnetického pole, a to i když se obrátí jeho vertikální složka. Pokud obrátíme horizontální část magnetického vektoru, langusty míří také opačným směrem (LOHMANN, 1995).

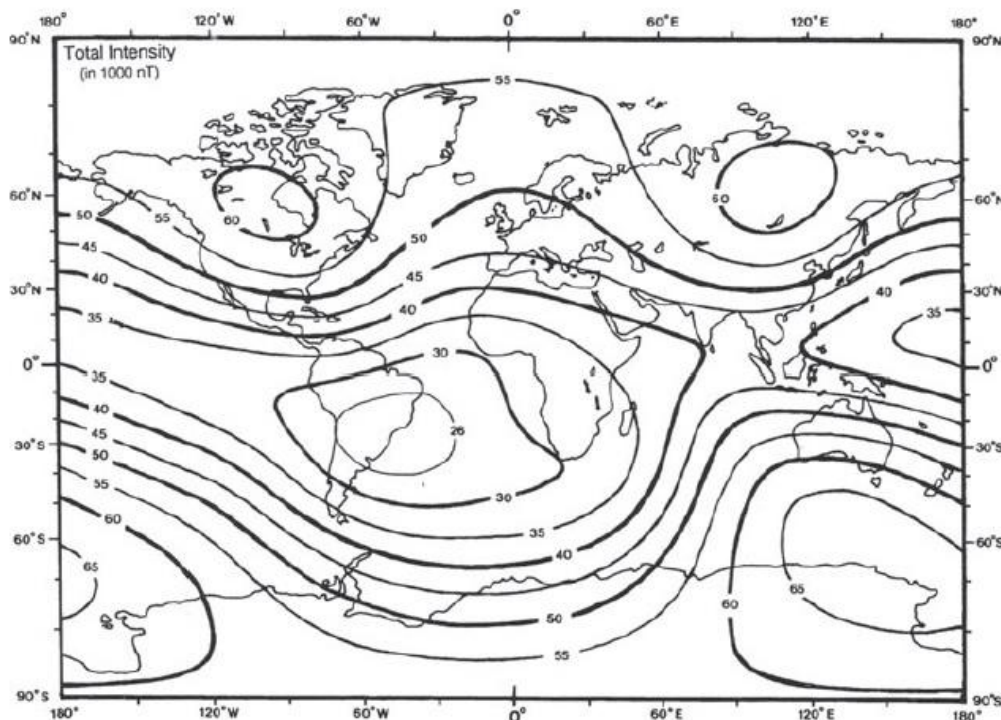


Obr. 4: Magnetický kompas, paralela polarizačního kompasu u zvířat.

Zdroj: indiamart.com

2.1.2 Mapový smysl

ABLE (1994) ukazuje, že kromě topografických map, které si zvířata mohou složit jako mozaiku z již známých krajinných prvků, se dají využívat i gradientní mapy založené na relativně stabilním vývoji nějaké vlastnosti prostředí



Obr. 5: Distribuce intenzity magnetického pole Země. Zdroj: Skiles, 1985.

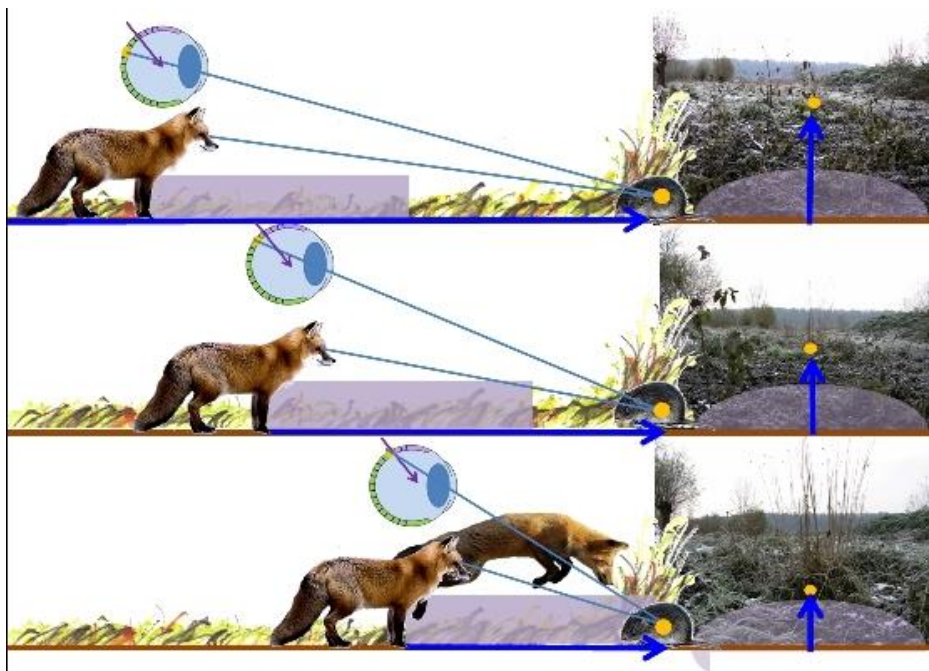
v závislosti na zeměpisné výšce nebo délce. Magnetické pole Země poskytuje několik takových proměnných. Intenzita i inklinace mají tendenci od rovníku k pólu růst stabilní rychlostí (viz obr. 5).

Předpokládá se, že abstraktní magnetickou mapu by mohla zvířata vytvořit pomocí distribuce intenzity magnetického pole. Intenzita geomagnetického pole není velká, pohybuje se kolem $50 \mu\text{T}$ a mění se s gradientem 6-12 nT/km v ose sever - jih. Jedinec by pak poznal, že je od svého cíle severním nebo jižním směrem, pokud by porovnal intenzitu magnetického pole v aktuálním místě se známou intenzitou na místě cíle (WILTSCJKO, 2005).

To má ale háček. Toto rozložení není stabilní, neustále se mění a obsahuje různé anomálie, jak bylo popsáno výše. Přesto byla mapová orientace popsána u několika druhů obratlovců i bezobratlých (BEASON, 2005).

2.1.3 Nekompasová orientace

Kromě využívání lineární distribuce parametrů magnetického vektoru jako mapy bylo ukázáno, že některé druhy zvířat umějí zakomponovat lokální abnormality magnetického pole do své topografické mapy a řídit podle nich nejen pohyb, ale i chování. Příkladem mohou být třeba kytovci, kteří se v oceánech zřejmě



Obr. 6: Využívání inklinace magnetického vektoru při myškování u lišek.
Převzato od Červeného, 2011.

orientují i podle magnetických údolí a pohoří (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 184 – 186; WILTSCHKO, 2005).

Kromě toho se dá použít vektor magnetického pole, konkrétně jeho inklinace i k měření vzdálenosti, jak tomu bylo ukázáno u lišek (*Vulpes vulpes*) a u kachen divokých (*Anas platyrhynchos*). Podle ČERVENÉHO (2011) při myškování, tedy při lovu kořisti ve vysokém podrostu nebo ve sněhu, lišky porovnávají směr zvuku kořisti s inklinací, aby pak mohli závěrečný skok provést stereotypně a s vysokou efektivitou (viz obr. 6). HART (2013) ukázal, že kachny při přistávání na vodní hladinu využívají inklinaci magnetického pole, aby mohly vést trajektorii letu pod standardním úhlem a optimalizovaly tak cílový pohyb.

2.2 Magnetický alignment

U několika druhů zvířat byl pozorován fenomén spontánního prostorového uspořádání při různých aktivitách od odpočinku po přistávání na vodní hladinu, nebo preferenci jednoho magnetického směru při stavění staveb (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 28 – 32). Přestože význam magnetického alignmentu není jasný, existuje několik teorií, proč by se zvířata měla při jiných než migračních činnostech zarovnávat podle senzorických informací. Někteří vědci předpokládají, že smysl uspořádání těla živočichů podél magnetických indukčních čar se nachází ve snížení stimulace receptorů pro magnetorecepci a tím zlepšení klidového stavu organismu (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 39). Bimodální nebo kvadrimodální alignment zase může mít tu výhodu, že při vyrušení predátorem bude snazší uprchnout, pokud se kořist vydá předem určenými směry (VÁCHA, 2010).

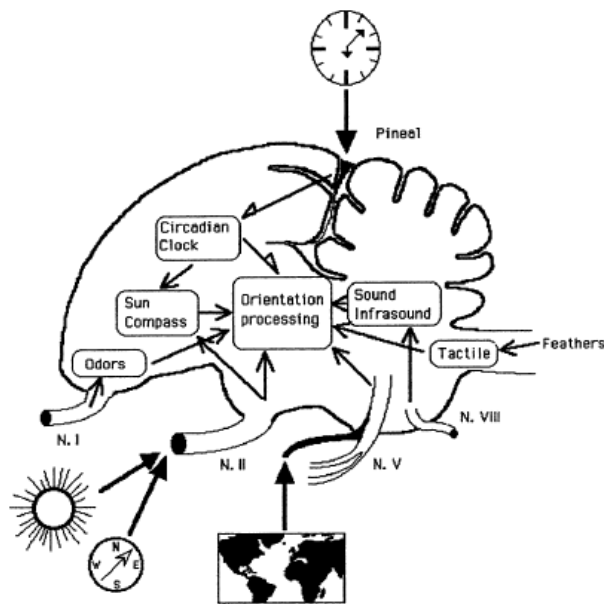
2.3 Další účinky magnetického pole

Kromě čistě prostorové orientace může magnetické pole, konkrétně jeho změny v průběhu dne působit na cirkadiánní rytmicitu u některých živočichů. Tomu naznačují pokusy s posunováním slunečního a magnetického dne například u včel (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 193).

K jiným biologickým vlivům patří i vliv magnetických anomálií na ontogenezi u ryb. Vystavení vyššímu magnetickému poli při experimentech indukovalo předčasné líhnutí a vrozené vady u rybích zárodků. (KRYLOV, 2014)

3 Magnetorecepce

Jedním ze základních problémů výzkumu týkajícího se magnetorecepce byl od počátku fakt, že člověk není vybaven žádným smyslovým ústrojím, které by převádělo informace o magnetismu v okolí do vědomé oblasti vnímání. Proto je těžké představit si, jakým způsobem se tyto



Obr. 7: Anatomické lokalizace podezříváné ze zpracování informací o orientaci. Převzato z Beason, 2005.

informace mohou zpracovávat nebo v jaké oblasti těla se mohou nacházet receptory, na kterých by docházelo k tvorbě patřičného nervového signálu. Situaci neulehčuje ani homogenita magnetického pole v okolí i uvnitř živočicha, která nedovoluje vytipovat pravděpodobné sídlo magnetoreceptorů (NĚMEC, 2007). Není také vyloučeno, že u některých druhů došlo k vývoji nejednoho mechanismu magnetorecepce a že údaje o magnetickém poli jsou zvířata schopna vnímat různými způsoby a využívat tak odlišné vlastnosti magnetického vektoru (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995). Z neurofyzilogicky topografického hlediska se ze zpracování informací o magnetickém poli podezřívají různé části centrální nervové soustavy. Jmenovitě to jsou epifýza, tectum opticum či colliculus superior a nervus trigeminus (RITZ, 2002). Pokusy s lokální anestézií nervus ophthalmicus například u rypošů lysých (*Heterocephalus glaber*) dokazují jeho zásadní význam pro magnetickou orientaci (WEGNER, 2006).

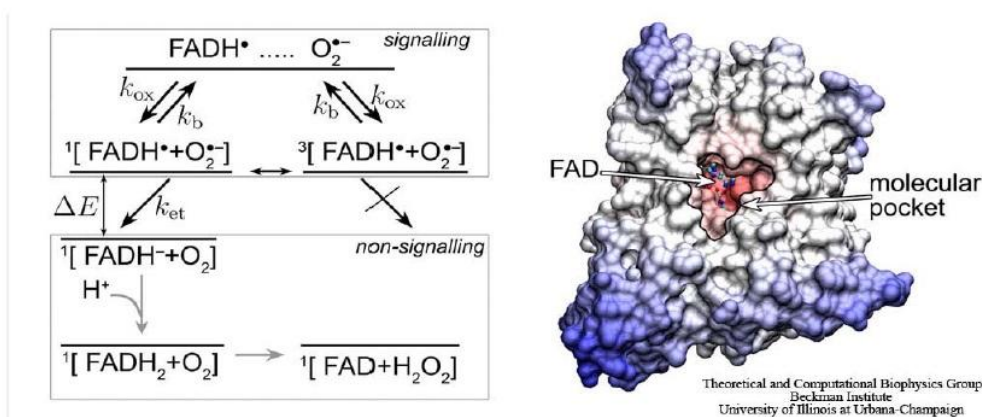
3.1 Magnetorecepce na základě indukce

U živočichů žijících v moři, zejména u paryb, byla objevena schopnost vnímat magnetické pole pomocí změn vzniklých v souvislosti s elektromagnetickou indukcí. Lorenziniho ampule jsou orgány obsahující elektrická čidla, která fungují jako voltmetr a pomocí svého umístění zaznamenávají změnu elektrického napětí při

pohybech v magnetickém poli. K jejich funkci je tedy potřeba, aby byl živočich v mořské vodě nebo v jiném elektrolytu a aby se pohyboval. Pak mohou zachycovat gradient elektrického napětí, který se mění v závislosti na rychlosti a úhlu mezi směrem pohybu a magnetickým vektorem (NĚMEC, 2007). Jejich využívání potvrzují i pokusy prokazující aktivitu v nervových vláknech spojující Lorenziniho ampule s centrálním nervovým systémem při změnách magnetického pole u rejnoků (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 218 -220).

3.2 Magnetorecepce na základě radikálových dvojic

Po přijetí energie ve formě fotonu se mohou některé molekuly dostat do excitovaného stavu se vznikem dvojice radikálů – singletu bez magnetického momentu a tripletu s magnetickým momentem. Poměr singletů a tripletů (viz obr. 8) pak závisí na síle a směru vnějšího magnetického pole, pokud je dostatečně intenzivní. Magnetická informace může být zjištěna pomocí sledování návratu

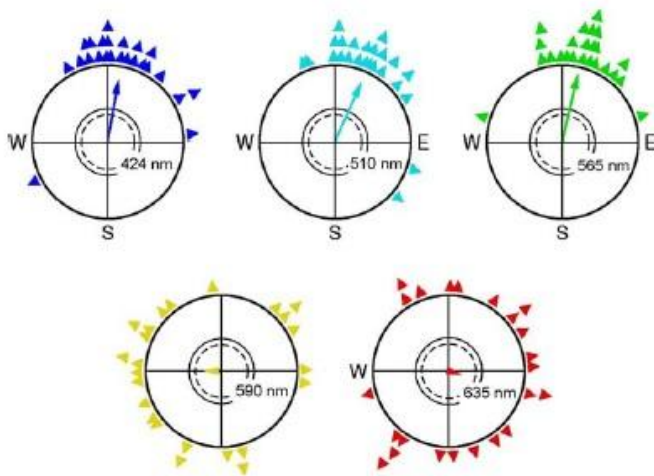


Obr. 8: Kryptochromy jako molekuly zprostředkující magnetocepci na základě radikálových dvojic. Zdroj: Theoretical and Computational Biophysics group, Beckman Institute.

tripletových molekul na původní energetickou hladinu, což se projeví emisí fotonu, jehož percepce je už známý děj (WILTSCHKO, 2011). Teoreticky bylo dokázáno, že pigmenty zvané kryptochromy, které se podílejí i na cirkadiánních rytmech u obratlovců, mohou vytvářet takovéto radikálové páry senzitivní i k malým hodnotám geomagnetického pole (RITZ, 2002).

Tomuto modelu nasvědčují experimenty s narušením poměru radikálů při stimulaci radiofrekvenčním polem o určité frekvenci. Model radikálových párů

v receptorech rozprostřených v různých směrech v oku předpokládá axiální distribuci parametrů magnetického pole, a tím pádem se hodí k vysvětlení inkliničního



Obr. 9: Odpovědi magnetocepce u červenky při různých vlnových délkách monochromatického světla.

Zdroj: Wiltschko, 2002.

kompasu. Poměr radikálových dvojic také závisí na intenzitě magnetického pole, což by vysvětlovalo i schopnost mapové orientace (WILTSCHKO, 2011). Nálezy nervové aktivity v optických nervových systémech po stimulaci změnou magnetického pole jsou vykládány jako

možnost vnímat magnetické pole jako obraz okolí konfigurovaný navíc i podle geomagnetického pole (VÁLKOVÁ, 2012).

Většina zvířat při pokusech reagovala jen na určité spektrum světelného záření a to dvojnásobem. Buďto se zvířata orientovala při záření vlnové délky nižší než limitní hodnota a jakmile byla tato hodnota překročena směrem k infračervenému záření, došlo k dezorientaci. Nebo se při jiných vlnových délkách než při určitém rozmezí zvířata orientovala o 90° jinak. Většina zjištěných vlnových délek vhodných k orientaci se pohybovala ve viditelném spektru blízko ultrafialového světla (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 222 – 232). Podobné odpovědi by mohla vysvětlit teorie dvou fotopigmentů v buňce mloka (*Notophthalmus viridescens*), kdy po aktivaci anténního pigmentu senzitivního na určitou vlnovou délku dochází k orientaci správným směrem, ale po aktivaci primárního pigmentu jeho specifickou vlnovou délkou záření dojde k orientaci otočené o 90°. Při vlnových délkách aktivujících částečně oba pigmenty jsou mloci dezorientováni (BEASON, 2005; Ritz, 2002).

Podle této teorie by se dala vysvětlit i magnetorecepce bez přítomnosti světelného záření, a to pomocí makromolekul excitovaných do tripletového stavu, u kterých dojde k excitaci na základě chemických reakcí zprostředkujících elektron

(WILTSCHKO et WILTSCHKO, str. 222 – 232). To by vysvětlovalo orientaci některých zvířat, například rypošů lysých (*Heterocephalus glaber*), v prostředí bez jakéhokoliv záření (RITZ, 2002).

3.3 Magnetorecepce na základě ferromagnetických částic

V tělech živočichů podezřelých ze schopnosti vnímat magnetické pole bylo při zkoumání fyziologie magnetorecepce často nalezeno malé množství ferromagnetického materiálu. Jednalo se často o částičky biogenního magnetitu - oxidu železa Fe_3O_4 - tak malé, že tvoří z hlediska magnetismu jedinou doménu se stabilním magnetickým momentem. Bylo by teoreticky možné, že interakcí s geomagnetickým polem působí tyto částice jako převodníky signálu, například na mechanickém podkladě (NĚMEC, 2007). Tyto teorie jsou ale v poslední době výzkumníky opouštěny, protože o anatomické zdroje magnetitu ve vhodných místech není nouze, například v horním zobáku u holuba domácího (*Columba livia*) (JANDACKA, 2015).

Existují i ještě menší částice s magnetickým momentem nestálým v čase, které ale ve větším počtu nabývají superparamagnetické vlastnosti a dají se zmagnetizovat vnějším polem. O nich se spekulovalo, že by se mohly účastnit magnetorecepce pomocí vzájemných přitažlivých či odpudivých sil, pokud by při tom ovlivňovaly nervové zakončení (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 235 - 247).

JANDACKA (2015) ukázal na matematických modelech superparamagnetických částiček, které byly nalezeny ve vláskových buňkách vnitřního ucha ptáků, že by se mohly účastnit magnetorecepce jako elektromagnetické oscilátory zapojené do membrány. Při tělesné teplotě jsou totiž schopné odpovídat na hodnoty geomagnetického pole a zvyšovat nebo snižovat napětí na membráně, které je následně podnětem k nervovému vzruchu. Tímto způsobem by se dalo uvažovat o vnímání magnetického pole jako přidané hodnoty k zvukům z okolí paralelně k vnímání magnetismu jako vizuální hodnoty (JANDACKA, 2015).

4 Vliv magnetismu na ptáky

Někteří zástupci třídy ptáků vykazují takové prostorové chování, které bylo předmětem zkoumání již našich dávných předků. Dnes se vědci nejvíce zaměřují na orientaci tažných pěvců a domácích holubů, kteří dokáží překonávat vzdálenosti

stovek až tisíců kilometrů a najít přesně ta místa, která při migraci dlouhodobě navštěvují, nebo která navštěvovali jejich rodiče. Avšak i druhy nemigrujících ptáků vykazují známky magnetorecepce a magnetické orientace (KEARY, 2009).

Kompasová orientace u ptáků využívá několik mechanismů. Je známo, že ji představuje sluneční kompas, hvězdný kompas, ptáci též využívají směr polarizovaného záření při západu slunce a dále vizuálních či olfaktorických vjemů. Co se týká magnetického kompasu, ten je pravděpodobně zajišťován pomocí fotoreceptorů ležících v pravém oku a obsahujících fotopigmenty kryptochromy (BEASON, 2005; KEARY, 2009). Odpověď na různé vlnové délky, jak již bylo naznačeno výše, je mírně druhově odlišná. Platí však, že při nižších vlnových délkách jsou ptáci orientovaní, při vlnových délkách vyšších než circa 600 nm dochází k dezorientaci. Závislost na vlnových délkách při magnetické orientaci zároveň neodpovídala senzitivitě fotopigmentů, zprostředkujících zrakové vjemy, k vlnovým délkám záření. Je tudíž možné, že fotopigmenty magnetorecepce jsou odlišné od zrakových fotopigmentů a mohou dokonce sídlit i v odlišných buňkách (WILTSCHKO, 1999).

Elektrofyzilogické pokusy s nervovými drahami odhalily, že zpracování signálů z fotoreceptorů by se mohlo nacházet v nervových buňkách optické dráhy. Zajímavé údaje obsahují studie prokazující lateralizaci odpovědí na magnetismus většinou do pravého oka (WILTSCHKO, 2011; BEASON, 2005). U několika druhů se dá ověřit také funkční okno intenzity, v kterém se ptáci dokázali orientovat a které se tréninkem dalo posunovat.

Inklinační kompas funguje na obou polokoulích obdobně. Pro migrující pěvce tedy zkracování dne znamená cestu směrem k rovníku a naopak prodlužování dne iniciuje cestu směrem k pólu (BEASON, 2005). Zajímavou skupinou jsou ptáci, kteří při svém tahu rovník překročí. U nich se předpokládá, že horizontální magnetický vektor a jeho nulová inklinace spustí přehození inklinčního kompasu a nastavení opačného cílového směru (WILTSCHKO et WILTSCHKO, 1995, str. 50-54).

Poziční smysl je pravděpodobně založený na informacích z čidel obsahujících jednodoménové částičky magnetitu nebo superparamagnetické nanočástice, které zprostředkovávají informace o intenzitě magnetického pole (BEASON, 2005). Zatím se nepodařilo nalézt odpověď na otázku, jaký typ receptoru tyto údaje dále

zpracovává a kde leží. Podezřívá se etmoidální oblast nebo oblast inervovaná skrze nervus trigeminus. Dalším místem se zdá být vnitřní ucho a biogenní magnetit zapojený do membrán vláskových buněk. (JANDACKA, 2015)

Magnetický alignment byl u jedinců z třídy ptáků pozorován v různých situacích. HART (2013) studoval vodní ptactvo při přistávání na vodní hladinu a ukázal, že hejna různých druhů vodních ptáků preferují při přistávacím manévru využívat jen trajektorii v ose sever - jih. Nasměrovat tento stereotypní pohyb podle magnetického pole totiž jednoduše umožňuje koordinaci většího počtu jedinců za všech podmínek. Stejný princip využívají plameňáci při odpočinku (NOVÁKOVÁ, 2017). Veliká hejna plameňáků využívají buď polohu Slunce nebo magnetické pole Země při oblačných dnech, aby při odpočinku mohli koordinovat únik před potencionálním nepřítelem.

Metodika

Praktická část této bakalářské práce obsahuje experiment, který měl ověřit hypotézu magnetického alignmentu u semenožravých ptáků při sběru potravy. Provedený experiment měl dvě části, nejprve byly ptáci pozorováni bez ovlivnění magnetického pole Země, v druhé části bylo geomagnetické pole ovlivněno tyčovým magnetem.

1 Lokalita

Pro pozorování a sběr dat byla vybrána dvě odlišná místa. První lokalita se nacházela na zahradě u rodiného domu ve vilové čtvrti v Motole, v Praze, druhou lokalitu bylo možno vybrat také na pozemku zahrady, a to v obci Neřežín, ve vesničce na okraji Chráněné krajinné oblasti Brdy, bývalého Vojenského prostoru.

1.1 Motol

Motol je městská část v Praze 5 známá pro stejnojmennou nemocnici. Pokus probíhal na zahradě ve vilové čtvrti, která sousedí s malým sídlištěm, s Fakultní nemocnicí v Motole a s lesoparkem Cibulka. Prostředí je tu klidné, nejrušnější komunikace, ulice Plzeňská, se nachází více než 300 metrů vzdušnou čarou od místa pozorování. Nadmořská výška tu činí 282 m.n.m. a magnetický vektor měl v roce 2018 celkovou intenzitu 49,12 μT , deklinaci 4,02° a inklinaci 66,04° podle International Geomagnetic Reference Field.

1.2 Neřežín

Obec Neřežín leží ve Středočeském kraji, 50 km jihozápadně od Prahy v okrese Beroun. V jejím těsném sousedství začíná Chráněná krajinná oblast Brdy, která byla až do roku 2016 využívána pouze jako vojenský výcvikový prostor. Místo pozorování bylo dobře skryto před příležitostnými kolemjdoucími turisty, kteří tu nejsou častí a tvoří jediné nepřirozené vyrušování ptactva. Místo měření leží 460 m.n.m. a sousedí s dubobukovým a bukovým lesním vegetačním stupněm. Magnetický vektor tady má intenzitu 49,00 μT , deklinaci 3,88° a inklinaci 65,78°

2 Pozorované druhy

2.1 Pěvci

2.1.1 Stehlík obecný *Carduelis carduelis*

Stehlík obecný je další malý pěvec o velikosti 13 cm a hmotnosti 16 g. Jeho zbarvení je typické, s černobíločervenou maskou, hnědými zády, žlutočernými křídly a světlou spodinou těla.

Rozšířen je v celé Evropě, v severní Africe v západní Asii až po Himaláje. U nás je rozšířen po celém území, nejvíce v parcích, v alejích, na předměstích a v řídkých lesích.

Hnízdí většinou na ovocných stromech, snáší 4 až 5 vajec, někdy i dvakrát do roka. Živí se především semeny, ale i hmyzem.



Obr. 10: *Carduelis carduelis*



Obr. 11: *Carduelis chloris*

2.1.2 Zvonek zelený *Carduelis chloris*

Zvonek je relativně velký pěnkavovitý pták, vážící až 30 g. Sameček je světle zelený, na hlavě zelená přechází až do šedé, spodina těla je světlejší a lemy křídel i ocas jsou žluté. Samička je spíše šedozeleňá, na zádech hnědá, méně nápadná.

Je to evropský druh, jen jižní populace zasahuje až do severní Afriky. U nás je rozšířen zejména v kulturních krajinách jen do nadmořské výšky 800 m.n.m., preferuje krajinu se stromy, okraje lesů, parky, zahrady, ale i centra měst.

Hnízdo si staví v keřích a dvakrát ročně v něm samička snáší po 4 až 6 vejcích. Potravu tvoří semena, bobule, mláďata jsou krmena i hmyzem.

2.1.3 Čížek lesní *Carduelis spinus*

Jedná se o malého pěvce o hmotnosti 12 g. Zbarvení je žlutozelené s žlutočerně čárkovitými křídly a ocasem. Temeno je černé pouze u samců, samičky mají hlavu šedozelenou.

Jeho rozšíření má dvě části, evropská část se dostává v jižních částech až k Pyrenejím.

Druhá populace se nachází ve východní Asii. Tento druh je

také částečně tažný. Co se týká biotopů, obývá lesy mírného pásma, nejčastěji jehličnaté lesy středních a vyšších poloh.

Hnízdo si samička staví na vysokých postranních větvích. Snůška čítá 4 až 5 vajec a čížek jí mívá dvakrát ročně. Jeho potravu tvoří semena lesních stromů, mláďata se živí převážně hmyzem.



Obr. 12: *Carduelis spinus*

2.1.4 Dlask tlustozobý *Coccothraustes coccothraustes*



Obr. 13: *Coccothraustes coccothraustes*

Další zástupce velkých pěnkavovitých pěvců, dlask tlustozobý, váží průměrně 60 g a jeho zbarvení je velice typické. Je červenohnědý se světlejším bříškem, pod mohutným hnědým zobákem má černou skvrnu, a křídla má černobílošedě strakaté.

Areál jeho rozšíření se táhne od severozápadní Afriky přes Evropu a Asii až po Japonsko.

Populace na našem území jsou tažné a nacházíme je spíše v nížinách a



Obr. 14: *Erithacus rubecula*

pahorkatinách, oblasti nad 1000 m.n.m. jim nevyhovují. Vyhledává listnaté lesy i ovocné zahrady.

Hnízdí jednou ročně, snůška čítá 5 vajec v hnízdě vystavěném v korunách stromů. Jeho potravou jsou zrna, jádra a semena, příležitostně i hmyz.

2.1.5 Červenka obecná *Erithacus rubecula*

Červenka je malý pěvec o hmotnosti do 24 g, zabarvení je na zádech hnědé, na hrudi má rezavočervenou náprsenku, která pokračuje do světlejšího zbarvení na spodní části těla.

Vyskytuje se na většině území Evropy, výskyt zasahuje až na Ural a do Malé Asie. Severské populace jsou částečně tažné, v jihozápadní Evropě červenka stabilně i přezimuje. U nás se vykytuje v lesích, remízích i v parcích a zahradách, od nížin až do horských oblastí.

Hnízdo si staví většinou na zemi a snáší do něho 4 až 7 vajec. Její potravu tvoří hmyz, bobule a další plody rostlin.

2.1.6 Pěnkava obecná *Fringilla coelebs*

Pěvec o hmotnosti 20 g s pestrým zbarvením má šedé temeno, červenohnědé břicho, zelená záda a černobíle pruhovaná křídla.

Pěnkava je rozšířena v celé Evropě, severní Africe, do Asie zasahuje její areál až po Sibiř a Írán. Jedná se o tažný druh. U nás obývá téměř všechny nadmořské výšky, vyhledává oblasti se stromy a keři. Najdeme ji také v centrech měst.

Hnízdo si staví kulovité a úhledné, samička do něj snese 3 až 6 vajíček. Její potrava obsahuje hlavně semena, mláďata ovšem krmí hmyzem.



Obr. 15: *Fringilla coelebs*

2.1.7 Sýkora modřinka *Parus*

caeruleus

Jedna z nejmenších sýkor váží pouhých 11 g je nápadná svojí modře zbarvenou čepičkou, křídly a ocasem. Bříško je žlutavé, záda nazelenalá, na hlavičce je černý pruh přes oči.

Sýkoru nacházíme hlavně v Evropě, její areál se ale táhne až do Malé Asie. Jedná se o částečně tažného ptáka a obývá u nás nížiny i horské oblasti. Vyhovují jí lesní porosty i aleje a zahrady, vyhledává starší stromy s dutinami.

Hnízdí v těchto dutinách, v opuštěných hnízdech i v hromadách dřeva. Snáší dvakrát ročně 7 až 14 vajec. Živí se hmyzem, v zimním období i bobulemi a semeny.



Obr. 16: *Parus caeruleus*



Obr. 17: *Parus major*

2.1.8 Sýkora koňadra *Parus major*

Přesto že se jedná o relativně malého ptáka vážícího 20 g, je to naše největší sýkora. Její zbarvení je opět jednoznačné, má černou hlavičku s bílými tvářemi, nazelenalá záda, žluté bříško a bílé proužky na šedých křídlech.

Areál má značně rozsáhlý, obývá Evropu, Asii včetně Indie a Indonesie a severní Afriku. U nás jí nalezneme na celém území přibližně do 1200 m.n.m. Není náročná na prostředí, obývá lesy, zahrady, parky a města.

Hnízdí v dírách a dutinách bez ohledu na jejich původ a samička snese dvakrát do roka 7 až 15 vajec. Živí se hmyzem, semeny a plody.

2.1.9 Sýkora babka *Parus palustris*

Další malá sýkorka váží 11 g je nenápadným ptáčkem s černou čepičkou, bílými tvářemi a šedivým tělem, na spodině mírně světlejším.

Druh se dělí na dvě populace, evropskou a východoasijskou. Nejedná se o tažný druh. U nás bychom ji mohli až na výjimky najít na celém území, více v nížinách a s maximem do 1200 m.n.m. Potřebuje lesní smíšené porosty nebo parky či okraje měst.



Obr. 18: *Parus palustris*

Hnízdo si buduje v dutinách stromů nepřilíš vysoko. Snáší 7 až 10 vajec jednou



Obr. 19: *Periparus ater*

ročně. Živí se hmyzem, larvami a semeny.

2.1.10 Sýkora uhelníček

Periparus ater

Malá sýkorka vážící pouhých 9 g je zbarvená podobně jako sýkora koňadra. Má černou hlavu, bílé tváře, šedivé břicho,

modrošedé záda a bílé proužky na křídlech. Na šíji má bílou skvrnu, pro kterou se zvláště při pohledu shora dobře odliší.

Je rozšířena v celé Evropě kromě severní části, v severní a střední Asii, v Malé Asii a v severní Africe. Většinou není tažná. Obývá jehličnaté lesy až k hranici lesa, ale vyskytuje se i v zahradách.

Hnízdo si staví v dutinách i v zemi a snáší 7 až 11 vajec. Živí se hmyzem a semeny.

2.1.11 Vrabec domácí *Passer domesticus*

Je to 30 g vážící pěvec s pohlavním dimorfismem. Samec má černou náprsenku a šedé temeno hlavy a šedobílou masku. Samička má hlavičku jenobarevnou, šedohnědou. Oba mají hnědý, černě čárkovaný hřbet.



Obr. 20: *Passer domesticus*

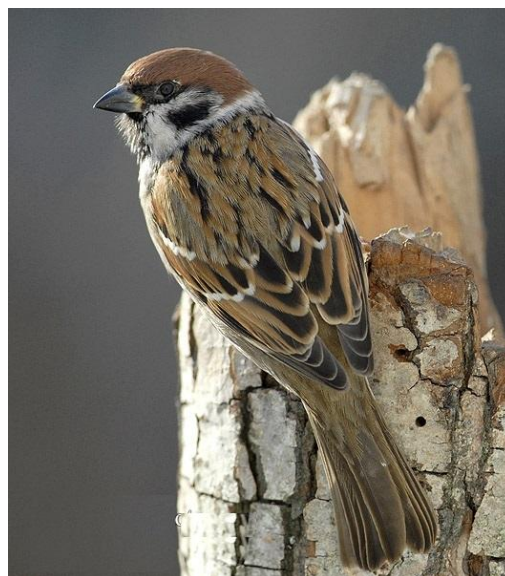
Snůšku může vynést i čtyřikrát do roka, v hnízdních koloniích v různých dutinách lidských staveb. Snůška čítá 4 až 6 vajec. Živí se rostlinnou potravou: zrním, listy i pupeny, u mláďat převažuje jako potrava hmyz.

2.1.12 Vrabec polní *Passer montanus*

Menší příbuzný vrabce domácího váží 23 g. Zbarvením se vrabci domácímu podobá, má také hnědé, černě čárkované záda, šedavé břicho a černě skvrnitá křídla. Spolehlivě se dá odlišit hnědou hlavou a bílým límečkem. Samička je stejná jako sameček.

Vyskytuje se až na výjimky v celé Evropě a Asii, najdeme ho také v dalších místech, kam byl introdukovan. U nás jeho výskyt nepřevyšuje 850 m.n.m., vybírá si polní oblasti s otevřenou krajinou. Centrum měst se vyhýbá.

Hnízdo si staví v dutinách, budkách či štěrbinách. Snůšku mívá až třikrát do roka s 4 až 6 vejci. Živí se semeny, zrním, ovocem a hmyzem.



Obr. 21: *Passer montanus*

2.1.13 Rehek domácí *Phoenicurus ochruros*

Menší pěvec o hmotnosti do 20 g je nápadný pro svůj rezavý ocas. Zbarvení těla je tmavě šedé u samečků a hnědošedé u samic.



Obr. 22: *Phoenicurus ochruros*

Je rozšířen v Evropě, severní Africe a Asii, ale obývá spíše jižnější oblasti. Severní populace jsou tažné. U nás obývá lidská sídla a skalnaté sutě na celém území.

Hnízdo si buduje ve skalách, dutinách a v budovách a snáší do něj dvakrát ročně 3 až 8 vajec. Živí se v závislosti na ročním období hmyzem, malými bezobratlými, bobulemi, plody a semeny.

2.1.14 Hýl obecný *Pyrrhula pyrrhula*

Pěvec vážící až 40 g je svým zbarvením velice charakteristický. Má černé temeno, růžovočervenou hrud' a šedá záda. Na křídlech jsou bílé proužky. Samice je zbarvena podobně, ale méně nápadně.

Areál jeho rozšíření se táhne mírným pásem přes celou Evropu a Asii. Nejedná se tažného ptáka. U nás ho nenajdeme jen v nížinách, jinak obývá lesy, parky i zahrady.



Obr. 23: *Pyrrhula pyrrhula*

Hnízdo si buduje v křoví nepříliš vysoko a snáší do něj 4 až 5 vajec. Živí se semeny a pupeny.

2.1.15 Brhlík lesní *Sitta europea*

20 až 30 g vážící pěvec je nápadný pro protáhlý tvar těla, které je svrchu modrošedé. Přes oko má černý proužek, hrdlo má bílé a spodek těla rezavý. Křídla mají černý okraj.

Rozšířen je v severní Africe, v Evropě a v celé Asii. Není tažný. U nás ho nacházíme na celém území v lesních porostech, parcích a zahradách.

Hnízdo si buduje v dutinách stromů, snáší do něj jednou ročně 5 až 8 vajec. Jeho potravu tvoří hmyz i semena.



Obr. 24: *Sitta europea*



Obr. 25: *Turdus merula*

2.1.16 Kos černý *Turdus merula*

Relativně velký pěvec vážící až 130 g je typickým svým celotělovým černým zbarvením s žlutým kruhem kolem oka a se žlutým zobákem. Samičky jsou hnědé.

Areál má na severozápadě Afriky, v Evropě, v Malé Asii až ve východní Číně. Je částečně tažný, osidluje lesy, zahrady i města a u nás se vyskytuje na celém území.

Hnízdo si staví v keřích či stromech a snáší 4 až 6 vajec až třikrát ročně. Živí se hmyzem, bezobratlými, bobulemi a ovocem.

2.1.17 Sojka obecná *Garrulus glandarius*

Sojka je pěvec dosahující délky až 35 cm a váhy až 220 g. Má oranžovošedé tělo s černobílými prvky na ocase a křídlech, u kterých je navíc modrá skvrnka.

Vyskytuje se v celé Evropě, v severní Africe, v Malé Asii a její areál se táhne až do jihovýchodní Asie. U nás je rozšířena na celém území. Jejím biotopem jsou lesní porosty i městské parky.

V hnízdě, které je vybudované na stromech, snáší samice 4 až 8 vajec. Potravu sojky tvoří plody, zrní, bobule, semena, hmyz, vejce i mláďata jiných ptáků, hlodavci a dokonce i obojživelníci.



Obr. 26: *Garrulus glandarius*

2.1.18 Straka obecná

Pica pica

Velký pěvec o délce těla až 50 cm a váze až 300 g je černobílý pták s převážně bílým tělem, černou hlavou, křídly a ocasem.

Jedná se o druh s rozšířením od severní Afriky přes celou Evropu a Asii po Kamčatku. Straka není tažná. U nás se vyskytuje více v nížinách, její výskyt většinou

nepřevyšuje 900 m.n.m. Vyhledává spíše otevřenou krajinu se střídavým porostem stromů, vyskytuje se i u sídel.



Obr. 27: *Pica pica*

Hnízdo se stříškou si buduje vysoko na stromech. Snese 5 až 7 vajec jednou ročně. Živí se hmyzem, měkkýši, obojživelníky, vejci a mláďaty jiných ptáků, drobnými savci, zrním, ovocem, semeny a bobulemi.

2.2 Šplhavci

2.2.1 Strakapoud velký *Dendrocopos major*

Tento pták z řádu šplhavců dosahuje hmotnosti 100 g. Jeho zbarvení je typické, černobílé s červeným čelem a spodní částí ocasu.

Vyskytuje se téměř v celé Evropě, v České republice ho nacházíme na celém území do horní hranice lesa. Obývá právě lesní porosty, ale i parky a zahrady.

Hnízdo má v dutinách stromů a snáší do něj 4 až 7 vajec. Jeho potravu tvoří semena a hmyz.



Obr. 28: *Dendrocopos major*

2.3 Měkkozobí

2.3.1 Hrdlička zahradní *Streptopelia decaocto*

Hrdlička je pták podobný holubovi o hmotnosti do 290 g. Zbarvení je šedohnědé, na krku má černý proužek.

Je rozšířena v celé Evropě, na severu Afriky, od západní až po východní Asii a uměle se dostala i do Severní Ameriky. U nás nyní žije na celém území, nejvíce



Obr. 29: *Streptopelia decaocto*

v zahradách a v parcích.

Hnízdo si buduje na stromech i na budovách, snáší do něj až čtyřikrát ročně 2 vejce. Živí se semeny, bobulemi a jinými částmi rostlin (ZÍCHA, 2020).

3 Příprava experimentu

Na obou těchto lokalitách byly připraveny experimentální podmínky. Do relativně klidného místa bylo umístěno krmítko, které bylo tvořeno keramickou miskou s kruhovým dnem o průměru 32 cm. Ta byla upevněna na plastové bedýnce tak, aby neležela na zemi a byla tak pro ptáky atraktivnějším místem ke sběru potravy, a také aby bylo možno pod misku následně umístit magnet. Nad krmítko byla instalována fotopast na dřevěnou konstrukci, která co nejméně zasahovala do prostoru, kde ptáci sbírali semena a kudy následně odlétali (viz obr. 30 a obr. 31). Od 11. března 2018 byly z fotopastí shromažďovány fotky ptáků. Na krmítka bylo co nejvíce pravidelně (jednou za 3 - 7 dní) předkládáno krmivo, které se skládalo většinou ze slunečnicových semínek, někdy i z dýňových semínek a z ovesných vloček.



Obr. 30: Krmítko s fotopastí v Motole



Obr. 31: Krmítko s fotopastí v Neřežíně

Na konci července 2018 byl pod každou z misek na bedýnku připevněn tyčový alnico magnet o síle 17 N tak, že severní pól magnetu směřoval k magnetickému severu Země (viz obr. 32). Dále se pokračovalo v předkládání krmiva a ve snímání fotek ptáků až do května 2019.



Obr. 32: Tyčový magnet připevněný na bedýnku pod misku se semínky



Obr. 33: Fotopast nasměrovaná tak, aby na snímcích odpovídala horní strana fotky severu

Fotopasti typu Hunting Trail Camera Suntek HC300M byly nastaveny tak, aby při zachycení pohybu vyfotily snímek jednou za 30 až 60 vteřin. Jejich umístění bylo pečlivě vybráno pro ulehčení následného vyhodnocování snímků. Byly nainstalovány přesně tak, aby na výsledných fotkách byl sever uprostřed horního okraje snímku (viz obr. 33).

4 Měření dat

Celkem za pozorovací období bylo vyfoceno více než 67 000 fotek. Z nich byly vybrány pouze ty, na nichž byl pták zachycen při sběru potravy, a to v takové kvalitě, aby bylo možné zjistit polohu jeho hlavy a těla a učít daný druh. U každého takového snímku bylo pomocí aplikace MB - Ruler určena deviate osy těla ptáka. Směr osy byl udáván ve stupních úhlu odchylky hlavy ptáka od severu, a to po směru hodinových ručiček (viz obr. 34). Dále bylo zaznamenáno datum a čas pořízení záznamu, číslo fotografie pro možnost kontroly, pořadí záznamu, lokalita, na které byla fotka pořízena, druh zobrazeného ptáka.



obr. 34: Měření odchylky osy těla ptáků od severu.

Pokud bylo na fotce zobrazeno dva a více jedinců, každému byl přiděleno vlastní číslo a hodnotili se jako samostatné záznamy. I pokud byl jedinec na krmítku zachycen v několika po sobě následujících fotografiích, byl pokaždé hodnocen jako samostatný záznam.

5 Statistické zpracování dat

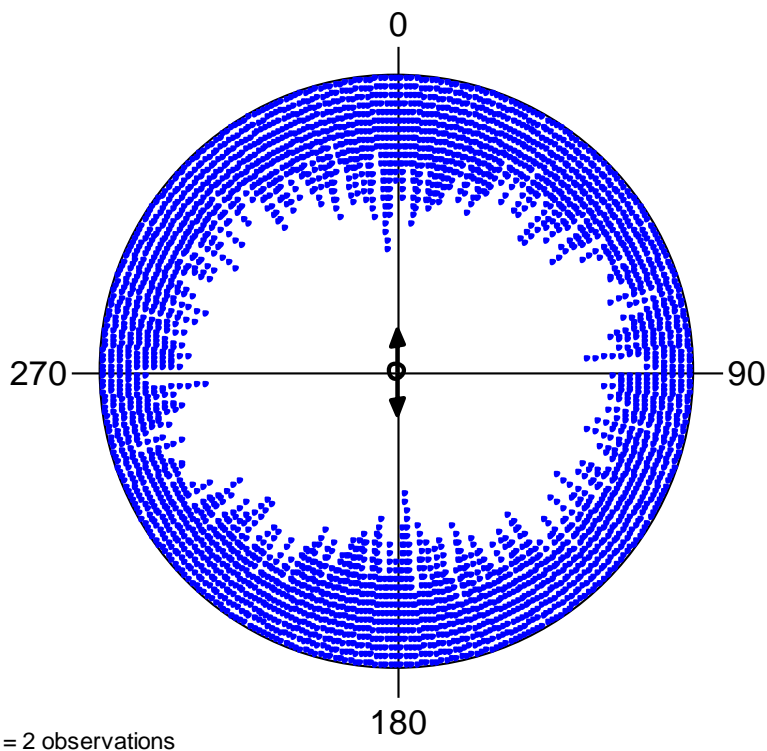
Takto sebraná a naměřená data byla pak vyhodnocena v programu cirkulární statistiky Oriana. Výsledek byl podroben několika statistickým testům, z nichž nejvíce používaným testem pro unimodální nebo axiální rozdělení je Rayleighův test. Pro něj platí, že kritická hodnota testu pro 5% hladinu významnosti u souboru více než 100 pozorování musí být větší než 3. Pro úplnost jsou uvedeny hodnoty dalších statistických testů používaných při zpracovávání cirkulárních dat. Jsou to Rao Spacing test, Watson U2 test a Kuiper test (LANDLER, 2018, BATSCHELET, 1981).

Výsledky

Celkem bylo během období od 11. března 2018 do 30. května 2019 vyhodnoceno 9016 záznamů. V lokalitě Motol bylo pořízeno celkem 2204 pozorování, z nichž 960 v první fázi bez ovlivnění a 1244 v druhé fázi s ovlivněním magnetického pole. V Neřežíně bylo sesbíráno celkem 6812 záznamů, 2495 v první fázi a 4317 záznamů v druhé fázi pozorování.

Na krmítku byly pozorovány tyto druhy: *Erithacus rubecula*; *Carduelis carduelis*; *Carduelis chloris*; *Carduelis spinus*; *Coccothraustes coccothraustes*; *Dendrocopos major*; *Fringilla coelebs*; *Garrulus glandarius*; *Parus caeruleus*; *Parus major*; *Parus palustris*; *Passer domesticus*; *Passer montanus*; *Periparus ater*; *Phoenicurus ochruros*; *Pica pica*; *Pyrrhula pyrrhula*; *Sitta europea*; *Streptopelia decaocto*; *Turdus merula*.

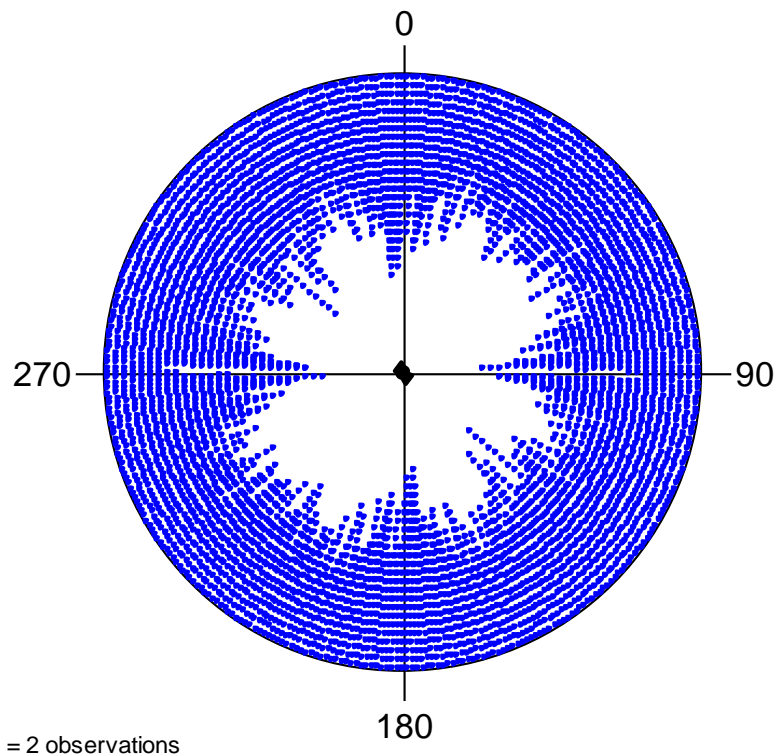
V první fázi experimentu bez ovlivnění magnetem bylo z obou lokalit vyhodnoceno celkem 3455 záznamů. Graf 1 obsahuje grafické znázornění cirkulární statistiky naměřených hodnot. Tabulka 1 shrnuje vypočítaná statistická data. Průměrný vektor v tomto případě má délku 0,14 a jeho úhel je $179,414^\circ$. V grafu je znázorněn černou šipkou a vnitřní kruh vyjadřuje statistickou signifikanci při 5% významnosti Rayleighova testu, který je standardně používán pro cirkulární data.



Graf 1: Statistika naměřených hodnot z obou lokalit bez ovlivnění magnetického pole

Variable	Axial	Rayleigh Test (Z)	68,121
Data Type	Axial	Rayleigh Test (p)	< 1E-12
Number of Observations	3455	Rao's Spacing Test (U)	341,245
Data Grouped?	No	Rao's Spacing Test (p)	< 0.01
Mean Vector (μ)	$179,414^\circ$	Watson's U2 Test (Uniform, U2)	3,602
Length of Mean Vector (r)	0,14	Watson's U2 Test (p)	< 0.005
Concentration	0,284	Kuiper's Test (Uniform, V)	5,977
Circular Variance	0,43	Kuiper's Test (p)	< 0.01
Circular Standard Deviation	$56,765^\circ$		

Tabulka 1: Statistická data měření na obou lokalitách bez ovlivnění magnetického pole



Graf 2: Statistika naměřených hodnot z obou lokalit po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem

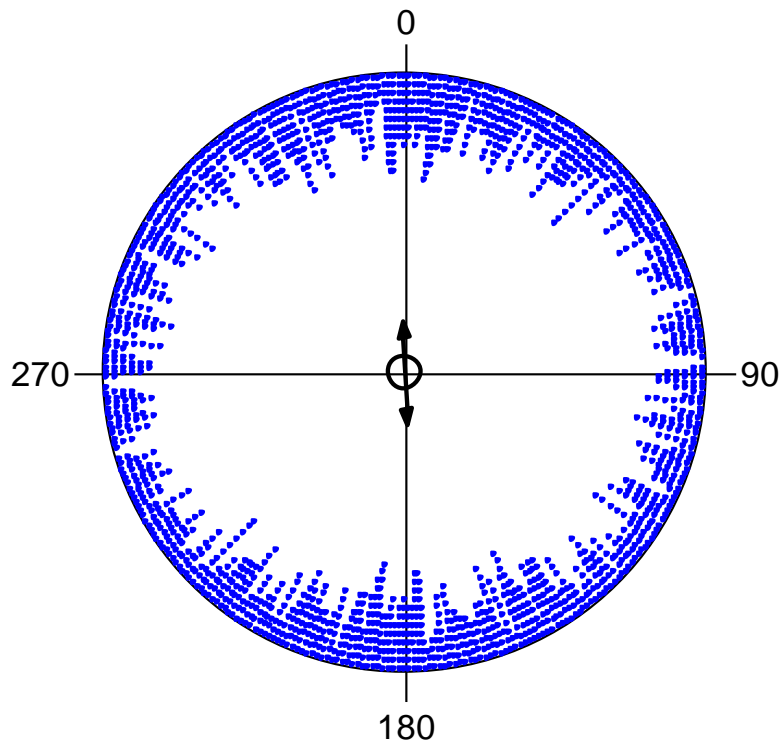
Variable	Axial	Rayleigh Test (Z)	3,375
Data Type	Axial	Rayleigh Test (p)	0,034
Number of Observations	5561	Rao's Spacing Test (U)	348,347
Data Grouped?	No	Rao's Spacing Test (p)	< 0.01
Mean Vector (μ)	131,503°	Watson's U2 Test (Uniform, U2)	0,372
Length of Mean Vector (r)	0,025	Watson's U2 Test (p)	< 0.005
Concentration	0,049	Kuiper's Test (Uniform, V)	3,079
Circular Variance	0,488	Kuiper's Test (p)	< 0.01
Circular Standard Deviation	77,969°		

Tabulka 2: Statistická data měření na obou lokalitách po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem

V grafu 2 je vyobrazeno rozložení dat druhé fáze, tedy s ovlivněním magnetického pole Země tyčovým magnetem. Celkem bylo takto zpracováno 5561 jedinců, průměrný vektor má odchylku 131,503° a délku 0,025 při statistické hladině významnosti 0,034.

Statistické vyhodnocení dat z lokality Motol ve fázi bez ovlivnění magnetického pole je vyobrazeno na grafu 3. Průměrný vektor má odchylku 177,925° a jeho délka

činí 0,176. Vektor je v grafu znázorněn šipkou, kde délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

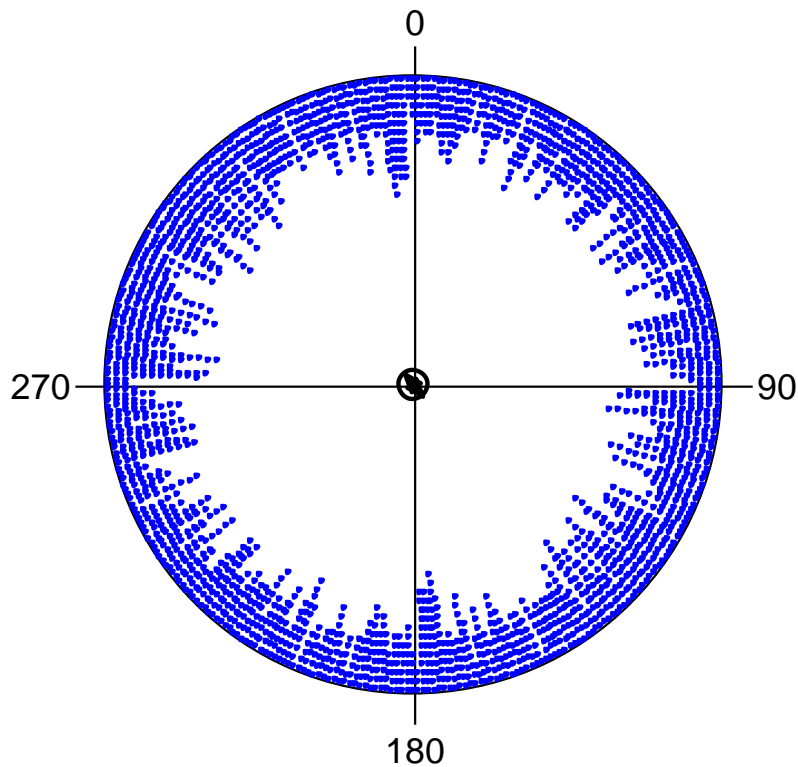


Graf 3: Statistika naměřených hodnot z lokality Motol bez ovlivnění magnetického pole

Variable	Axial	Rayleigh Test (Z)	29,624
Data Type	Axial	Rayleigh Test (p)	< 1E-12
Number of Observations	960	Rao's Spacing Test (U)	293,25
Data Grouped?	No	Rao's Spacing Test (p)	< 0.01
Mean Vector (μ)	177,925°	Watson's U2 Test (Uniform, U2)	1,546
Length of Mean Vector (r)	0,176	Watson's U2 Test (p)	< 0.005
Concentration	0,357	Kuiper's Test (Uniform, V)	4,142
Circular Variance	0,412	Kuiper's Test (p)	< 0.01
Circular Standard Deviation	53,429°		

Tabulka 3: Statistická data měření z lokality Motol bez ovlivnění magnetického pole

Statistické vyhodnocení dat z lokality Motol v druhé fázi experimentu, tedy po ovlivnění magnetického pole je vyobrazeno na grafu 4. Průměrný vektor má odchylku $141,068^\circ$ a jeho délka činí $0,046$. Vektor je v grafu znázorněn šipkou, kde délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

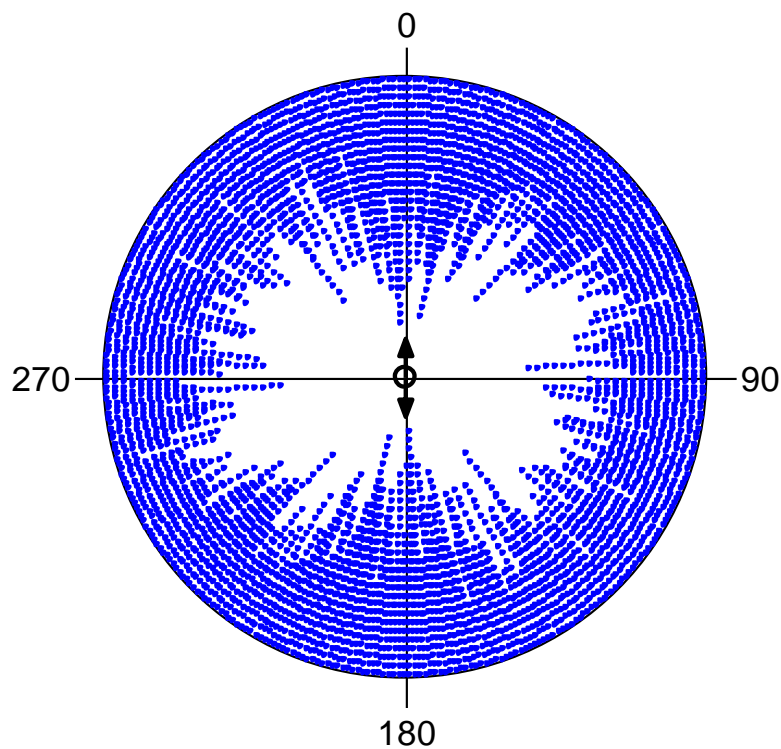


Graf 4: Statistika naměřených hodnot z lokality Motol po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem

Data Type	Axial	Rayleigh Test (Z)	2,661
Number of Observations	1244	Rayleigh Test (p)	0,07
Data Grouped?	No	Rao's Spacing Test (U)	307,91
Mean Vector (μ)	$141,068^\circ$	Rao's Spacing Test (p)	< 0.01
Length of Mean Vector (r)	0,046	Watson's U2 Test (Uniform, U2)	0,169
Concentration	0,093	Watson's U2 Test (p)	$0.1 > p > 0.05$
Circular Variance	0,477	Kuiper's Test (Uniform, V)	1,984
Circular Standard Deviation	$71,029^\circ$	Kuiper's Test (p)	< 0.025

Tabulka 4: Statistická data měření z lokality Motol po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem

Statistické vyhodnocení dat z lokality Neřežín ve fázi bez ovlivnění magnetického pole je vyobrazeno na grafu 5. Průměrný vektor má odchylku $0,206^\circ$ a jeho délka činí $0,127$. Vektor je v grafu znázorněn šipkou, kde délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

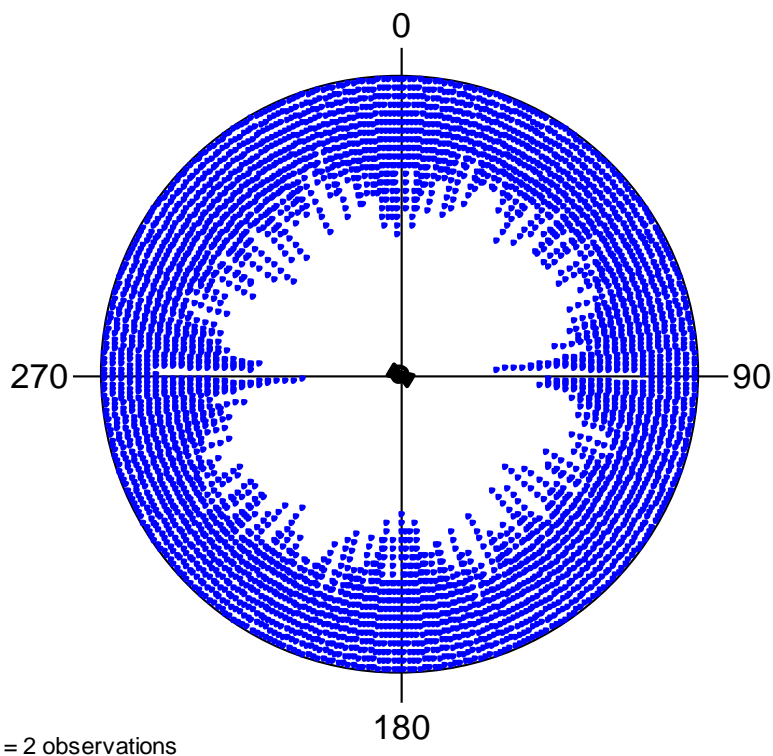


Graf 5: Statistika naměřených hodnot z lokality Neřežín bez ovlivnění magnetického pole

Variable	Axial	Rayleigh Test (Z)	40,238
Data Type	Axial	Rayleigh Test (p)	< 1E-12
Number of Observations	2495	Rao's Spacing Test (U)	334,028
Data Grouped?	No	Rao's Spacing Test (p)	< 0.01
Mean Vector (μ)	$0,206^\circ$	Watson's U2 Test (Uniform, U2)	2,168
Length of Mean Vector (r)	0,127	Watson's U2 Test (p)	< 0.005
Concentration	0,256	Kuiper's Test (Uniform, V)	4,664
Circular Variance	0,437	Kuiper's Test (p)	< 0.01
Circular Standard Deviation	$58,2^\circ$		

Tabulka 5: Statistická data měření z lokality Neřežín bez ovlivnění magnetického pole

Statistické vyhodnocení dat z lokality Neřežín v druhé fázi experimentu, tedy po ovlivnění magnetického pole je vyobrazeno na grafu 6. Průměrný vektor má odchylku $125,077^\circ$ a jeho délka činí 0,02. Vektor je v grafu znázorněn šipkou, kde délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.



Graf 6: Statistika naměřených hodnot z lokality Neřežín po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem

Variable	Axial	Rayleigh Test (Z)	1,664
Data Type	Axial	Rayleigh Test (p)	0,189
Number of Observations	4317	Rao's Spacing Test (U)	344,99
Data Grouped?	No	Rao's Spacing Test (p)	< 0.01
Mean Vector (μ)	$125,077^\circ$	Watson's U2 Test (Uniform, U2)	0,307
Length of Mean Vector (r)	0,02	Watson's U2 Test (p)	< 0.005
Concentration	0,039	Kuiper's Test (Uniform, V)	2,64
Circular Variance	0,49	Kuiper's Test (p)	< 0.01
Circular Standard Deviation	$80,322^\circ$		

Tabulka 6: Statistická data měření z lokality Neřežín po ovlivnění magnetického pole tyčovým magnetem

Diskuze

Z výsledků pozorování vyplývá, že ptáci při sběru semen v prostředí magnetického pole Země preferovali umístění svého těla v severojižní ose. Průměrný vektor natočení jejich těl se na obou lokalitách neodchyloval o více než 5° a to při statistické významnosti Rayleighova testu 5 %.

Pozorování z fáze po ovlivnění magnetického pole v místě sběru potravy při zhodnocení pozorování na obou lokalitách přinesla výsledný průměrný vektor splňující 5% hladinu významnosti, ale odchylka byla zde $131,503^\circ$, což zhruba odpovídá jihovýchodní - severozápadní ose. Když byly zhodnoceny pozorování z obou experimentálních lokalit zvlášť, nebyly získány výsledky splňující 5% statistickou významnost a jejich směr byl v Motole $141,068^\circ$ a v Neřežíně $125,077^\circ$.

Ptáci jsou vybaveni různými smyslovými orgány a ovlivnění jejich chování v prostoru může být dáno kromě náhody mnoha odlišnými faktory. V přirozeném prostředí, v jakém byla experimentální krmítka umístěna, hrají roli překážky v okolním terénu jako je plot, stromy, upevnění fotopasti, dále i vítr, přítomnost dalších zvířat a samozřejmě poloha slunce, která má také jednu z hlavních rolí při pozičním chování u ptáků.

V tomto experimentu byla vyhodnocena pozorování z dvou odlišných lokalit, na kterých byla krmítka umístěna do mírně odlišných podmínek z hlediska okolí a předmětů v terénu. Sběr snímků probíhal po období delší než jeden rok, ve všech denních dobách. Bias vyplývající z navržení experimentu byla tímto minimalizována. Pokud by přesto na obou lokalitách bez ovlivnění magnetického pole byli ptáci natočení z jiného důvodu než kvůli působení geomagnetického pole, nemohly by se poté lišit výsledky po ovlivnění magnetického pole v experimentálním prostředí, a to tak významným způsobem.

Z uvedeného vyplývá, že v popsaném pokusu byl dokázán magnetický alignment u semenožravých ptáků při sběru potravy, jinými slovy že semenožraví ptáci preferují při sběru potravy polohu svého těla tak, aby osa jejich těla byla rovnoběžná s osou sever - jih.

Je obtížné najít za těchto okolností zásadní výhodu popsaného pozičního chování. V daném prostoru nebylo potřeba orientovat se pro migrační ani jinak

transportní projevy - ptáci mohli dostatečně využívat zrakové či olfaktorické vjemy z většinou známého prostředí. Ptáci se také nenacházeli ve skupinách, aby museli svůj pohyb koordinovat, únik před možným predátorem by v tomto případě dával větší smysl naplánovat podle konkrétního směru, z kterého by hrozilo nebezpečí.

Logickým důvodem pro magnetický alignment v tomto případě zůstává teorie o snížení stimulace příslušného magnetoreceptoru. Geomagnetické pole je, jak už bylo zmíněno, všudypřítomné, a receptory, které ho registrují, jsou tedy stále zahlceny tokem informací z okolí. Jako přijatelné se zdá být tvrzení, že k magnetickému alignmentu může dojít i proto, aby se informace z magnetoreceptorů zminimalizovala, a tím také došlo k ušetření energie potřebné k převádění informací z okolí do centrální nervové soustavy a jejich dalšímu zpracování.

Tato hypotéza může nabídnout další podklady pro výzkum magnetocepce u ptáků. Pokud existuje stav, při kterém je receptor zodpovědný za informace o magnetickém poli stimulovaný nejméně nebo skoro vůbec, může tento fakt napomoci k objasnění jeho lokalizace a mechanismu. Dalším aspektem popsaného experimentu je přítomnost magnetického alignmentu u velkého počtu druhů ptáků, což naznačuje společnou fylogenezi magnetocepce u migrujících i nemigrujících druhů.

Další možnou teorií může být udržování mentální mapy okolí v základním režimu. Pokud bude jedinec potřebovat rychle opustit krmítko při útěku, bude i při tom potřebovat se v okolí zorientovat. Aby tuto činnost urychlil, je logické, že si udržuje obrázek mentální mapy, kterou upravuje podle aktuální polohy. I z běžného života je jasné, že jednodušší než stále si aktualizovat natočení mapy podle vlastní polohy, je natočit vlastní tělo podle mapy (NOVÁKOVÁ, 2013).

Závěr

Magnetocepce a její projevy, například magnetický alignment, se v poslední době experimentálně projevila u mnoha druhů zvířat. Je jasné, že pro druhy, které překonávají veliké vzdálenosti, jde o jeden z důležitých mechanismů orientace a navigace v prostoru. Odpovědi na magnetické pole ale můžeme sledovat i u organismů, které nemigrují a jejich domovský okrsek čítá někdy i jen několik desítek centimetrů, např. u švába amerického (*Periplaneta americana*) nebo u některých druhů hmyzu. (VÁCHA, 2009) Jak se magnetocepce vyvinula, jaký měla evoluční význam u předků těchto druhů je otázka k dalšímu výzkumu.

Cílem této bakalářské práce bylo pokusit se v experimentální části dokázat magnetický alignment u semenožravých ptáků při sběru potravy. Z výsledků pozorování jednoznačně vyplývá, že pozorovaní jedinci preferují za normálních okolností natočení svého těla podél osy sever-jih, po ovlivnění experimentálních podmínek přidáním tyčového magnetu se tento alignment vytratil.

Seznam použité literatury

1. ABLE, Kenneth P. Magnetic orientation and magnetoreception in birds. *Progress in Neurobiology* [online]. 1994, **42**(4), 449-473 [cit. 2020-02-10]. DOI: 10.1016/0301-0082(94)90047-7. ISSN 03010082. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0301008294900477>
2. BATSCHELET, E. Recent statistical methods for orientation data. In: *Animal Orientation and Navigation*. NASA Symposium 1970, edited by S. R. Galler. Washington, DC: Government Printing Office, 1972, p 61-91. 3
3. BEASON R. Mechanisms in Magnetic Orientation in Birds. *Integrative and comparative biology*. 2005, r. 45, č. 3, s. 565 - 573. ISSN 1557-7023.
4. ČERVENÝ, Jaroslav, Sabine BEGALL, Petr KOUBEK, Petra NOVÁKOVÁ a Hynek BURDA. Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biology Letters* [online]. 2010, **7**(3), 355-357 [cit. 2020-02-05]. DOI: 10.1098/rsbl.2010.1145. ISSN 1744-9561. Dostupné z: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbl.2010.1145>
5. DUMBERRY, Mathieu a Christopher C. FINLAY. Eastward and westward drift of the Earth's magnetic field for the last three millennia. *Earth and Planetary Science Letters* [online]. 2007, **254**(1-2), 146-157 [cit. 2019-10-19]. ISSN 0012-821X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X06008442>
6. GLASSMEIER, Karl-Heinz, H. Chr SOFFEL a Jörg F. W. NEGENDANK. *Geomagnetic field variations*. Berlin: Springer, c2009. Advances in geophysical and environmental mechanics and mathematics. ISBN 3540769382.
7. HALENKA, J. & JANÁČKOVÁ, A. *Stud Geophys Geod* (1984) 28: 294. <https://doi.org/10.1007/BF01589610>

8. HART, Vlastimil, Erich MALKEMPER, Tomáš KUŠTA, et al. Directional compass preference for landing in water birds. *Frontiers in Zoology* [online]. 2013, **10**(1) [cit. 2020-02-09]. DOI: 10.1186/1742-9994-10-38. ISSN 1742-9994. Dostupné z: <http://frontiersinzoology.biomedcentral.com/articles/10.1186/1742-9994-10-38>
9. JANDACKA, Petr, Hynek BURDA a Jaromir PISTORA. Magnetically induced behaviour of ferritin corpuscles in avian ears: can cuticulosomes function as magnetosomes? *Journal of The Royal Society Interface* [online]. 2015, **12**(102) [cit. 2020-02-01]. DOI: 10.1098/rsif.2014.1087. ISSN 1742-5689. Dostupné z: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2014.1087>
10. KEARY, Nina, Tim RUPLOH, Joe VOSS, Peter THALAU, Roswitha WILTSCHKO, Wolfgang WILTSCHKO a Hans-Joachim BISCHOF. Oscillating magnetic field disrupts magnetic orientation in Zebra finches, *Taeniopygia guttata*. *Frontiers in Zoology* [online]. 2009, **6**(1) [cit. 2020-01-29]. DOI: 10.1186/1742-9994-6-25. ISSN 1742-9994. Dostupné z: <http://frontiersinzoology.biomedcentral.com/articles/10.1186/1742-9994-6-25>
11. KRYLOV, V. V., Yu. G. IZYUMOV, E. I. IZVEKOV a V. A. NEPOMNYASHCHIKH. Magnetic fields and fish behavior. *Biology Bulletin Reviews* [online]. 2014, **4**(3), 222-231 [cit. 2020-02-01]. DOI: 10.1134/S2079086414030049. ISSN 2079-0864. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1134/S2079086414030049>
12. LANDLER, Lukas, Graeme D. RUXTON a E. Pascal MALKEMPER. Circular data in biology: advice for effectively implementing statistical procedures. *Behavioral Ecology and Sociobiology* [online]. 2018, **72**(8) [cit. 2020-02-05]. DOI: 10.1007/s00265-018-2538-y. ISSN 0340-5443. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00265-018-2538-y>

13. LOHMANN K; N PENTCHEFF, G NEVITT; G STETTEN, R ZIMMER-FAUST, H JARRARD, L BOLES. Magnetic orientation of spiny lobsters in the ocean: experiments with undersea coil systems. *Journal of Experimental Biology*. 1995, 198: 2041-2048; ISSN 1477-9145.
14. MCPHERRON, Robert L. Geomagnetic field. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, 2019 [cit. 2019-10-26].
Dostupné
z: <https://www.britannica.com/science/geomagnetic-field>
15. NĚMEC P; VÁCHA M. Mechanizmy magnetorecepce: Jak živočichové vnímají magnetické pole Země. *Vesmír*. 2007, r. 86, č. 5, s. 284 - 289. ISSN 0042-4544.
16. NOVÁKOVÁ, Petra, Diana KOŘANOVÁ, Sabine BEGALL, et al. Direction indicator and magnetic compass-aided tracking of the sun by flamingos? *Folia Zoologica* [online]. 2017, **66**(2), 79-86 [cit. 2020-02-15].
DOI: 10.25225/fozo.v66.i2.a2.2017. ISSN 0139-7893. Dostupné z:
<http://www.bioone.org/doi/10.25225/fozo.v66.i2.a2.2017>
17. RITZ, Thorsten, David H DOMMER a John B PHILLIPS. Shedding Light on Vertebrate Magnetoreception. *Neuron* [online]. 2002, **34**(4), 503-506 [cit. 2020-01-29]. DOI: 10.1016/S0896-6273(02)00707-9. ISSN 08966273.
Dostupné
z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896627302007079>
18. SEDLÁK, Bedřich a Ivan ŠTOLL. *Elektřina a magnetismus*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1004-1.
19. SUCKLING, Eustace E. a Frank Neville H. ROBINSON. Magnetism. *Encyclopædia Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, 2019 [cit. 2019-11-07]. Dostupné
z: <https://www.britannica.com/science/magnetism>
20. VÁCHA M; NĚMEC P. Orientace v geomagnetickém poli: Kompas a mapa. *Vesmír*. 2007, ročník 86, číslo 4, s. 224 - 228. ISSN 0042-4544.

21. VÁCHA, Martin, PŮŽOVÁ, Tereza, a Markéta KVÍČALOVÁ. American cockroaches prefer four cardinal geomagnetic positions at rest. *Behaviour* [online]. 2010, **147**(4), 425-440 [cit. 2020-02-01]. DOI: 10.1163/000579509X12580965484148. ISSN 0005-7959. Dostupné z: https://brill.com/view/journals/beh/147/4/article-p425_1.xml
22. VÁLKOVÁ, T. a M. VÁCHA. How do honeybees use their magnetic compass? Can they see the North? *Bulletin of Entomological Research* [online]. 2012, **102**(4), 461-467 [cit. 2020-02-01]. DOI: 10.1017/S0007485311000824. ISSN 0007-4853. Dostupné z: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0007485311000824/type/journal_article
23. VANDERSTRAETEN, Jacques, Philippe GAILLY a E. Pascal MALKEMPER. Low-Light Dependence of the Magnetic Field Effect on Cryptochromes: Possible Relevance to Plant Ecology. *Frontiers in Plant Science* [online]. 2018, **9** [cit. 2020-02-01]. DOI: 10.3389/fpls.2018.00121. ISSN 1664-462X. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2018.00121/full>
24. WEGNER, R. E., S. BEGALL a H. BURDA. Magnetic compass in the cornea: local anaesthesia impairs orientation in a mammal. *Journal of Experimental Biology* [online]. 2006, **209**(23), 4747-4750 [cit. 2020-02-02]. DOI: 10.1242/jeb.02573. ISSN 0022-0949. Dostupné z: <http://jeb.biologists.org/cgi/doi/10.1242/jeb.02573>
25. WILTSCHKO R. Magnetic Orientation in Animals. 1. vydání. Springer, 1995. 297 s. ISBN-13: 978-3-642-79751-4.
26. WILTSCHKO W. The mechanism of the avian magnetic compass. *Procedia Chemistry* [online]. 2011, r. 3, č. 1, s. 276 - 284. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661961100074X>. ISSN 1876-6196.

-
27. WILTSCHKO, W. a R. WILTSCHKO. The effect of yellow and blue light on magnetic compass orientation in European robins, *Erithacus rubecula*. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* [online]. 1999, **184**(3), 295-299 [cit. 2020-02-01]. DOI: 10.1007/s003590050327. ISSN 0340-7594. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s003590050327>
28. WILTSCHKO, Wolfgang a Roswitha WILTSCHKO. Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology A* [online]. 2005, **191**(8), 675-693 [cit. 2020-02-10]. DOI: 10.1007/s00359-005-0627-7. ISSN 0340-7594. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00359-005-0627-7>
29. ZICHA O. BioLib. [online]. 2009, 2020 [cit. 2020-02-10] Dostupné z: <http://www.biolib.cz>