

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



**Magnetorecepce želv v kontextu lokální prostorové orientace**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Autor:** Bc. Jan Janík

**Obor:** Lesní inženýrství

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

Praha 2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Janík

Lesní inženýrství

Název práce

**Magnetorecepce želv v kontextu lokální prostorové orientace**

Název anglicky

**Magnetoreception of turtles in the context of local spatial orientation**

---

### Cíle práce

Uceleně, formou rešerše, shrnout výsledky publikovaných studií se zaměřením na nižší obratlovce. V experimentální části porovnat vliv přirozeného magnetického pole na orientaci želv a vliv magnetického pole ovlivněného specifickými radiofrekvencemi v laboratorních podmínkách. Získaná data statisticky vyhodnotit.

### Metodika

Z dostupné literatury bude vypracována podrobná literární rešerše o magnetorepci živočichů se zaměřením na nižší obratlovce. Praktická část práce bude věnována experimentu, ve kterém bude sledována magnetická orientace želv v podmínkách přirozeného magnetického pole i magnetického pole ovlivněného specifickými radiofrekvencemi prostřednictvím magnetické cívky. Testováno bude minimálně 10 jedinců želvy nádherné (*Trachemys scripta elegans*). 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 diplomové práce bude předložen ke kontrole vedoucímu práce nejpozději do 28. února 2018.

**Doporučený rozsah práce**

cca 50 stran textu

**Klíčová slova**

magnetismus, magnetická orientace, *Trachemys scripta elegans*

---

**Doporučené zdroje informací**

- 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. 2016 Magnetic alignment in warthogs *Phacochoerus africanus* and wild boars *Sus scrofa*. *Mammal Rev.* 47(1), doi:10.1111/mam.12077.
- 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.
- Landler, L., Painter, M.S., Youmans, P.W., Hopkins, W.A. & Phillips, J.B. 2015 Spontaneous magnetic alignment by yearling snapping turtles: rapid association of radio frequency dependent pattern of magnetic input with novel surroundings. *PLOS ONE* 10(5):e0124728.doi:10.1371.
- Lohmann, K.J. & Lohmann, C.M.F. 1994 Detection of magnetic inclination angle by sea turtles: a possible mechanism for determining latitude. *J. exp. Biol.* 194, 23-32.
- Malkemper, E.P., Eder, S.H.K., Begall, S., Phillips, J.B., Winklhofer, M., Hart, V. & Burda, H. 2016 Magnetoreception in the wood mouse (*Apodemus sylvaticus*): influence of weak frequency-modulated radio frequency fields. *Sci. Rep.* 4, DOI:10.1038/srep09917.
- 

**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 5. 2. 2018

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 11. 04. 2018

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Magnetorecepce želv v kontextu lokální prostorové orientace** vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petry Novákové, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové 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 19. 4. 2018

Jan Janík

Děkuji své vedoucí diplomové práce, Ing. Petře Novákové, Ph.D., za její odborné vedení a rady, dále Tomášovi Holmanovi, Haně a Evě Koubkové za podporu a vše ostatní.

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce bylo prozkoumat vliv magnetického pole Země na orientaci želvy nádherné (*Trachemys scripta elegans*) a želvy ozdobné (*Chrysemys picta*).

Současně práce pojednává o obecném souhrnu na téma magnetorecepce, vlivu geomagnetického pole Země a jeho případného využívání různými druhy živočišné říše.

Dále jsou zde popsány potenciální mechanismy magnetorecepce a ovlivnění magnetického pole Země. Podává tak komplexní a stručný přehled o této problematice.

Data byla nasbívána v letech 2013 až 2014 ve skleníku na půdě České zemědělské univerzity v Praze (CZU). Jednalo se o měření v suchozemském i vodním prostředí bez ovlivnění a ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF). Statistickým vyhodnocením 560 pozorování získaných na suchu bez ovlivnění byl zjištěn výsledný průměrný vektor  $14,322^\circ$  a ve vodě vyhodnocením 562 pozorování byl průměrný vektor  $11,137^\circ$ . Preference bez ovlivnění byla v obou případech severojižního směru. Statistickým vyhodnocením 520 pozorování získaných na suchu s ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF) byl zjištěn průměrný vektor  $329,252^\circ$  a ve vodě vyhodnocením 527 dat byl průměrný vektor  $249,955^\circ$ . Při ovlivnění cívkou byla ve vodě preference želv ve směru západ - východ, ale na suchu v severozápadním směru.

**Klíčová slova:** magnetorecepce, orientace, *Trachemys scripta elegans*, *Chrysemys picta*, geomagnetismus

## **Abstract**

Objective of this thesis was to investigate influence of magnetic field of the earth on the orientation of red-eared slider turtle (*Trachemys scripta elegans*) and painted turtle (*Chrysemys picta*).

At the same time this thesis deals with a general summary of magnetoreception, influence of the earth's geomagnetic field and its possible use by various species of animal kingdom.

Potential mechanisms of magnetoreception and influence of the earth's magnetic field are described. This thesis provides comprehensive and brief overview of this issue.

Data was collected during years 2013 and 2014 in a greenhouse of Czech University of Agriculture in Prague (CZU). These were measurements in terrestrial and aquatic environments without affecting and influencing the Helmholtz coil (CMF). By statistical evaluation of 560 observations obtained on drought without affecting, resulting average vector was found to be  $14.322^\circ$ , and in water, by evaluating 562 observations, the mean vector was  $11.137^\circ$ . Preference without influence was in both cases north-south orientation. By statistical evaluation of 520 observations obtained on drought with Helmholtz coil influence (CMF), the average vector was found to be  $329.252^\circ$ , and in water, by an evaluation of 527 data, the mean vector was  $249.955^\circ$ . When influenced with a coil the preference of turtles was to the west-east direction, but it was to the northwest when out of the water.

**Key words:** magnetoreception, orientation, *Trachemys scripta elegans*, *Chrysemys picta*, geomagnetism

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Cíle diplomové práce.....	10
3	Magnetické pole Země .....	11
4	Magnetorecepce.....	14
5	Orientace v magnetickém poli.....	16
5.1	Poziční chování .....	16
5.2	Magnetický kompas .....	18
5.2.1	Polaritní kompas .....	19
5.2.2	Inklinační kompas .....	19
5.3	Magnetická mapa .....	20
6	Možné mechanismy magnetorecepce .....	22
6.1	Elektromagnetická indukce .....	22
6.2	Chemická magnetorecepce neboli „teorie radikálových párů“ .....	24
6.3	Magnetitová teorie .....	26
7	Studované druhy v oblasti vlivu magnetického pole Země na živočichy ....	29
7.1	Hmyz .....	29
7.2	Ryby .....	30
7.3	Obojživelníci .....	31
7.4	Plazi.....	31
7.5	Ptáci.....	32
7.6	Savci.....	33
8	Plazi (REPTILIA) - obecně .....	34
8.1	Taxonomie želv .....	34
8.2	Želvy .....	36
8.2.1	Geomagnetismus u želv .....	36
8.3	ŽELVA NÁDHERNÁ .....	38
8.3.1	Charakteristika a popis .....	38
8.3.2	Rozšíření a prostředí .....	39
8.3.3	Potrava .....	39
8.3.4	Podmínky chovu .....	40



8.3.5	Teplota .....	40
8.3.6	Rozmnožování a odchov .....	40
8.3.7	Vejce a jejich inkubace .....	41
8.4	ŽELVA OZDOBNÁ .....	42
8.4.1	Charakteristika a popis .....	42
8.4.2	Rozšíření a prostředí .....	43
8.4.3	Potrava .....	43
8.4.4	Podmínky chovu .....	43
8.4.5	Teplota .....	44
8.4.6	Rozmnožování a odchov .....	44
8.4.7	Vejce a jejich inkubace .....	44
9	Metodika .....	45
9.1	Sběr dat .....	45
9.2	Rozbor fotografií .....	46
9.3	Statistická analýza .....	48
10	Výsledky .....	49
11	Diskuze .....	53
12	Závěr .....	54
13	Použitá literatura .....	55

# 1 Úvod

Téma geomagnetismu patří mezi velké kapitoly, které mají bezprostřední vliv na většinu živočichů, a dokonce i rostlin, které ho vnímají a využívají pro lokalizaci a orientaci v prostoru. Zejména proto, že je svou intenzitou, polaritou a deklinací místně specifické (Johnsen, Lohmann; 2005). Mnoho živočichů, rostlin nebo bakterií dokáže vnímat magnetické pole Země a využívat ho při nejrůznějších fyziologických procesech (Půžová, 2007). Je tak součástí životního prostředí a přímou ochranou před kosmickým zářením od Slunce, které podmiňuje život na Zemi a také ho silně ovlivňuje (Omler, Pintér; 1975).

Magnetorecepce je schopnost živých organismů vnímat magnetické pole Země. V živočišné říši je velmi rozšířená (Dröscher, 1970; Cloudsley-Thompson, 1988; Johnsen, Lohmann; 2005) a její vliv byl u živočichů potvrzen pravidelnými sledováními a behaviorálními testy. Na základě těchto testů a jejich vyhodnocení byly vytvořeny možné hypotézy na téma osvětlující fyziologické mechanismy magnetorepčního smyslu (Johnsen, Lohmann; 2005). Přesto, že je magnetorecepce mezi živočichy značně rozšířena a potvrzena, není dodnes uváděna jako jeden ze základních smyslů.

Magnetobiologie je neustále se rozvíjející vědní obor zasahující do mnoha jiných oborů a téma magnetorecepce v sobě spojuje široké spektrum oborů od biologie, etologie, biofyziky, biochemie, fyziologie, neurologie, geofyziky až po mineralogii aj. (Winklhofer, 2010).

Intenzivním výzkumem této problematiky se v posledních přibližně 20 letech podařilo shromáždit velké množství materiálů jak o samotné magnetorepceci, tak o mechanismech na jejichž základě by mohla fungovat. Největší část těchto studií je věnována ptákům a jejich migraci na velké vzdálenosti, včelám, mořských živočichům, obojživelníkům a hmyzu atd. Struktury, díky kterým by mohla magnetorecepce fungovat, jsou značně významné pro medicínu a lékařství.

## 2 Cíle diplomové práce

- shrnutí dosavadních poznatků o vlivu magnetického pole Země na různé skupiny živočichů
- shrnutí poznatků vlivu magnetického pole na různé druhy želv
- ověření vlivu magnetického pole na prostorovou orientaci želv bez ovlivnění cívkou zvláště v suchozemském i vodním prostředí
- ověření vlivu magnetického pole na prostorovou orientaci želv s ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF) zvláště v suchozemském i vodním prostředí

### 3 Magnetické pole Země

Magnetosféra je neodmyslitelnou součástí životního prostředí jako např. teplota, tlak, vítr, světlo apod. a zcela zásadně chrání Zemi před kosmickým zářením od Slunce, které podmiňuje život na Zemi a také ho silně ovlivňuje (Omler, Pintér; 1975). Vznikla jednoduše řečeno tak, že polotekuté zemské jádro se otáčelo rychleji než pevná část zemské kůry. Díky tomu má dipólový charakter a Země tak má povahu tyčového magnetu s dvěma póly (severním/jižním). Jejich poloha však není stejná jako je samotná osa Země, ale má odklon přibližně  $11,5^\circ$ , který se nazývá deklinace. Skutečný tvar magnetosféry však nekopíruje tvar Země, protože je formován slunečním větrem dopadajícím na povrch. Ve směru ke Slunci je pole zplošťováno, zatímco ve směru od Slunce je rozvolněné na mnohonásobek vzdálenosti (Brázdil a kol., 1988).

Magnetické pole Země vzniká 2 900 km pod povrchem v zemském jádře interakcí mezi tekutým elektricky vodivým vnějším a pevným vnitřním jádrem (Janáčková, 1995; Gould, 2010). Vzniká tak geodynamo, které pohání magnetické pole Země (Brázdil a kol.; 1988; Ladbury; 1996; Deuschlander, Muheim; 2010; Gould, 2010) a je tvořeno především prvky, jako je železo a nikl. V něm se pohybují částice, které jsou elektricky nabitě a tvoří tak magnetické pole Země. Hodnota této síly se udává v jednotkách nanotesla (nT). Z jižního magnetického pólu Země vedou magnetické siločáry směrem do severního. Jejich trasa vede rovnoběžně okolo Země (Chadima, 2003).

Jak uvádějí Wiltschko a kol. (2011), magnetická intenzita nabývá hodnoty od 65  $\mu\text{T}$  (microtesla) poblíž pólů až po 30  $\mu\text{T}$  v blízkosti magnetického rovníku. Živočiškové, kteří dokáží využívat těchto informací, jsou schopni vnímat jednotlivé složky i celkovou intenzitu pole a díky těmto informacím se orientovat. Tato schopnost se nazývá magnetorecepce (Wiltschko, Wiltschko; 2006).

Magnetické póly však nejsou oproti těm geografickým stále kvůli jejich pohybu, který se s časem neustále mění a směřuje k severu. Dle posledních studií má pohyb magnetických pólů částečný odklon k západu. Rychlost tohoto pohybu není konstantní a jeho počáteční rychlost, která byla v začátku cca 10 km za rok, je nyní přibližně 40 km. Za posledních 100 let se tedy rychlost změnila přibližně o 1 100 km. S tímto trendem hrozí, že za přibližně 50 let se dostane Severní ledový oceán až na Sibiř. Zároveň se přirozeně mění i samotná intenzita magnetického pole, která díky klesající tendenci může v horizontu 1000 let klesnout až na nulu. V neposlední řadě dochází i

k přepólování. K tomuto jevu dochází v průměru jednou za 700 tis. let, a ačkoliv nevíme, jak dlouho taková změna trvá a jaké by měla následky, víme, že nebudou katastrofální. V minulosti došlo k těmto změnám již mnohokrát (Martínek, 2004).

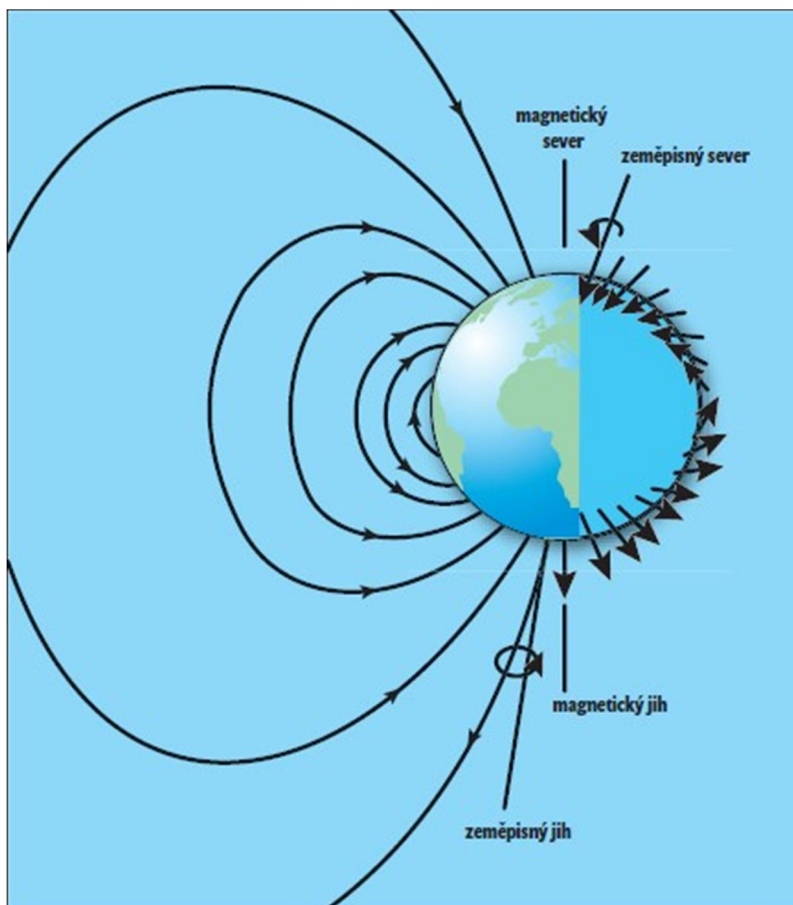
Geomagnetické pole můžeme také prostorově rozlišit na dvě části. První je část horizontální, která je polaritní a můžeme ji jednoduše přirovnat k magnetce u kompasu, jež zaujímá severojižní magnetický směr. Následuje vertikální část geomagnetismu, která zahrnuje inklinaci a intenzitu. Tyto složky pravděpodobně slouží živočichům také k jejich orientaci.

Magnetickou inklinací rozumíme úhel svírající vektor siločar geomagnetického pole a vodorovný zemský povrch. Její hodnoty se mění v závislosti na ose sever - jih. Inklinace má na jižním magnetickém pólu hodnotu  $-90^\circ$ , na rovníku  $0^\circ$ , dále pak severním  $+90^\circ$ . Z toho vyplývá, že inklinace neudává živočichům směr pouze k pólům, ale také k samotnému rovníku (Wiltschko, Wiltschko; 2005).

Následuje intenzita, jež je nejvyšší na magnetických pólech, kde dosahuje maxima 6 000 nT, a která klesá směrem k magnetickému rovníku na 3 000 nT, kde je nejslabší (Wiltschko, Wiltschko; 1996).

Každému místu na Zemi odpovídají specifické hodnoty jednotlivých prostorových magnetických veličin (deklinace, inklinace, intenzita). Místům, kde jsou stejné hodnoty těchto veličin, říkáme „isomagnetické linie“. Tyto linie, které se takto překrývají a mají stejnou intenzitu, nazýváme izodynamy, deklinace izogony a inklinace izokliny. Kombinací izodynam a izoklin vznikne na mapě souřadnicová síť, kterou mohou živočichové využívat k přesnému určení své geografické polohy na „magnetické mapě“ (Wiltschko, Wiltschko; 1995; Johnsen, Lohmann; 2005).

Tyto prostorové a časové složky mohou vytvářet i různé anomálie, které dosahují do jednoho procenta celkové intenzity magnetického pole, avšak behaviorální reakce živočichů na ně jsou až pozoruhodně citlivé (Able, 1994).



Obrázek č. 1: Obrázek č. 1: vyobrazuje Zemi jako magnetický dipól. Inklinace je maximální na magnetických pólech a na rovníku je nulová. Šípky znázorňují, že na severní polokouli je kladná a na jižní záporná (Vácha, Němec; 2007a).

## 4 Magnetorecepce

Magnetorepcepcí se definuje schopnost živočichů vnímat magnetické pole Země za účelem využívání k orientaci. S touto rozvinutou schopností orientace a navigace se setkáváme u celé řady živočichů, od bezobratlých až po velké savce. Díky evoluci jsme svědky celé řady změn, které měly zcela zásadní vliv na schopnost magnetorecepce, aniž by se vzájemně nějak ovlivňovaly, často však existujících nebo fungujících na podobných principech (Wiltschko, Wiltschko; 2006).

Byla objevena u řady vodních tvorů, jako jsou vodní měkkýši, korýši, či ryby a z jiných taxonomických skupin například u hmyzu, obojživelníků, mořských želv apod. V neposlední řadě byla velká pozornost zaměřena i na ptáky a savce. Člověk je o schopnost vnímání magnetického pole ochuzen, takže se při prvních výzkumech zdála teorie magnetorecepce nepravděpodobná (Votýpka, 2007).

První poznatky z této oblasti začaly v druhé polovině 19. století a v druhé polovině 20. století byly publikovány výsledky prvních experimentů potvrzující teorii vlivu geomagnetismu na živočichy a jejich podmíněné chování (Wiltschko, Wiltschko; 2006). V dnešní době je schopnost magnetorecepce jedním z nejkoumanějších témat smyslové fyziologie zvířat (Johnsen, Lohmann; 2008; Deutschlander, Muheim; 2010). Nejčastěji jsou tyto výzkumy spojeny se jménem manželů Wiltschkových z Frankfurtské univerzity a nejvíce informací přinesly jejich výzkumy v laboratorních podmínkách (Vácha, Němec; 2007a).

Biologická struktura, schopná transdukovat sílu nebo orientaci lokálního magnetického pole na nervový systém živočicha, se nazývá magnetoreceptor. Zjistit ale přesné umístění těchto receptorů u konkrétních živočichů je velmi obtížné. Magnetické pole totiž může procházet volně přes biologické tkáně. Kromě toho mohou být velmi malé a rozptýlené. Jejich umístění může být navíc kdekoliv na těle. Většina toho, co je známo o magnetorepcepci, bylo odvozeno z experimentů s chováním zvířat, teoretických úvah a z omezeného počtu elektrofyziologických a anatomických studií (Johnsen, Lohmann; 2005).

V dnešní době již s jistotou víme, že živočichové využívající tuto schopnost používají dva druhy navigační informace poskytované magnetickým polem. Jedná se o magnetický vektor, jenž poskytuje informace o směru a vychází z něj magnetický kompas, který využívají například hlodavci nebo langusty (Johnsen, Lohmann; 2005; Wiltschko, Wiltschko; 2006), a druhý je využívání inklinace (směru) a intenzity

magnetického pole jako systému určujícího pozici (magnetická mapa). Mezi tyto druhy patří například někteří ptáci, mořské želvy nebo mloci. Některé druhy živočichů umí využít oba typy navigační informace (Wiltschko, Wiltschko; 2006).



## 5 Orientace v magnetickém poli

### 5.1 Poziční chování

Poziční chování se projevuje přirozeným a spontánním postavením těla živočichů využívajících působení magnetického pole Země. Živočichové mají tendenci směřovat osu těla podél, či kolmo na magnetické siločáry, a to nejčastěji ze severu na jih. Poziční chování bylo prokázáno u celé řady živočichů, jako je hmyz, obojživelníci, ryby a savci apod. Lze je pozorovat jak ve stavu odpočinku, tak i při lovu nebo krmení (Begall a kol., 2012).

Zkoumání magnetorecepce bylo z počátku zaměřeno na migrující zvířata, dnes se však zabýváme i těmi, která nemigrují. Velice známým výzkumem bylo pozorování krav a jelenů na satelitních snímcích z aplikace Google Earth. Na těchto snímcích byla zaznamenána orientace os těl zvířat v době odpočinku. Výzkum byl prováděn na základě vyhodnocení získaných satelitních snímků, které byly pořízeny z různých míst různého období po celém světě. Bylo zjištěno, že většina zvířat se orientuje v ose sever - jih (Begall a kol., 2008). Následně tuto teorii však vylučují ve své studii Heřt a kol. (2011), kteří provedli obdobný výzkum bez jakéhokoliv podloženého výsledku, že by se zvířata směrově orientovala s nějakým záměrem a tvrdí, že uspořádání je zcela náhodné.

Jako reakce na článek Heřta a kol. (2011) vyšel ve stejném roce článek od Begalla a kol. (2011), jenž popisoval nevhodný výběr zvolených zvířat a nedostatečně kvalitní fotografie, které nebyly dostatečně průkazné při určování směru těla zvířete. Dost možná tak byly použity odlišné statistické metody, což později potvrdil i výzkum, který ještě přidal parametr velikosti stáda pro správnou orientaci zvířat k severu.

Výzkum Burdy a kol. (2009) ukázal, že pokud má magnetické pole (ELFMFs) extrémně nízkou frekvenci, která je vytvořena vysokým napětím o frekvenci 50/60 Hz, dojde k narušení směrové orientace zvířat. Výzkum byl zaměřen na dobytek a srnčí zvěř, kde bylo prokázáno, že pokud je takto narušen vliv geomagnetismu na zvířata, je jejich pozice těla zcela náhodná. Takovéto ovlivnění vysokým napětím bylo pozorováno až do vzdálenosti 150 metrů od zdroje elektrického vedení. Jiná studie zaměřená na soby říká, že elektrické vedení není dostatečně silný negativní podnět, který by změnil orientaci zvířat (Flydal a kol., 2009).

Vácha a kol. (2010) zjistili, že směřování os těl v klidových pozicích u švábů (*Periplaneta americana*) je směřováno nejen severojižním směrem, ale i směrem východ-západ. Stejný princip platí i u včel (Wiltschko, Wiltschko; 1995).

U afrických rypošů druhu *Cryptomys hottentotus*, kteří žijí v podzemí, bylo prokázáno, že jejich obydlí je z pravidla orientováno jihovýchodním směrem. Důkazem byl extrémní posun magnetického severu o 120° nebo 180°, který vyvolal odpovídající reakci hlodavců a následným přizpůsobením při stavbě těchto obydlí (Burda a kol., 1990). Experimenty se změnou magnetického pole prostřednictvím Hemholzovy cívky vedly u včel medonosných (*Apis mellifera*) k vychýlení směru pláství až o 40° (DeJong, 1982).

Nejlepším způsobem, jak dojít k „100% výsledku“ je založit výzkum pozičního chování v laboratorních podmínkách. To však není zcela jednoduché a je potřeba pozorování přizpůsobit k danému druhu zvířete. To znamená dodržet základní pravidla při pozorování, jako je pořizování snímků na rovině s odklonem do 5 % s minimální vzdáleností 2 km od moře a vzdálenost pozorovatele, aby nenarušil výsledky pozorování, musí být alespoň 25 metrů (případně 10 délek zkoumaného zvířete). Při pozorování se v dnešní době používají moderní technologie, jako jsou fotoaparáty, dalekohledy, letecké a družicové snímky, případně jsou využívány pobytové znaky, jako jsou zálehy nebo hrabánky (Burda a kol., 2009).

Poziční chování nemá v dnešní době ještě zcela vyjasněné mechanismy a biologický význam. Nicméně se předpokládá, že jeho význam může ovlivňovat zatím nespécifikované fyziologické procesy a nastolit postavení stálého magnetického směru, který by mohl v budoucnu poskytnout referenci pro prostorovou orientaci (Begall a kol., 2012).

## 5.2 Magnetický kompas

Geomagnetismus již po staletí pomáhá člověku při prostorové orientaci a určení směru. Dokážeme jej pevně určit a používat na souši i vodě, případně za světla i tmy (Vácha, Němec; 2007a). Zvířata využívají magnetické pole k orientaci prostřednictvím tzv. magnetického kompasu. V dnešní době již s jistotou víme, že je využíván řadou skupin bezobratlých živočichů např. měkkýši, členovci, či všech hlavních skupin obratlovců, které při migraci využívají magnetický kompas např. lososi, želvy a ptáci (Wiltschko, Wiltschko; 2006; Dommer a kol., 2008).

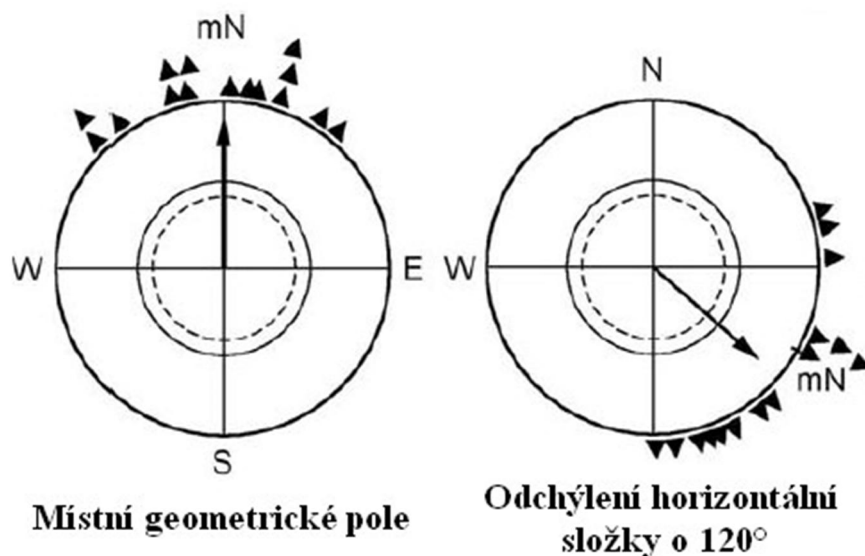
Známí touto schopností tzv. vnitřního kompasu pro orientaci jsou především ptáci. O nich se v tomto kontextu spekuluje již od 80. let 19. století. Poté byly zhruba od 60. let 20. století tyto hypotézy podloženy nezvratnými důkazy o jejich vnímání magnetického pole Země. První domněnky vedly k hypotéze, že se ptáci řídí pouze zrakem, ale ukázalo se, že se dokáží orientovat i v naprosté tmě. Následovala hypotéza založená na orientaci podle hvězd, která se také nepotvrdila z důvodu často nedostatečně jasné oblohy. Nezbylo než hledat vysvětlení na bázi vnitřního magnetického kompasu (Votýpka, 2007).

Magnetický kompas je živočichy využíván jak pro navádění ve vzduchu, zemi či ve vodě, tak také i např. při hnízdění a dalších aktivitách, jako je stavba obydlí u včel a termitů (Wiltschko, Wiltschko; 2006; Dommer a kol., 2008; Solov'ov, Greiner; 2009).

Magnetický kompas rozdělujeme na dvě skupiny podle funkční charakteristiky geomagnetismu, kterou živočichové využívají k určení polarity magnetického vektoru. Rozdělujeme jej na **polaritní** a **inklinační kompas**. Magnetický kompas využívají pro orientaci především měkkýši a členovci, včetně všech hlavních druhů obratlovců. Jedná se především o navigaci při migraci ptáků, želv, ryb, stavby obydlí u hmyzu apod. (Wiltschko, Wiltschko; 2006).

Magnetický kompas je schopnost dokázat přesně určit sever, východ, jih a západ. Mimo to dokáží živočichové díky magnetickému poli Země určit také libovolný kurz. Z toho vyplývá, že mohou určit i samotný azimut neboli odchylku magnetického severu od horizontálního směru (Wiltschko, Wiltschko; 2005).

Typickým příkladem využívání magnetického kompasu je reakce živočicha na záměrnou změnu magnetického severu a k tomu adekvátní reakce, v tomto případě změny orientace pohybu při migraci (Wiltschko, Wiltschko; 2006).



Obrázek č. 2: Orientační chování červenky při umělé změně magnetického severu. (Wiltschko, Wiltschko; 2005)

### 5.2.1 Polaritní kompas

Polaritní kompas funguje na stejném principu jako klasický technický kompas, který využíváme. Jedná se o schopnost rozpoznat polaritu magnetického vektoru, a tak i směr sever - jih. Polaritní druh kompasu využívají ve svém těle především měkkýši, korýši, hmyz, některé ryby a savci (Votýpka, 2007). Navigace funguje na principu azimutu a živočich se orientuje dle odchylky magnetického severu od pohybu svého těla. V takovémto případě se nevyužívá inklinace ani intenzita magnetického pole Země a jejich změny nemají vliv na chování živočicha (Solov'ov, Greiner; 2009; Deutschlander, Muheim; 2010).

### 5.2.2 Inklinanční kompas

Inklinanční kompas funguje na principu, díky kterému určí živočich směr k pólu a rovníku ze sklonu magnetických čar při respektování směru „nahoru“ a „dolů“ a místo využití polarity využije znaménko inklinace. Tento druh navigace využívají živočichové migrující přes magnetický rovník. Zde se živočichové setkávají s problémem, protože inklinace na magnetickém rovníku je nulová a inklinanční kompas přestává fungovat. Proto obrátí svůj směr migrace, aby mohli i následovně pokračovat stejným geografickým směrem (Lohmann, Lohmann; 1994).

Rozlišujeme mezi směrem k magnetickým pólům, kdy siločáry klesají, zatímco úhel inklinace roste a směrem k magnetickému rovníku, kam siločáry stoupají, ale úhel inklinace klesá k nule (Solov'ov, Greiner; 2009; Deutschlander, Muheim; 2010).

Pro zjištění, který konkrétní živočich využívá inklinální kompas, je možné využít převrácení vertikální složky magnetického pole, díky kterému se změní směr jeho pohybu (Wiltschko, Wiltschko; 2006; Vácha a kol., 2008). Například při experimentálním obrácení horizontální složky pole o 180° reagovali ptáci letem na druhou stranu. Při změně inklinace a zachování horizontální složky reagovali stejným způsobem. Změna by však na obyčejném polaritním kompasu nebyla patrná.

Johnsen, Lohmann (2005) uvádějí, že inklinální kompas byl v minulosti zjištěn u ptáků a mořských želv. Existují i některé druhy čolků využívající obou druhů kompasů, přičemž každý z nich je využíván při jiném behaviorálním úkonu. V roce 2008 Vácha a kol., doložili používání inklinálního kompasu u potměníka moučného (*Tenebrio molitor*). U řady druhů však zůstává způsob rozlišení polarity utajen (Vácha, Němec; 2007a).

### 5.3 Magnetická mapa

Magnetický kompas slouží především k určení směru. Pro určení přesné polohy ale samotný kompas nestačí. Z tohoto důvodu živočichové navíc používají ještě tzv. magnetickou mapu, kterou využívají k nalezení své finální destinace (Boles a kol., 2003).

Lidé k těmto účelům využívají GPS systém, ale živočichové jsou schopni určit svoji přesnou pozici za použití magnetického pole Země (Johnsen, Lohmann; 2005). Konkrétně se jedná o využití úhlu inklinace a celkové intenzity pole i její vertikální a horizontální složky (Lohmann a kol., 2007). Díky tomu jsou zvířata schopna rozpoznat růst mezi magnetickými póly a magnetickým rovníkem a určit svoji přesnou lokaci (Johnsen, Lohmann; 2005; Wiltschko, Wiltschko; 2006; Deutschlander, Muheim; 2010).

Některé druhy využívají i deklinaci, kterou zjišťují pomocí hvězd (Lohmann a kol., 2007). Využívání magnetické mapy je z části vrozená a z části získaná schopnost, které mladý jedinec dosáhne díky zkušenosti z pohybu kolem svého domova (Johnsen, Lohmann; 2005). Především u holuba domácího byla v začátcích výzkumu vytvořena

řada pokusů. Pokud byl holub vypuštěn v místě s výskytem magnetické anomálie, byl dezorientován podle růstu intenzity (Wiltschko, Wiltschko; 2005).

Doložený důkaz ohledně magnetické mapy čerpající ze zkušeností živočicha byl zmapován až u mořských želv, které migrují mezi Evropou a Amerikou. Při dosažení určitého bodu v oceánu změnila želva směr své plavby, jako by přijmula nové souřadnice. Totožné chování dokázal i experiment v kruhovém akváriu s uměle vytvořeným magnetickým polem, inklinací a body obratu. Díky tomu se podařilo dokázat, že je toto chování vrozené. Stejným způsobem se chovaly i želvy z umělého odchovu (Vácha, Němec, 2007a). Bylo také zjištěno, že mořské želvy umí vytvářet magnetické mapy, ale ne vždy je využívají. Krom toho se navíc v různých stádiích života liší používání těchto map (Lohmann a kol., 2007; Deutschlander, Muheim; 2010).

Mezi druhy využívající princip magnetických map patří například mořské želvy (kareta obecná *Caretta caretta*, kareta obrovská *Chelonia mydas*), ptáci (lejsek černohlavý *Ficedula hypoleuca*, slavík tmavý *Luscinia luscinia*), aligátor severoamerický *Alligator mississippiensis* (Deutschlander, Muheim; 2010), langusty (langusta karibská *Panulirus argus*), čolek zelenavý *Notophthalmus viridescens* atd. (Lohmann kol., 2007).

## 6 Možné mechanismy magnetorecepce

Zkoumání tohoto tématu je v praxi pro člověka značně komplikované. Proto během posledních 30 let byla navržena řada mechanismů, které se snažily princip magnetorecepce nasimulovat tak, aby byla plně funkční.

Jeden z hlavních problémů v této problematice u člověka je absence smyslu či orgánu pro vnímání geomagnetismu. Proto se v lidském těle nelze ani nijak inspirovat (Nordmann a kol., 2017).

Dalším problémem je živočišná tkáň, která je pro magnetické pole prostupná. Smyslové orgány vnímající magnetické pole se proto mohou nacházet nejen na povrchu těla (jak tomu bývá u jiných receptorů), ale i uvnitř. Magnetorecepce tak může být uskutečňována prostřednictvím mikroskopických, či dokonce i nitrobuněčných struktur, které mohou být roztroušeny po celém těle, aniž by na první pohled měly vztah k magnetoreceptci (Johnsen, Lohmann; 2008).

Magnetické pole je velice slabé, takže živočichové potřebují pro jeho vnímání velmi citlivé senzory, zesilovače či izolaci od tepelného pohybu atomů těla. Kvůli tomu se velice omezují možnosti, a tak vznikly na těchto principech tři hlavní teorie, pro funkční vnímání magnetického pole živočichy: **elektromagnetická indukce**, **chemická magnetorecepce (teorie radikálových páru)** a procesy založené na **biogenním magnetitu** (Johnsen, Lohmann; 2005).

### 6.1 Elektromagnetická indukce

V první řadě je třeba definovat samotný pojem „elektromagnetická indukce“ z oblasti fyziky. Jedná se o jev, ke kterému dochází v neustále se měnícím magnetickém poli a kde se pohybuje těleso z vodivého materiálu. Magnetické pole v cívice vytváří indukované elektrické pole, které charakterizuje indukované elektromotorické napětí. Když se vodič pohybuje jiným způsobem než paralelně s indukčními čarami, začne je protínat a náboje v něm migrují tak, že se jeden konec nabije kladně a druhý záporně. Mezi vodiči tak vzniká napětí. Pokud jsou ale oba konce propojeny vodivým médiem, vznikne elektrický obvod, kterým protéká proud (Vácha, Němec; 2007b).

Nazýváme jej „Lorentzova síla“ a je roven součinu síly magnetického pole, náboje a rychlosti částic a sinusu úhlu mezi vektory pohybu a pole (Johnsen, Lohmann; 2005).

Princip elektromagnetické indukce je možný převážně u živočichů žijících ve vodě, protože vzduch není dostatečně vodivým prostředím (Eder a kol., 2012). Proto se elektromagnetická indukce nejvíce zaznamenala u mořských živočichů, jako jsou chrupavčité ryby např. žraloci a rejnoci. Ryby mají dle této teorie dlouhé kanálky naplněné gelem, které v začátku mají kožní póry a v závěru jsou umístěny ve vnitřní části těla daného živočicha. Jejich stěny jsou velice odolné a mají charakter elektrického vodiče. Jsou zakončeny Lorenziniho ampulemi nazývanými elektroreceptory, které jsou velice senzitivní na změnu elektrického napětí (Ritz a kol., 2000).

Johnsen a Lohmann ve své studii z roku 2005 uvádějí nejednoznačnost tohoto jednoduchého modelu a také faktory pro rozšíření pohledu na danou problematiku. Ze směru sever - jih je napětí nulové a ze směru východ - západ je maximální, ať už v kladné či záporné hodnotě. Díky tomu vzniknou dva nerozlišitelné směry, a to severovýchod a jihovýchod.

Dle Paulina (1995) se nejedná o zásadní problém, protože jej lze vyřešit rytmickým pohybem hlavy při plavání. Elektromagnetickou indukci nemohou vyžítvat k orientaci všechny druhy mořských živočichů. Lohmann a kol. (2012) považují za velmi nepravděpodobné využití tohoto principu například u želv, protože u nich nebyl pozorován. V neposlední řadě se nesmí opomenout i ovlivnění proměnlivými mořskými proudy.

Jelikož je bráno v úvahu, že slaná voda je vodivé medium, vztahuje se teorie elektromagnetické indukce pouze na mořské živočichy. Elektromagnetická indukce byla ale také potvrzena u obojživelníků či ptakořitných savců. To může být teoretický důkaz, že je tento princip základem kompasového smyslu i u těchto tvorů (Vácha, Němec; 2007b).

Závěrem, ale stále není přímý důkaz o využívání principu elektromagnetické indukce u živočichů pro detekci magnetického pole Země. Chemická magnetorecepce a magnetitová teorie je více obecná a mohli by ji využívat suchozemští a sladkovodní živočichové. Všechny principy jsou podmíněné spojením s dalšími receptními smysly.

Z posledních výzkumů tedy vyplývá, že pravděpodobně princip magnetorecepce funguje převážně na podstatě magnetitové teorie či chemické magnetorecepce (Lohmann, 2010).



## 6.2 Chemická magnetorecepce neboli „teorie radikálových párů“

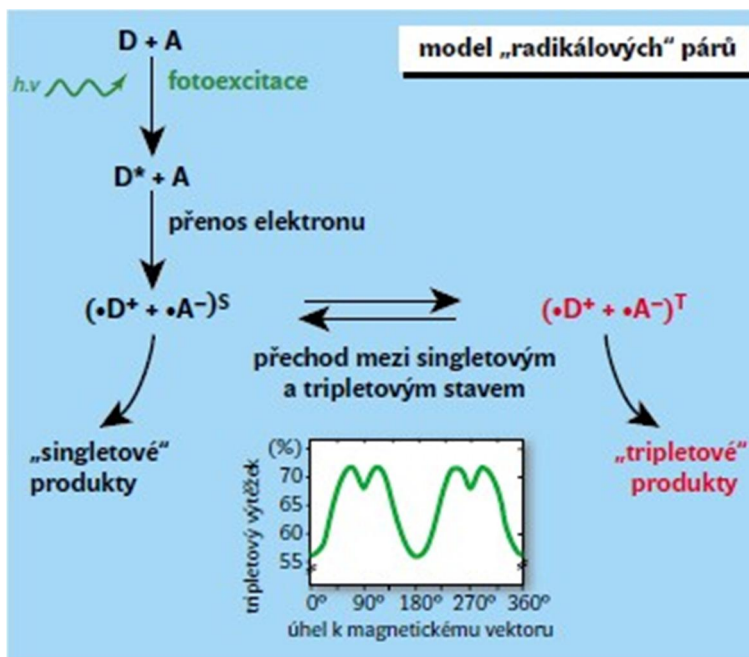
Chemická magnetorecepce je též nazývána jako teorie radikálových párů, s kterou přišel první Schulten a Windemuth již v roce 1986. V roce 2000 ji upřesnil Ritz a kolektiv (Wiltschko a kol., 2011) a je založena na volných radikálech. Základním principem této magnetorecepce je orientace založená na biochemických reakcích v organismu, které jsou ovlivněné geomagnetismem. Představa o chemické reakci, která je ovlivněna slabým magnetickým polem k přenosu elektronu z jednoho orbitu do druhého, se může zdát nemožná. Za fyziologických teplot je přibližně o 11 řádů nižší než kinetická energie biomolekul. Lze předpokládat, že vliv tak slabého pole vyruší pohyb molekul (Vácha, Němec; 2007b).

Z teoretického hlediska se jedná o přenos nespárovaných elektronů na molekulách, které společně tvoří tzv. radikálový pár. Tyto páry jsou velice reaktivní a většinou jsou základem dalších chemických dějů. Volné elektrony si udrží svoji původní opačnou rotaci (singletový stav), či se překlopí do souhlasné rotace (tripletový stav). Následný vliv magnetického pole Země pak ovlivní, který stav převládne (Johnsen, Lohmann; 2005).

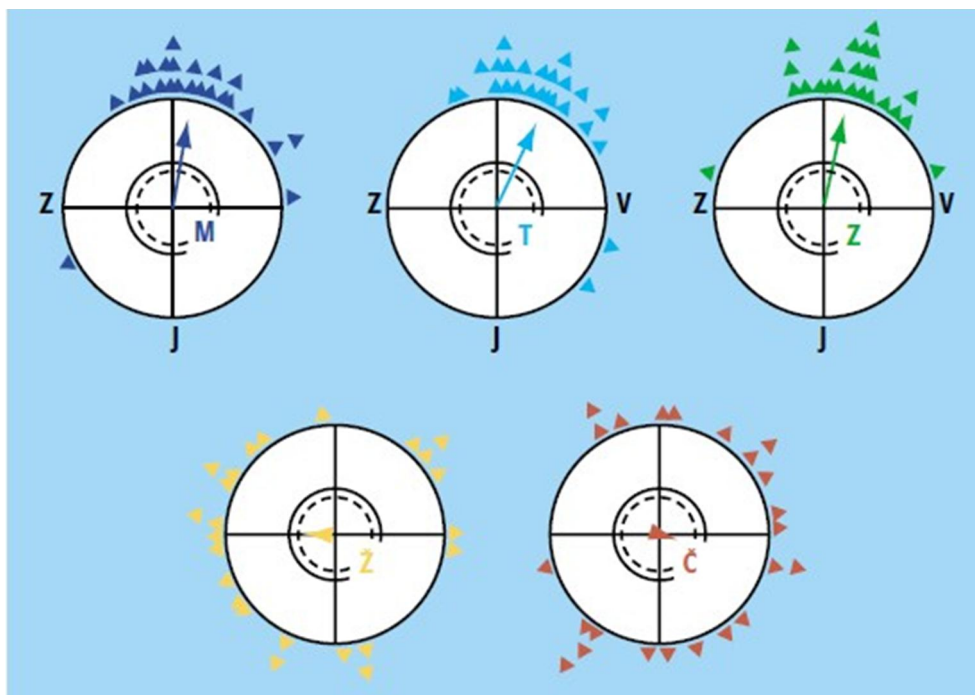
Z praktického pohledu je třeba najít propojení centrální nervové soustavy s magnetoreceptory, které na první pohled nabízí spojení zrakové transdukce a radikálových párů. Dle výzkumu je prokázána závislost magnetického kompasu na světelném podnětu a radikálové páry vznikají fotoexcitací fotoreceptorů na sítnici oka (Ritz a kol., 2000).

Ve výzkumu Stapput a kol. (2010) byly využity speciální brýle, které byly aplikovány ptákům s matnou a čirou folií. Bylo zjištěno, že pro svoji orientaci využívají mechanismus radikálových párů přes pravé oko. Dle výzkumu Wiltschko a kol. (2011), který byl založen na testech s různou vlnovou délkou světla, bylo prokázáno, že ptáci se nejlépe orientují v modré, zelené a tyrkysové barvě.

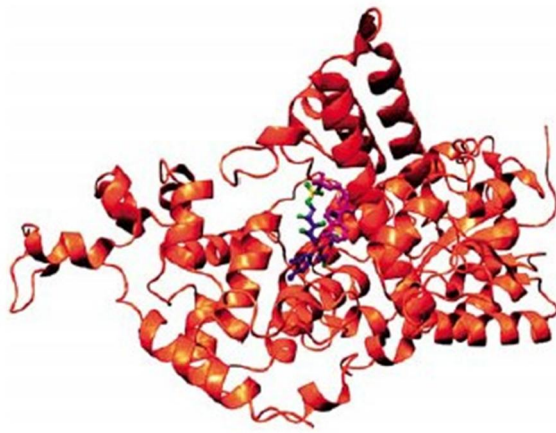
Chemická magnetorecepce na rozdíl od jednodoménového magnetitu nebo u elektromagnetické indukce neumí detekovat polaritu magnetického pole Země (Johnsen, Lohmann; 2005). Mořské želvy mají dobrou orientaci ve tmě, i když používají inkliniční kompas. Z toho vyplývá, že ptáci a obojživelníci mají inkliniční kompas založený na mechanismu radikálových párů, který ke své funkci vyžaduje světlo, zatímco kompas je zřejmě založen na magnetitovém základu (Wiltschko, Wiltschko; 2006).



Obrázek č. 3: Schéma radikálové reakce. Průběh reakce moduluje magnetické pole. Radikálové páry vznikají přechodem elektronu z donorové molekuly  $D$  na akceptorovou molekulu  $A$ . Mohou tak existovat v singletovém nebo tripletovém stavu. Magnetické pole ovlivňuje přechody mezi těmito stavy (Vácha, Němec; 2007b).



Obrázek č. 4: Výsledky pokusů orientace s různě barevným světlem (Vácha, Němec; 2007b).



Obrázek č. 5: Prostorové ztvárnění kryptochromu. Část molekuly, která generuje radikálové páry je odlišena barevně (Vácha, Němec, 2007b).

### 6.3 Magnetitová teorie

Magnetitová teorie je jednoduše založena na názoru, že živočichové, kteří mají ve svém organismu obsažený magnetit, dokáží detekovat polaritu magnetického pole Země a rozlišit tak správný směr severu a jihu (Johnsen, Lohmann; 2005). Jejich tkáně by měly obsahovat částice feromagnetického charakteru, které by měly fungovat jako malý magnet pro správnou orientaci. Tyto částice se tak přiklání ke správnému směru indukčních čar magnetického pole Země (Vácha, Němec; 2007b). Využití této teorie bylo prokázáno jak u kompasové orientace, tak při vytváření magnetických map (Yan, Tao; 2013)

Po chemické stránce je magnetit specifická forma oxidu železa ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Vlastnosti magnetitu jsou odvozené od jeho tvaru a velikosti. Magnetit se vyskytuje u živočichů ve dvou rozdílných formách. První je jednodoménová forma (protisté, bakterie a ryby) a druhá je forma superparamagnetických krystalů (holubi) (Johnsen, Lohmann; 2005). Velké částice obsahující mnohonásobné domény a spontánní magnetizace a detekce magnetického pole Země se zřejmě neúčastní (Wiltschko, Wiltschko; 2006).

Jednodoménové krystaly magnetitu lze svou funkčností přirovnat ke strelce kompasu, tudíž rozlišují pouze polaritu geomagnetického pole a jsou schopny otáčení dle polarity. Jsou velké přibližně  $50\mu\text{m}$  a trvale zmagnetizovány a mohly by přenášet geomagnetickou informaci do nervového systému. V tomto případě se jedná o více možností a první možností je, že tyto krystaly vyvinou tlak nebo točivý moment

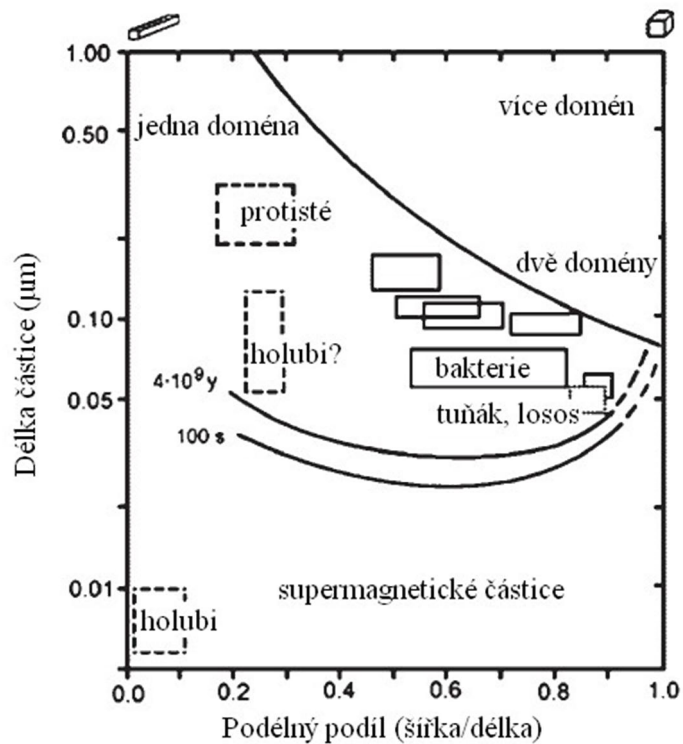
na sekundární receptory, volná nervová zakončení, vláskové buňky nebo kožní mechanoreceptory. Alternativně mohou magnetitové krystalky přímo otevírat či zavírat iontové kanálky (Johnsen, Lohmann, 2005).

Superparamagnetické krystaly jsou oproti jednodomým menší, jejich velikost je přibližně 2-5 $\mu$ m. Nemají trvalý magnetický charakter a jsou bez možnosti natáčení směru vlivem magnetického pole Země. Ve vnějším magnetickém poli se v těchto krystalech indukuje magnetický moment a jeho orientace je vždy shodná s orientací vnějšího pole. Tyto krystalky tvoří řetízky nebo shluky a mohou deformovat buněčnou membránu svým vzájemným přitahováním, či odpuzováním. Nervový systém by tak mohl detekovat změny membrány a reagovat na to otvíráním a zavíráním iontových kanálů (Lohmann, 2010).

První výzkumy o přítomnosti magnetitu potvrdil Richard Blakemore a Richard Frankel v 70. letech u bakterií (*Aquaspirillum magnetotacticu*). Jednalo se o druh s řetězci intracelulárních magnetitových krystalků, které jsou schopny si tvořit vlastní biogenní magnetit (Uebe R, Schuler D; 2016). Následně u mnoha druhů magneticky citlivých zvířat jako jsou například včely (v přední části břišní stěny), u obratlovců převážně v čichovém ústrojí v přední části hlavy (Wiltschko, Wiltschko; 2005). Velká pozornost byla věnována především ptákům a jako jeden z prvních výzkumů na přítomnost magnetitu byl u holubů v roce 1979 (Wiltschko, Wiltschko; 2012b).

Jelikož je těžké prokázat existenci feromagnetických látek ve tkáních organismu, byla v rámci výzkumu teorie zkoumána pomocí silového pulzního pole. Po takovém zásahu pulzního pole byla magnetická orientace ptáků či želv změněna, či úplně zmizela (Johnsen, Lohmann; 2008). Výzkum Hollanda a Helma (2013) tuto teorii potvrdil, ale pouze u dospělých ptáků, nikoli u juvenilních. To potvrzuje fakt, že je teorie přímo závislá na zkušenostech živočicha s migrací.

Živočichové, kteří využívají magnetitovou teorii, nejsou závislí na světle, což řada teorií potvrzuje a jako zcela bezchybnou orientaci v prostoru mají například ryby, mořské želvy a někteří hlodavci (Vácha, Němec; 2007b).



Obrázek č. 6: Naznačení stability domén různých typů magnetitu ve vztahu k jejich geometrickým vlastnostem a velikosti. U protistů, bakterií a ryb byly objeveny jednodoménové částice, u holubů i superparamagnetické (Wiltchko, Wiltchko, 2006).

## 7 Studované druhy v oblasti vlivu magnetického pole Země na živočichy

### 7.1 Hmyz

V rámci studia magnetorecepce je hmyz nejčastěji zkoumaným živočišným druhem, a to zejména pro svoji jednodušší nervovou soustavu a chování. U této taxonomické třídy se předpokládá přítomnost dvou mechanismů magnetorecepce, a to teorie radikálových párů, neboli chemických magnetoreceptorů pro magnetickou kompasovou orientaci (Válková, 2010) a magnetitové teorie založené na přítomnosti feromagnetických látek ve tkáních živočichů (Desoile a kol.; 2005).

V této problematice byla největší pozornost zaměřena na včelu medonosnou (*Apis mellifera*), (Gould a kol.; 1980; De Jong, 1982; Leucht, 1984; Leucht, Martin; 1990; Kirschvink, Kobayashi; 1991; Collett, Baron; 1994; Hsu, Li; 1994). Díky změnám v intenzitě a polaritě geomagnetismu bylo prokázáno, že orientace směru tohoto druhu hmyzu je ovlivněna (Gould a kol., 1980; Leucht, 1984; Leucht, Martin; 1990). Podle výzkumu De Jonga (1982) mohou tyto změny narušit například i stavbu úlů. Magnetické pole Země ovlivňuje i cirkadiánní rytmy (Collett, Baron; 1994).

U včel byly nalezeny feromagnetické částice v břišní dutině napojené na nervovou soustavu. Existence těchto částic byla prokázána i u termitů v roce 1998, kdy Maher tyto feromagnetické částice lokalizoval u termita *Amitermes meridionalis* a *Nasutitermes exitiosus* v hrudi a hlavě. Přítomnost feromagnetických částí v takto organizovaném uskupení vykazuje rozmyšlenou funkci jakožto magnetického senzoru (Alves a kol., 2004).

Kromě včel a termitů je velká pozornost zaměřena na mravence. V roce 1954 Vowles ve své studii prokázal přítomnost oxidu železa v tykadlech mravence *Myrmica ruginodis* a *Myrmica laevinodis*. Ve studii Slowika, Thorvilsona (1996) nebylo u druhu *Solenopsis invicta* dostatečně prokázáno, že jsou feromagnetické částice součástí tkání. Proběhlo mnoho pokusů zaměřených na změnu chování mravenců při změnách vlivu geomagnetismu (Jander, Jander; 1998). Mezi další druhy mravenců, u kterých byly provedeny studie v oblasti magnetorecepce, patří například mravenec luční *Formica pratensis* (Camlitepe a kol., 2005), mravenec *Solenopsis substituta* (Wajnberg a kol., 2000).

V neposlední řadě je velkou kapitolou u hmyzu studium potemníka *Tribolium castaneum* (Tomanová, 2009), případně *Tenebrio molitor* (Vácha a kol., 2008). U potemníků bylo prokázáno využívání inklinálního kompasu a změna chování v závislosti na vlnové délce světla. Ovlivnění chování v závislosti na světle bylo prokázáno v oblasti magnetorecepce v rámci teorie radikálových párů i u octomilky obecné *Drosophila melanogaster* (Phillips, Sayeed; 1993; Válková, 2010; Wajnberg a kol., 2010). Magnetické pole Země využívají pro migraci i jiné druhy hmyzu, jako jsou třeba druhy *Danaus plexippus* (Etheredge a kol., 1999; Mourtisen, Frost; 2002), *Aphrissa statira* (Srygley a kol., 2006)

## 7.2 Ryby

U této taxonomické nadtřídy obratlovců byly první výzkumy v oblasti magnetorecepce provedeny již v roce 1974 F. W. Teschem a v roce 1981 Quinn a kol., prokázali vliv magnetického pole Země a jeho využití prostřednictvím polaritního kompasu v čichovém ústrojí lososa *Oncorhynchus nerka* a pstruha *Oncorhyncha mykiss* (Eder a kol., 2012; Linnebach, 2018).

Tesch (1974) prokázal spontánní preferenci základních světových stran při odpočinku úhoře říčního *Anguilla anguilla*, což potvrdil i výzkum Chew, Brown (1989).

Mezi další druhy ryb, které byly studovány, patří pstruh *Salmo trutta*, u kterého byl prokázán vliv geomagnetismu na jeho potěr (Formicki a kol., 2004a). Byla nepřímo prokázána magnetorecepce například u plotic *Rutilus rutilus*, ouklejí *Alburnus alburnus*. Při odchytu do pastí s magnetem (Formicki a kol., 2004b). Existují však i druhy u kterých nebyl vliv geomagnetismu potvrzen jako u lososa *Oncorhynchus keta* (Yano a kol., 1997).

Dle studie Cresci a kol. (2017) bylo prokázáno, že úhoři (*Anguilla Anguilla*) používají při své migraci magnetický kompas, který je spojovaný s přílivem. Jedná se tedy o předběžný důkaz, že řízené chování těchto i mnoha dalších ryb při migraci může být vytvářeno v raném vývoji ryb.

### 7.3 Obojživelníci

Z hlediska vlivu magnetického pole Země obojživelníci nepatří mezi nejprostudovanější skupiny. Většina informací vychází především ze studií čolka zeleného *Notophthalmus viridescens* (Freake, Phillips; 2005).

U čolka zeleného bylo prokázáno využívání magnetického kompasu, schopnost naučit se řídit se směrem v zemském magnetickém poli a vytvářet si magnetické mapy. Následující práce tuto teorii potvrdily za světla, ale za tmy čolci využívají inkлинаční detektor citlivý na polaritu magnetického pole Země (Phillips, Borland; 1994).

Studií Freake, Phillipse (2005) s následným potvrzením studie Landler, Gollmann (2011) dokázali v rámci svého experimentu neschopnost nalezení cílové destinace ropuchy *Buffo buffo* při zmatení magnetem. Využívání principu magnetického kompasu bylo potvrzeno též u čolka *Triturus alpestris* (Diego-Rasilla a kol., 2005; Schlegel, Rennen; 2007), čolka *Lissotriton helveticus* (Diego-Rasilla a kol., 2008), pulců skokana *Rana catesbeiana* (Freake a kol., 2002), skokana *Pelophylax ridibundus* (Shakhparonov, Ogurtsov; 2016) či drápatky *Xenopus laevis* (Leucht, 1990).

### 7.4 Plazi

V oblasti vlivu magnetického pole Země jsou plazi jako taxonomická třída také velmi málo prozkoumanou skupinou živočichů, přičemž většina doposud vydaných prací je zaměřena především na mořské želvy. Jednalo se nejčastěji o karetu obecnou *Caretta caretta*, u které byla prokázána schopnost využívat magnetické pole Země (Light a kol., 1993) prostřednictvím určení zeměpisné šířky a podle migrační trasy rozlišit různé intenzity (Lohmann, Lohmann; 1998). Následně podali Lohmann a kol. v roce 2012 důkaz o vytváření magnetických map u tohoto druhu.

Od roku 2010 existují první prokázané studie o využívání magnetického pole Země i u ještěřů (Nishimura a kol., 2010; Marek a kol., 2010). Jednalo se o aligátora *Alligator mississippiensis*, u kterého bylo prokázáno využívání magnetické mapy pro dosažení cílové destinace. Samozřejmě, že přesnost tohoto určení se zlepšuje s věkem a přibývajícím zkušeností daného jedince (Rodda, 1984).

Mezi další studované druhy patří například kožatka velká *Dermochelys coriacea*, u které byla zjištěna na světle závislá magnetorecepce (Lohmann, Lohmann; 1993) či agama vousatá *Pogona vitticeps* (Nishimura a kol., 2010).



## 7.5 Ptáci

Této taxonomické třídě byla věnována velká pozornost vzhledem ke schopnosti migrace za světla i tmy na velké vzdálenosti (Yan, Tao; 2013). Prvním druhem, u něhož bylo prokázáno využívání magnetického kompasu, byla červenka *Erithacus rubecula*, a to díky studii, která byla založena na kontrolovaných změnách vlivu magnetického pole Země na ptactvo. Ze studie vyplynulo, že v důsledku změny severního pólu docházelo u červenky ke změnám letu (Wiltschko, Wiltschko; 1972). Schopnost magnetorecepce byla prokázána u mnoha druhů a mimo to se výzkum také snažil přijít na druh mechanismu magnetorecepce, který ptáci využívají. Krom zmiňovaného druhu červenky bylo studium také zaměřeno na holuba *Columba livia domestica* (Wilzeck a kol., 2010).

Dle studie Yan, Tao (2013) bylo uvedeno, že existují dva pravděpodobné mechanismy magnetoreceptoru u této taxonomické třídy, a to teorie radikálových párů a magnetitové teorie.

Následující studie prokázaly u holuba *Columba livia domestica*, strnada *Emberiza citrinella* či zebřičky *Taeniopygia guttata* přítomnost feromagnetických částic v horní části zobáku (Williams, Wild; 2001).

U kura *Gallus gallus domesticus* a červenky *Erithacus rubecula* byla prokázána závislost magnetorecepce na světle v souladu s teorií radikálových párů. Oba druhy byly vystaveny různým vlnovým délkám světla a na každé z nich reagovaly jinak. Pozitivní výsledky nastaly u modrého světla, negativní u světla červeného (Wiltschko a kol., 2011). Z těchto důvodů se zdá jako nejpravděpodobnější možnost využívání obou mechanismů (Wiltschko a kol., 2011; Linnebach, 2014).

Výzkum magnetorecepce se však zaměřuje kromě samotných biomechanismů také na vliv samotného magnetického pole Země na chování ptáků. Příkladem může být ukládání tukových zásob před migrací u slavíka *Luscinia luscinia*. Studie v tomto případě byla založena na ovlivnění magnetického pole tak, aby vyvolalo zvýšený příjem potravy, jako tomu je u migrace slavíka *Luscinia luscinia* před přeletem Saharské pouště (Fransson a kol., 2001). Holland, Helm (2013) dokázali prostřednictvím elektromagnetického pulzu naprosto zneutralizovat magnetorecepci dospělých jedinců červenky *Erithacus rubecula*, ale mladí jedinci si dokázali smysl uchovat.

## 7.6 Savci

V této skupině živočichů je největší pozornost zaměřena na hlodavce a jejich orientaci při stavbě hnízda, či změnu chování apod. při ovlivnění magnetického pole Země (Deutschlander a kol., 2003).

Příkladem může být druh rypoše *Cryptomys hottentotus*, u kterého byl prokázán vliv geomagnetismu při stavbě hnízd, kde začal preferovat stavbu v kruhové aréně v severovýchodní sekci a reagoval při změně magnetického pole o 120°, či 180° (Burda a kol., 1990). U rypoše *Fukomys mechowii* a *Heliophobius argenteocinereus* byla zjištěna preference v západní části. Na základě výzkumu Prato a kol. (2009; 2013) bylo zjištěno, že u myši *Mus musculus varieta alba* má magnetické pole vliv na vnímání bolesti. Myši, které byly v prostoru bez světla a ovlivněné magnetickým polem, měly prokázanou sníženou citlivost na bolest. Při světle tento efekt však nenastal (Prato a kol., 2009; Prato a kol., 2013). U rypoše *Fukomys anselli* byly nalezeny neurony, které reagovaly na magnetické stimuly a měly své uspořádání, což lze považovat za magnetorecepci v magnetitové teorii (Němec a kol., 2001). Dle výzkumu to potvrzuje fakt, že druh rypoše nepřišel o svoji schopnost orientace (Thalau a kol., 2006), jak je tomu například u ptáků (Holland, Helm; 2013).

V roce 2008 byla u studie Begalla a kol., prokázána magnetorecepce u velkých savců jako je tur *Bos primigenius f. taurus*, srnec *Capreolus capreolus*, jelen *Cervus elaphus*. V době odpočinku preferují severojižní orientaci svého těla s hlavou na sever. Tuto studii potvrzuje i výzkum Burdy a kol. (2009) a dokládá, že vliv elektrického pole o extrémně nízké frekvenci může narušit uskupení a ve větších vzdálenostech preferují severojižní směr.

Magnetické pole Země používají k navigaci a orientaci těla i kytovci, jak dokazuje studie Kirschvink a kol. (1986). U psů bylo prokázáno, že vylučují převážně v severojižním směru a jsou přirozeně velmi ovlivněni fluktuacemi magnetického pole, což znamená, že i drobné změny v polaritě mohou způsobovat náhodné natočení těla (Hart a kol., 2013b).

Studie tohoto tématu se zaměřily přirozeně i na lidi a bylo tak prokázáno, že i v lidských tkáních jsou obsaženy feromagnetické částice (Kirschvink a kol., 1992). Foley a kol. (2011). Doposud však není žádná studie, která by potvrzovala přímý účinek magnetického pole Země na člověka a prokazatelného využívání magnetorecepce (Foley a kol., 2011).

## 8 Plazi (REPTILIA) - obecně

Plazů je známo přibližně 7000 druhů, které se dělí do 4 skupin:

- 1) Hadi a ještěři (asi 6700 druhů)
- 2) Želvy (asi 250 druhů)
- 3) Krokodýli (asi 23 druhů)
- 4) Haterie (2 druhy) - primitivní plazi podobní ještěřům (Bruins, 1999)

### 8.1 Taxonomie želv

- Třída: *Reptilia* - plazi
- Řád: *Testudines* (synonymum *Chelonia*) - želvy
- Podřád: *Pleurodira* - skrytohlaví
- Čeledi:
  - *Chelidae* – dlouhokrčkovití
  - *Pelomedusidae* – terekovití
- Podřád: *Cryptodira* - skrytohrdlí
- Čeledi:
  - *Carettochelyidae* – karetkovití
  - *Cheloniidae* - mořské želvy
  - *Chelydridae* – kajmankovití
  - *Dermatemydidae* – dlouhohlávkovití
  - *Dermochelyidae* – kožatkovití
  - *Emydidae* – sladkovodní želvy
  - *Kinisternidae* – klapavkovití
  - *Platysternidae* – hlavcovití
  - *Testudinidae* - suchozemské želvy
  - *Trionychidae* - kožnatkovití

Plazi patří spolu s ptáky (*AVES*) a savci (*MAMMALIA*) k vyšším obratlovcům, kteří jsou z hlediska vývoje závislí na vodním prostředí. Jsou plně přizpůsobení suchozemskému životu, anatomicky, morfologicky i fyziologicky zdatně odlišní. Mají zrohovatělou vrstvu v pokožce a také zrohovatělé šupiny, které chrání tělo.

Želvy mají tělo kryté krunýřem, který je tvořen kostěnými deskami srůstajícím s některými kostmi. Oproti tomu plazi jsou obratlovci, jež mají tělo pokryté tuhými šupinami, nebo štítky a kladou vejce (Hanzák a kol., 1969). Většina plazů svléká kůži, když se probudí ze zimního spánku a před kladením vajec nebo rozením mláďat. Ještěři a želvy se svlékají po částech.

Želvy svlékají vrchní kožovitou část pancíře (Schmitz, 1998). Několik dní před svlékáním se stará kůže poněkud uvolní tak, že zvíře má tmavší zbarvení (Bruins, 1999). Teplota plazů je velmi proměnlivá, při vyšší teplotě vzduchu se zvyšuje i teplota krve, zatím co, když se teplota vzduchu sníží, tak se sníží i teplota krve (Fritz, 1985).

Plazi jsou pak méně aktivní, nebo se dokonce téměř ani nehýbají. Patří ke studenokrevným (poikilotermním) živočichům, což znamená, že přebírají teplotu od okolního prostředí. Pokud se teplota prostředí prudce sníží nebo se udržuje na neobvykle nízké úrovni, plazi hynou na podchlazení mnohem dříve než savci či ptáci (Schmitz, 1998). I plazi mají vyvinuté různé mechanismy aktivní ochrany vůči nepříznivým klimatickým faktorům (vytváří tzv. klubka, kde se společně zahřívají a vyhledávají vhodné úkryty na přezimování). Je však znám i letní spánek plazů, kteří žijí ve vodě a přečkávají tak období sucha (Hanzák a kol., 1969).

Plazi se vyskytují v různých biotopech - na souši, ve vodě i ve vzduchu. Disponují dobrou pohyblivostí i aktivitou, a to díky zdokonaleným orgánovým soustavám. Nejvíce plazů žije v tropických krajích. Směrem k pólům na obě strany od rovníku druhů ubývá, protože životní podmínkou pro všechny plazy je teplo. V horách se někteří plazi vyskytují výjimečně až do výše kolem 4500 m n. m.

Různé skupiny plazů se přizpůsobily rozličným podmínkám života (Bartlett a kol., 1996). V současné době je mnoho druhů, které jsou mezi teraristy zvláště vyhledávané, zařazené do „červeného seznamu“ CITES (Schmitz, 1998). Některé druhy žijící ve vodě mají plovací blány, plovací nohy, nebo zploštělý ocas, jiné druhy jsou přizpůsobené ke šplhání po stromech a po hladkých stěnách nebo k pohybu na sypkém písku (Čihař, 1993). Další mají tělo přizpůsobené k životu pod zemí. Plazi žijí ve stepích, v lesích, na křovinách, ale také na lidských obydlích nebo přímo v nich, dále v zemi, pod kameny, na skalách, či ve sladké i mořské vodě (Hanzák a kol., 1969).

## 8.2 Želvy

Želvy jsou jedním z nejhroženějších druhů obratlovců na světě. Přibližně polovina z více než 300 druhů je přímo ohrožena vyhynutím (Zych, 2000). Příčinou tohoto stavu je jejich častý lov za různým účelem - například na jídlo či v medicíně (využívají se vajíčka, mláďata, dospělci i části těl). Želvy jsou rovněž chovány jako domácí mazlíčci. To vše se děje s malým ohledem na udržitelnost želv (Fritz, 1985).

Na vrcholu cílených útoků je fragmentace jejich přirozených habitů, jejich ničení, znečišťování a zastavování. Populace želv se všude zmenšují. Přesto přežívají po milion let, kdy na ně působil přírodní výběr. Nicméně předchozí úspěšné adaptace pro přežití želv obsahující zpožděnou pohlavní dospělost, vysokou plodnost kombinovanou s vysokou mortalitou mláďat. Dlouhý život dospělců s malou mortalitou nechal želví populace citlivé na nové prostředí ovlivněné člověkem a ztrátu habitu (Zych, 2000).

Želvy jsou hlavními prvky biodiverzity ekosystémů, které obývají. Jsou to klíčové druhy, z kterých ostatní živočichové a rostliny prosperují (Wilke, 1998).

### 8.2.1 Geomagnetismus u želv

Hlavní studie související s vlivem magnetického pole Země na želvy byly doposud zaměřeny především na druhy kareta obecná (*Caretta caretta*), kareta obrovská (*Chelonia agassizi*) a jejich orientaci při migraci v moři.

Laboratorní pokusy byly provedeny na mláďatech karety obecné (*Caretta caretta*) za účelem testování schopnosti orientovat se pomocí magnetického pole Země. Mláďata byla testována v zemském magnetickém poli, kde byla nezávisle na sobě orientována ve středovém úhlu 42 stupňů, ale při otočení horizontální osy magnetického pole prostřednictvím cívky byla orientace mláďat ve středovém úhlu 196 stupňů. S tímto výsledkem, kde byla orientace směru natolik odlišná, bylo prokazatelné, že kareta obecná může detekovat magnetické pole Země a využít ho jako navigaci při plavbě.

V rámci výzkumu bylo testováno 16 želv v kruhové základně a nebyl zjištěn žádný prokazatelný vliv bez ohledu na to, že byly testovány v různé dny, měly jiné světelné podmínky, či byly před testováním v jiných nádržích. Směrová odchylka byla výrazně menší u želv při vlivu magnetického pole Země, než u změny horizontální osy (Lohmann, 1991).

U karet obrovských (*Chelonia agassizi*) z oblasti Colola Maruata v jižním Mexiku byla izolována částice magnetitu v mozku. Díky tomu se mohla více prozkoumat funkce feromagnetického materiálu a jeho mineralogického složení, velikost zrna, struktura a jeho umístění a strukturální uspořádání v hostitelské tkáni. Po přípravě vzorku a mikroskopickém vyšetření byla pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM) lokalizována a identifikována jednorozměrná částice magnetitu. Částice mají zrnitost mezi 10,0 až 40,0 Mm. Tato studie tedy jako první prokázala biogenní tvorbu tohoto materiálu u karet *Chelonia agassizi*. Částice jsou zjevně superparamagnetické, a proto je nejdůležitějším hnízdícím místem pro tento druh pobřeží Tichého oceánu oblasti Maruata a Colola, protože tyto pláže jsou charakterizovány velkým množstvím magnetických minerálních látek (magnetitu a titanomagnetitu) smíchaných v sedimentech (Fuentes a kol., 2004).

Práce Guilherme P. da Silvy a Terezy C. M. de Araújo (2011) zmapovala a prokázala vliv magnetického pole Země na tento druh želv při migraci v různých oblastech světa. Pro toto zjištění byly použity dva modely WMM2010 a EMM2010, díky kterým byly zmapovány jednotlivé oblasti, jež byly součástí tras karet obrovských a určily intenzitu magnetického pole Země v dané oblasti. Bylo zjištěno, že se želvy pravděpodobněji nepohybují v oblastech, kde dochází k anomáliím v magnetickém poli. Velké anomálie se vyskytují pouze na pólech Atlantského oceánu. Hypotéza, že magnetické pole Země ovlivňuje navigaci želv, jak naznačuje tato studie, nemůže být potvrzena či vyvrácena experimentálními studiemi spojenými s telemetrií družic, biologických dat a všemi ostatními, které byly monitorovány v reálném čase.

Nicméně vzhledem k faktu, že magnetické pole vytvářené zemskou kůrou má mnohem menší intenzitu oproti hlavnímu magnetickému poli, se zdá nepravděpodobné, že by přímo ovlivňovalo chování vodních živočichů. Nemůžeme však zcela vyvrátit možnost, že pole zemské kůry nepřímo ovlivňuje jiný geofyzikální jev generovaný oceánskou kůrou, jakým třeba je vliv oceánských proudů, kolísání tlaku na velkých vodních útvech způsobených oceánskými geologickými strukturami a možnost aktuálních vnitřních pochodů těchto zvířat při změně magnetického pole Země.

### 8.3 ŽELVA NÁDHERNÁ

*Trachemys scripta elegans*



Obrázek č. 7: Dospělec druhu *Trachemys s.elegans*, zdroj: <http://www.pet-care-portal.com/red-eared-slider.html>

#### 8.3.1 Charakteristika a popis

Mláďata mají zelený krunýř a kůži pokrytou zelenožlutými až tmavozelenými skvrnami a proužky. U dospělých jedinců barva přejde do tlumené olivově zelené. Mohou se objevovat i starší jedinci (zvláště samci), jejichž kůže je skoro černá s malým množstvím viditelných pruhů (Bruins, 1999). Krunýř je oválný se zploštělou spodní částí. Plastron je žlutý s černými skvrnami uprostřed každé šupiny. Mají plovací blány, které pomáhají želvě při pohybu v plavání (Moravec, 2006).

Sexuální dimorfismus u tohoto poddruhu je značný. Obvykle se menší velikostí vyznačuje samec. Ve srovnání se samicemi disponuje větším a tlustším ocasem a kloakální otvorem, který zasahuje až za okraj krunýře, zatímco u samice je obvykle na úrovni nebo pod zadní hranou krunýře. Samci mají protáhlé drápy, které používají při námluvách / páření (Bruins, 1999).

Jejich celková velikost se pohybuje v rozmezí 12,5 cm až 28,9 cm. Želva nádherná se dožívá velmi vysokého věku až 42 let (Conant a kol., 1991).

### 8.3.2 Rozšíření a prostředí

Přirozené prostředí výskytu želvy nádherné se rozkládá ve středozápadních státech severní Ameriky až k západní Virginii, k pohraničí Ohia, v celé jihovýchodní části severoamerického pobřeží až k jižnímu břehu Rio Grande v severovýchodním Mexiku a na západ až do východní části Nového Mexika. Druhotně se objevuje v jižní a střední Evropě, kam pronikla ze zajetí (Falk, 1998).

*Trachemys scripta elegans* je predátor, který se může podílet na lokálním úbytku fauny (Moravec, 2006). Také může být přenašeč bakterií např. rodu *Salmonella* (de Sa, Solari, 2001). Proto evropská komise nařídila v roce 2005 zastavení importů tohoto druhu do zemí Evropské unie, díky tomuto opatření je takřka jisté, že z naší přírody časem vymizí. Dospělé želvy i mláďata jsou velmi odolné a dokáží přezimovat i v našich podmínkách, ale rozmnožování je v našich podmínkách nepravděpodobné (Moravec, 2006).

*Trachemys scripta elegans* byla v ČR doposud nahlášena ze 42 kvadrátů mapovací sítě (Moravec, 2006), celkem na 57 lokalitách (Mlíkovský, Stýblo; 2006).

*Trachemys scripta elegans* je vysoce adaptabilní a snáší rozmanitá prostředí od brakických vod až po městské kanály a vodní nádrže. Jedinci mohou cestovat daleko od vody a rapidně kolonizovat nově dostupné lokality. V Kalifornii této jejich schopnosti napomáhá rozsáhlý antropogenní systém kanálů a zavlažovacích koryt (Bartlett a kol., 1996).

Nespadá pod ochranu **CITES**.

### 8.3.3 Potrava

Mladé *Trachemys scripta elegans* mají tendenci být více masožravé oproti dospělým. Přijímají asi 70 % živočišné a 30 % rostlinné složky krmiva. Dospělí jedí 90 % rostlinné a 10 % živočišné složky krmiva (Wilke, 1998). Mezi krmivo patří vodní hmyz, plži, pulci, langusty, ryby, korýši, měkkýši. Dále se také živí rostlinami, jako je šípátka, lekníny, hyacinty, a okřehek.

Ke krmení dochází pod vodou, obvykle v časně ráno nebo pozdě odpoledne (Wilke, 1998).



### 8.3.4 Podmínky chovu

Želvy nádherné dávají přednost klidné, měkké vodě s bahnitým dnem a s vhodnými podmínkami pro koupání. Sdružují se na svých domácích lokalitách a odcházejí jen za hnízděním nebo na přípravu k zimnímu spánku (Cadi, Joly; 2003).

*Trachemys scripta* opouštějí vodní prostředí jen v případě vyhřívání na slunci. Vyhřívají se na kládách, kamenech, pařezech nebo v blízkosti vody. *Trachemys scripta elegans* jsou často pozorovány ve velkých skupinách hlavně proto, že mají omezený počet stanovišť. Někdy je můžeme vidět na sobě naskládané do výšky (Gurley, 2003).

Anglický název „slide“ odkazuje na rychlý ústup ze slunečního místa do vody, když mají sebemenší pocit ohrožení (Cadi, Joly; 2003). Spí v noci pod vodou, obvykle odpočívají na dně nebo plovou na hladině, používají nafouknutý krk jako flotační podporu. *Trachemys* se stávají neaktivními při teplotách pod 10 °C. Často přezimují pod vodou nebo pod mělčinou a dutými pařezy (Gurley, 2003).

Zazimování v domácích podmínkách chovu probíhá při konstantní teplotě 3 - 5 °C. Tou dobou se alespoň posledních 14 dnů želvy nekrmí a připravují se okolními světelnými podmínkami na zazimování (Cadi, Joly; 2003).

### 8.3.5 Teplota

V akváriu by měla být teplota vzduchu 26 - 28 °C, ale želva nádherná je velmi adaptabilní i na horší teplotní podmínky. Při nižších teplotách pod 10 °C se sníží jejich aktivita a zazimování v domácích podmínkách by se mělo pohybovat kolem 3 - 5 °C (Cadi, Joly; 2003).

### 8.3.6 Rozmnožování a odchov

Rozmnožování probíhá od března do července. Období březosti trvá 85 dnů. Samice nakladou 2 - 23 vajíček na jedno hnízdo a takových hnízd mohou za rok vytvořit až pět. Samice často cestují na dlouhé vzdálenosti, aby našly vhodné místo k hnízdění (Cadi, Delmas; 2004). Hnízda jsou vykopaná v půdě zadními končetinami samice. *Trachemys scripta elegans* má jedinečný námluvní tanec, který používá kdykoli v období od března do července (Gurley, 2003).

Samec přistoupí k samici zezadu, protáhne své přední končetiny a vibruje jejich dlouhými drápy na hlavě a krku samice. Někteří mohou dokonce samici kousnout. Samice obvykle pokračuje v plavání. Samec pak sevře krunýř samice drápy a zaujme

vhodnou polohu v téměř svislé poloze. Z této pozice dochází k páření, které trvá asi 15 minut (Cadi, Joly; 2003).

### 8.3.7 Vejce a jejich inkubace

Vejce jsou zahrabána ve 2 - 4 cm hluboké díře a pak zakryta vyhrabanou zemínou. Mláďatům trvá 2 až 2,5 měsíce, než se vylíhnou, a to díky jejich "vaječnému zubu" (*caruncle*), který zmizí brzy po vylíhnutí. K líhnutí dojde v období mezi červencem a zářím. Pokud k vylíhnutí dojde v pozdním podzimu, mohou mláďata přezimovat v hnízdě a objeví se následující jaro (Bruins, 1999).

*Trachemys scripta elegans* rychle rostou, dosáhnou asi délky dvou palců v prvním roce, ale s přibývajícím věkem se růst zpomaluje (Gurley, 2003).

Z vajec *Trachemys*, která jsou inkubována při teplotách mezi 22 °C a 27 °C se vylíhnou pouze samci. Zatímco z vajec, která jsou inkubována při vyšších teplotách, se líhnou samice. Mláďata *Trachemys* vypadají po vylíhnutí jako dospělý jedinec (Cadi, Joly, 2003).

Vejce a mláďata *Trachemys scripta elegans* jsou lovena mývaly, skunky, vačicemi, liškami a jinými predátory. Nejvíce jsou před predátory relativně v bezpečí, jakmile dosáhnou dospělosti a také, když jsou ve vodě. Velké dravé ryby mají obtíže najít mláďata *Trachemys scripta elegans* a nemají tendence je lovit. *Trachemys scripta elegans* se může bránit před pronásledováním škrábáním a kousáním (Cadi, Joly, 2003).

## 8.4 ŽELVA OZDOBNÁ

*Chrysemys picta*



Obrázek č. 8: Dospělec druhu *Chrysemys picta*, zdroj: <http://www.reptilesmagazine.com/Care-Sheets/Turtles-Tortoises/Painted-Turtle/>

### 8.4.1 Charakteristika a popis

Pro mláďata je charakteristický zelený krunýř a kůže pokrytá zelenožlutými až tmavozelenými skvrnami a proužky. U dospělců barva přejde do tmavších odstínů. Mohou se objevovat i starší jedinci (zvláště samci), jejichž kůže je skoro černá s malým množstvím viditelných pruhů (Bruins, 1999).

Krunýř je oválný se zploštělou spodní částí. Plastron je žlutý s černými skvrnami uprostřed každé šupiny. Mají plovací blány, které pomáhají želvě při pohybu v plavání (Moravec, 2006).

Samci mají drobnější stavbu a ve srovnání se samicemi disponují větším a tlustším ocasem i kloakálním otvorem, který zasahuje až za okraj krunýře, zatímco u samice je obvykle na úrovni nebo pod zadní hranou krunýře. Samci mají protáhlé drápy, které používají při námluvách či páření (Bruins, 1999).

Dosahují velikosti od 10 cm do 25 cm a dožívá se až 30 let (Conant a kol., 1991).

#### 8.4.2 Rozšíření a prostředí

Přirozené prostředí výskytu želvy ozdobné se rozkládá ve východní části Ameriky, vede až k západní Virginii a k pohraničí Ohia, dále pak v celé jihovýchodní části severoamerického pobřeží až k jižnímu břehu Rio Grande, v severovýchodním Mexiku a na západ až do východní části Nového Mexika (Falk, 1998). *Chrysemys picta* je predátor, který se může podílet na lokálním úbytku fauny (Moravec, 2006).

*Chrysemys picta* je přizpůsobivý druh a jeho příslušníci dokáží snášet velice různorodé podmínky. Mohou cestovat daleko od vody a rapidně kolonizovat nově dostupné lokality (Bartlett a kol., 1996).

Nespadá pod ochranu CITES.

#### 8.4.3 Potrava

Mláďata jsou velice masožravá a přijímají asi 65 % živočišné a 35 % rostlinné složky krmiva. Dospělci preferují složení v rozsahu 85 % rostlinné a 15 % živočišné složky krmiva (Wilke, 1998). Mezi krmivo patří vodní hmyz, plži, pulci, ryby, korýši, měkkýši. *Chrysemys picta* konzumují rostliny jako šípátku, lekníny, hyacinty, a okřehek (Wilke, 1998).

#### 8.4.4 Podmínky chovu

Želva ozdobná preferuje klidné a měkké vody s bahnitým dnem pro koupání. Sdržuje se na svých domácích lokalitách a odchází jen za hnízděním a v rámci příprav k zimnímu spánku (Cadi, Joly; 2003).

*Chrysemys picta* opouští vodní prostředí jen v případě vyhřívání na slunci. Želvy se rády vyhřívají na kládách, kamenech a u vody. Jsou často pozorovány ve velkých skupinách hlavně proto, že mají omezený počet stanovišť (Gurley, 2003).

Želva ozdobná se stává neaktivní při teplotách pod 10 °C. Často přezimuje pod vodou nebo pod mělčinou a dutými pařezy (Gurley, 2003).

Zazimování v domácích podmínkách chovu probíhá při konstantní teplotě 3 - 5 °C. V tomto období se želvy nekrmí posledních 14 dní a připravují se okolními světelnými podmínkami na zazimování (Cadi, Joly; 2003).

#### **8.4.5 Teplota**

Teplota vzduchu by měla být přibližně 26 - 28 °C. Želva ozdobná je velmi adaptabilní i na horší teplotní podmínky, avšak, jak již bylo výše uvedeno, se při teplotách pod 10 °C snižuje její aktivita. Zazimování v domácích podmínkách by se mělo dít kolem 3 - 5 °C (Cadi, Joly, 2003).

#### **8.4.6 Rozmnožování a odchov**

Páření probíhá v období od března do července a období březosti trvá 85 dnů. Samice nakladou 4 - 20 vajíček na jedno hnízdo. Pro ideální místo k hnízdění samice často cestují na dlouhé vzdálenosti (Cadi, Delmas; 2004). Hnízda jsou vykopaná v půdě zadními končetinami samice (Gurley, 2003).

#### **8.4.7 Vejce a jejich inkubace**

Želvy ozdobné mají vejce uložená v hloubce 3 - 5 cm a vylíhnutí trvá mláďatům 2 až 2,5 měsíce. K líhnutí dojde v období červenec až září. Pokud k vylíhnutí dojde v pozdním podzimu, mohou mláďata přezimovat v hnízdě a objeví se následující jaro (Bruins, 1999).

Mláďata želv ozdobných rychle rostou a dosáhnou asi délky čtyř centimetrů v prvním roce života s tím, že s přibývajícím věkem se růst zpomaluje (Gurley, 2003).

Z vajec, která jsou inkubována při teplotách mezi 24 °C a 28 °C se vylíhnou pouze samci, zatímco z vajec, která jsou inkubována při vyšších teplotách, se líhnou samice. Mláďata *Chrysemys picta* se líhne z vajíčka a vypadá jako dospělec, ale jsou ohrožena přirozenými predátory, jako jsou vačice, lišky jiní predátoři (Cadi, Joly, 2003).

## 9 Metodika

Data byla nasbírána v období října 2013 do července 2014 přímo na území České zemědělské univerzity v Praze. Jednalo se o tropické skleníky, které jsou součástí Tropické fakulty s rozlohou 240 m<sup>2</sup>. Prostředí poskytovalo optimální podmínky z hlediska nerušenosti želv a snadného přístupu, manipulaci a dokumentaci, případně nainstalování fotopasti.

Jednalo se o pozorování a sběr dat dvou druhů sladkovodních želv: želvy nádherné (*Trachemys scripta elegans*) a želvy ozdobné (*Chrysemys picta*). Všechna měření byla realizována jednotlivě, za stejných podmínek a s každým jedincem jak na suchu, tak ve vodě v kruhové základně s vyznačeným pólem severu. Měření byla praktikována bez ovlivnění, ale i s ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF).

### 9.1 Sběr dat

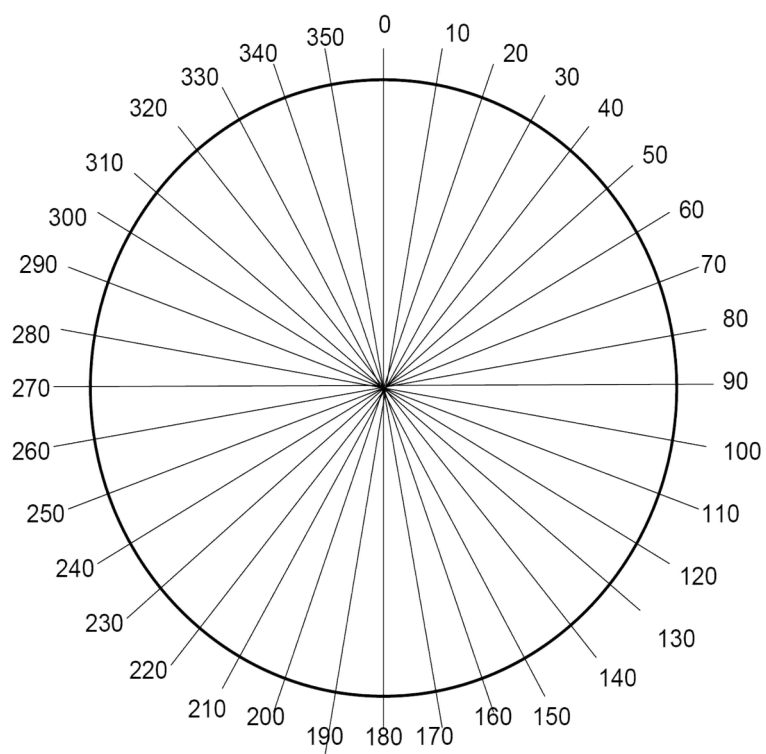
Měření v terénu bylo na vyznačeném rovném a pevném území. Každý jedinec byl měřen samostatně v kruhové základně na suchu v hliníkové aréně, či ve vodním prostředí v plastové kruhové nádobě. Každá želva byla barevně označena číslem. Z pomůcek bylo zapotřebí použít technický kompas pro určení směru pólu při vyznačování pracovní plochy na focení, lak na nehty na označení želv, podběrák pro manipulaci s želvami, fotopast pro fotografování a Helmholtzova cívka.

## 9.2 Rozbor fotografií

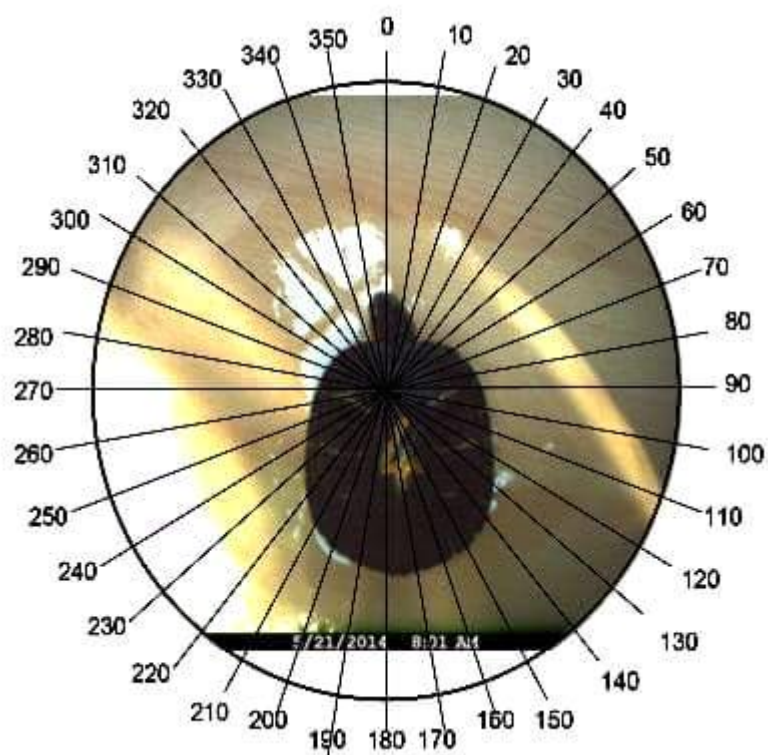
Všechny fotografie želv pořízené v daném období musely být protříděny a zaznamenány do tabulky v programu Microsoft Excel. Byl zaznamenán čas, den, měsíc, rok, číslo želvy, druh latinsky/česky a úhel osy těla vzhledem k severnímu pólu. Všechny fotografie byly pořízeny tak, že u nich byl pomocí fotopasti přesně určený čas a sever, který byl vyznačen přímo na kruhové aréně. Následně byla na fotografii vkládána růžice, díky které byl určen přesný azimut osy těla želvy.



Obrázek č. 9: Želva umístěná při měření v kruhové aréně (zdroj: Janík, 2013)



Obrázek č. 10: Růžice



Obrázek č. 11: Příklad finální podoby při měření úhlové preference želvy.



### 9.3 Statistická analýza

K přesnému vyhodnocení naměřených dat bylo zapotřebí použít program vyžadující speciální typy statisticky hodnotících metod. V tomto případě se jedná o program Oriana, který dokonale posloužil pro vyhodnocení všech směrových dat a výzkumů s periodickými či cyklickými daty jako jsou třeba směry (měřené ve stupních), úhly, denní periody, dny v týdnu apod. (Anonymus 2018a).

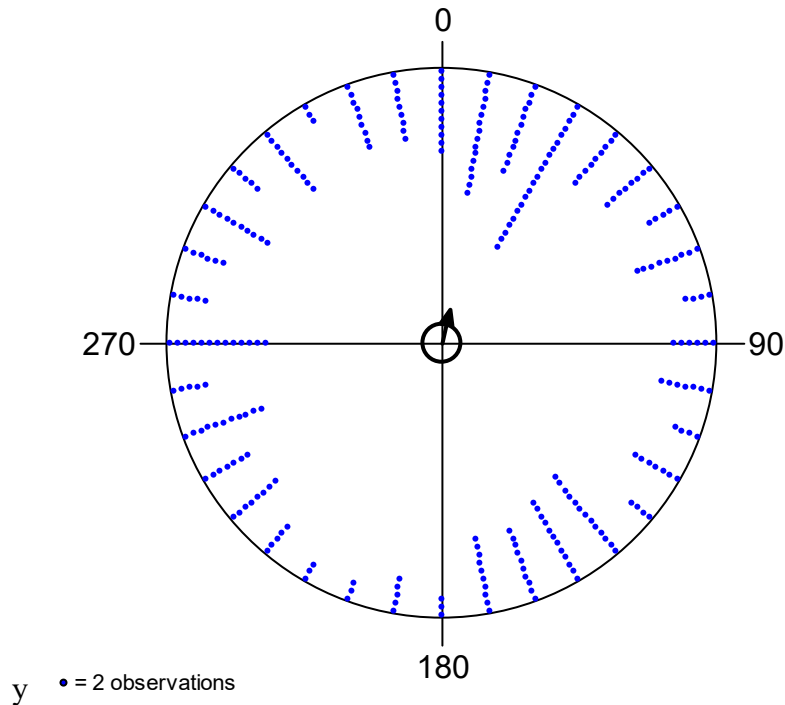
Program je kompatibilní s operačním systémem Windows a dokáže pracovat s velkým množstvím necirkulačních typů dat, která se mohou spárovat s cirkulárními daty, a umožňuje analýzu podskupin dat či včlenění lineárních dat do grafů a analýz pomocí hromadných histogramů o dvou proměnných, případně analýzu cirkulárnělineárních korelací. Počítá řadu samostatných vzorků a umožňuje jejich vzájemné porovnání (Anonymus 2018a).

Vstupní data byla vložena jako tabulky vytvořené v programu Excel. Základními statistikami, které program nabízí, jsou kruhový průměr, délka průměrného vektoru, kruhová střední odchylka, limity spolehlivosti (95 % a 99 %). Dále je k dispozici mnoho simple distribution tests (jednovýběrových testů), například Rayleigh's test of uniformity, Rao's spacing test. Výsledky lze následně prezentovat formou tabulek, které je možné snadno přemísťovat do jiných dokumentů ve formě grafů (Anonymus 2018a).

Data každé sady pozorování mohou být zobrazena na růžicových diagramech nebo kruhových histogramech (Anonymus 2018b) a sloupce diagramů i histogramů můžeme uspořádat tak, aby vyobrazily relativní poměry podmnožin dat. V programu Oriana lze také vykreslovat lineární histogramy. Lineární data mohou být zahrnuta do dvou různých růžicových diagramů, histogramů či do vektorových polí, ve kterých šipka či sloupec znázorňují jednotlivé případy a svou délkou reprezentují lineární data. Množství dat a jejich proměnných je omezena pouze paměťovou kapacitou disku (Anonymus 2018a).

## 10 Výsledky

Angulární vyjádření směrové orientace - na suchu bez ovlivnění



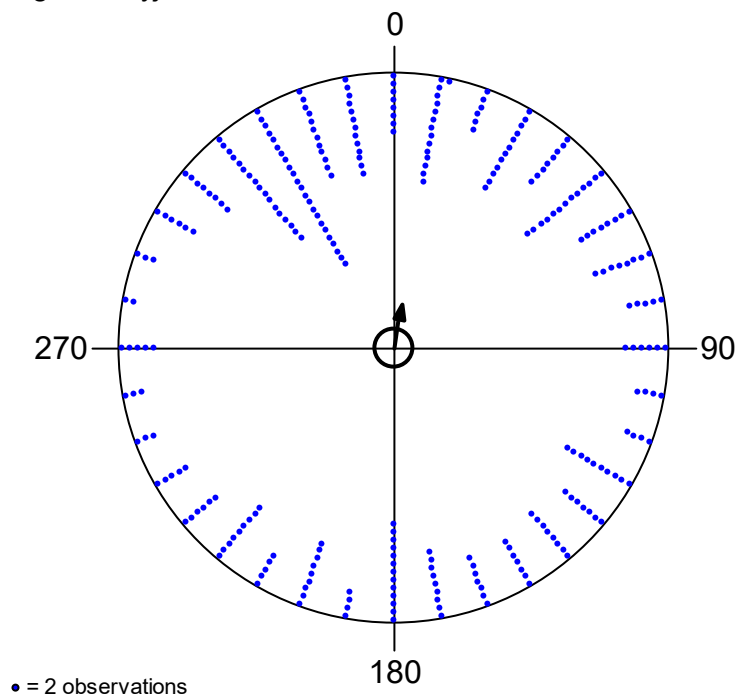
Obrázek č. 12: Angulární vyjádření směrové orientace – na suchu bez ovlivnění

Statistickým vyhodnocením 560 dat získaných na suchu bez ovlivnění byl zjištěn výsledný průměrný vektor  $14,322^\circ$ . Tento vektor je na angulárním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

Variable	Angles
Data Type	Angles
Number of Observation	560
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	$10^\circ$ (36)
Mean Vector ( $\mu$ )	$14,322^\circ$
Length of Mean Vector ( $r$ )	0,127
Concentration	0,256
Circular Variance	0,873
Circular Standard Deviation	$116,423^\circ$

One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	9,017
Rayleigh Test (P)	1,21E-4

### Angulární vyjádření směrové orientace - ve vodě bez ovlivnění



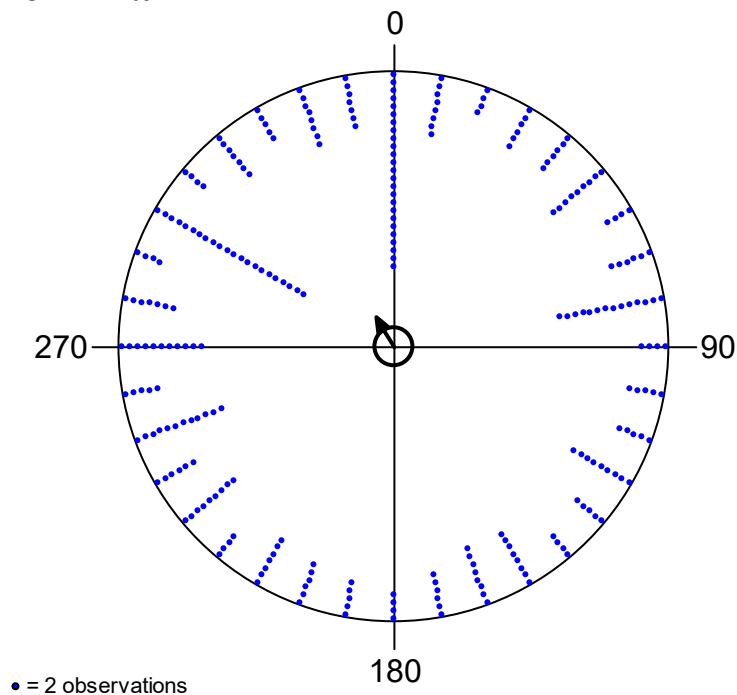
Obrázek č. 13: Angulární vyjádření směrové orientace - ve vodě bez ovlivnění

Statistickým vyhodnocením 562 dat získaných ve vodě bez ovlivnění byl zjištěn průměrný vektor  $11,137^\circ$ . Tento vektor je na angulárním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

Variable	Angles
Data Type	Angles
Number of Observation	562
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector ( $\mu$ )	$11,137^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,162
Concentration	0,329
Circular Variance	0,838
Circular Standard Deviation	$109,234^\circ$

One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	14,832
Rayleigh Test (P)	3,62E-7

Angulární vyjádření směrové orientace - na suchu v CMF cívce



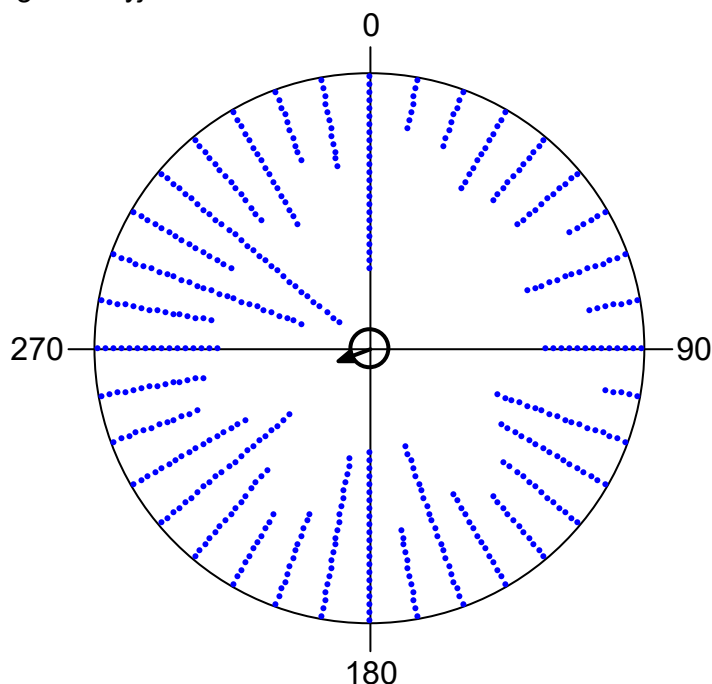
Obrázek č. 14: Obrázek č. 12: Angulární vyjádření směrové orientace – na suchu v CMF cívce

Statistickým vyhodnocením 520 dat získaných na suchu s ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF) byl zjištěn průměrný vektor  $329,252^\circ$ . Tento vektor je na angulárním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

Variable	Angles
Data Type	Angles
Number of Observation	520
Data Grouped?	No
Group Width (& Number of Groups)	
Mean Vector ( $\mu$ )	$329,252^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,13
Concentration	0,262
Circular Variance	0,87
Circular Standard Deviation	$115,71^\circ$

One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	8,806
Rayleigh Test (P)	1,50E-4

Angulární vyjádření směrové orientace - ve vodě v CMF cívce



Obrázek č. 15: Obrázek č. 12: Angulární vyjádření směrové orientace – ve vodě v CMF cívce

Statistickým vyhodnocením 527 dat získaných ve vodě s ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF) byl zjištěn průměrný vektor  $249,955^\circ$ . Tento vektor je na angulárním histogramu znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.

Variable	Angles
Data Type	Angles
Number of Observation	527
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	$10^\circ$ (36)
Mean Vector ( $\mu$ )	$249,955^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,123
Concentration	0,248
Circular Variance	0,877
Circular Standard Deviation	$117,237^\circ$

One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	8,007
Rayleigh Test (P)	3,33E-4

## 11 Diskuze

Z výsledků vyhodnocených 2169 dat uvedených v kapitole „10. Výsledky“ se signifikantně prokázala u obou druhů želv bez ovlivnění cívkou preference severojižního směru (to při odpočinku v suchozemském i vodním prostředí). Stejný směr byl prokázán při odpočinku na pastvinách u jelena *Cervus elaphus* (Begall a kol., 2008), srnce *Capreolus capreolus* (Begall a kol., 2008; Burda a kol., 2009) i tura *Bos primigenius f. taurus* (Begall a kol., 2008; Burda a kol., 2009; Begall a kol., 2011).

Stejná orientace těla byla zaznamenána u vodních ptáků přistávajících na hladinu (Hart a kol., 2013a), vylučujících psů (Hart a kol., 2013b), odpočívajících úhořů *Anguilla anguilla* (Tesch, 1974), pstruhů *Oncorhynchus mykiss* (Chew, Brown; 1989) a kaprů *Cyprinus carpio* (Hart a kol., 2012).

Při ovlivnění Helmholtzovou cívkou (CMF) ve vodním prostředí byla těla želv jednoznačně orientována v ose západ - východ s tím, že hlava byla orientována na západ. V tomto případě byl záměrně sever přesunut na západní stranu.

U ovlivnění želv Helmholtzovou cívkou (CMF) v suchozemském prostředí v kruhové aréně byla preference severozápadní. To však může být ovlivněno přirozeným prostředím vodních želv a jejich předpokládaným citlivějším vnímáním magnetického pole ve vodě.

K podobným výsledkům dospěla i práce Landlera a Gollmanna z roku 2011 u ropuch obecných *Bufo bufo*, kdy v prostředí kruhové arény při ovlivnění cívkou byla směrová orientace bez významného vzorce chování. Zatímco v přímém kontaktu se zdí kruhové arény už byla ovlivněná směrová preference zcela prokazatelná. Případně na podobné výsledky poukazuje práce o skokanech skřehotavých *Pelophylax ridibundus* od Shakhparonova a Ogurtsova z roku 2016.

Dané výsledky samozřejmě mohly mít závislost například na ročním období, věku (Schlegel, Rennen; 2007) či pohlaví zkoumaných jedinců (Phillips, Sayeed; 1993; Muheim a kol., 2006). Všechna data byla sbírána v různém ročním období a měřeni byli všichni jedinci zahrnující obě pohlaví různých věků (Dungel a kol., 2002).

## 12 Závěr

Práce podala shrnutí dosavadních poznatků o vlivu magnetického pole Země na různé skupiny živočichů, a především různé druhy želv. Dále byl prakticky prozkoumán vliv magnetického pole Země na orientaci těl želvy nádherné (*Trachemys scripta elegans*) a želvy ozdobné (*Chrysemys picta*). Data byla nasbívána v letech 2013 až 2014 ve skleníku na půdě České zemědělské univerzity v Praze (CZU). Jednalo se o měření v suchozemském i vodním prostředí bez ovlivnění a s ovlivněním Helmholtzovou cívkou (CMF). Vzhledem k jiným výzkumům aplikovaných na jiné druhy živočichů se potvrdil předpoklad, že preference obou druhů želv bude severojižním směrem, a to jak ve vodním, tak i suchozemském prostředí.

Při ovlivnění želv Helmholtzovou cívkou (CMF) ve vodním prostředí byla naopak potvrzena orientace osy těla jednoznačně v ose západ - východ (sever byl záměrně převeden na západní stranu). U ovlivnění v suchém prostředí byla potvrzena preference ve směru severozápadním. Toto však může být ovlivněno přirozeným prostředím vodních želv a jejich předpokládaným citlivějším vnímáním magnetického pole ve vodě.

Je třeba brát v úvahu možné odchylky při vypracování této práce, které zde již byly diskutovány a vzhledem k cílům práce a s tím spojené metodice sběru dat nelze žádné z možných vysvětlení potvrdit ani vyvrátit. Pro ověření hypotéz bude potřebné provést další výzkumy.

## 13 Použitá literatura

Able K. P. (1994) Magnetic orientation and magnetoreception in birds. *Progress in Neurobiology*, s. 449-473.

Alves O. C.; Wajnberg E.; Oliveira J. F.; Esquivel D. M. (2004) Magnetic Material Arrangement in Oriented Termites: a Magnetic Resonance Study. *Journal of Magnetic Resonance*, roč. 168. č. 2. s. 246–251.

Anonymus (2018a) Kovach Computing Services (online), Dostupné z WWW: <<http://www.kovcomp.co.uk/oriana/index.html>>

Anonymus (2018b) RockWare (online). Dostupné z WWW: <<http://www.rockware.com/product/overview.php?id=110>>

Bartlett D. R., Bartlett, P. (1996) *Turtles and Tortoises*. Barron's Educational Series, Inc., Hong Kong, s. 377

Brázdil R. a kol. (1988) *Úvod do studia planety Země*. 1. vydání. Praha. Státní pedagogické nakladatelství, s. 365

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*, roč. 105 s. 13451–13455.

Begall S.; Burda H.; Červený J.; Gerter O.; Neef-Weisse J.; Němec P. (2011) Further Support for the Alignment of Cattle Along Magnetic Field Lines: Reply to Hert et al. *Journal of Comparative Physiology A*., roč. 197. č. 12. s. 1127–1133

Begall S.; Malkemper E. P.; Červený J.; Němec P.; Burda H. (2012) Magnetic Alignment in Mammals and Other Animals. *Mammal Biology*., roč. 78. č. 1. s. 10–20.

Begall S.; Malkemper E. P.; Červený J.; Němec P.; Burda H. (2012) Magnetic Alignment in Mammals and Other Animals. *Mammal Biology*, roč. 78. č. 1. s. 10–20.

Boles L. C., Lohmann K. J. (2003) True navigation and magnetic map in spiny lobsters. *Nature*, s. 60-63.

Bruins E., (1999) *Encyklopedie teraristiky, REBO, Čestlice*, s. 317.

Burda H., Marhold S., Westenberger T., Wiltschko W., Wiltschko R. (1990) Magnetic orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae, Rodentia). *Experimentia* roč. 46 s. 528-530.



Burda H.; Begall S.; Červený J.; Neef J.; Němec P. (2009) Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Disrupt Magnetic Alignment of Ruminants. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America.*, roč. 106. č. 14. s. 5708–5713.

Cadi A., Delmas V., Prevot-Julliard A-C., Joly P., Pieau C., Girondot M., (2004) Successful reproduction of the introduced slider turtle (*Trachemys scripta elegans*) in the South of France. *Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.*, roč. 14 s. 237-246.

Cadi A., Joly P., (2003) Competition for basking places between the endangered European pond turtle (*Emys orbicularis galloitalica*) and the introduced red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*). - *Can. J. Zool.* Roč. 81 č. 8 s. 1392-1398.

Camlitepe Y.; Aksoz V.; Uren N.; Yilmaz A.; Becenen I. (2005) An Experimental Analysis on the Magnetic Field Sensitivity of the Black-Meadow Ant *Formica pratensis* Retzius (Hymenoptera: Formicidae). *Acta biologica Hungarica*, roč. 56., s. 215–224.

Cloudsley-Thompson (1988) *Evolution and Adaptation of Terrestrial Arthropods*, s. 128.

Collett T. S.; Baron J. (1994) Biological Compasses and the Coordinate Frame of Landmark Memories in Honeybees. *Nature*, roč. 368. s. 137–140.

Conant R., Collins J. (1991) *Reptiles and Amphibians of Eastern/Central North America*. Peterson Field Guides, Houghton Mifflin Co., Boston, s. 640

Cresci A., Paris C. B., Durif C. M. F., Shema S, Bjelland R. M., Skiftesvik A. B., Browman H. I. (2017) Glass eels (*Anguilla anguilla*) have a magnetic compass linked to the tidal cycle, *Sci Adv* roč. 3 č. 6, e1602007.

Čihař J. (1993) *Plazi a obojživelníci*, ARTIA/GRANIT, Praha, s. 64

DeJong D. (1982) Orientation of comb building by honeybees. *J Comp Physiol* roč. 147 s. 495–501.

Desoil M.; Gillis P.; Gossuin Y.; Pnakhurst Q. A.; Hautot D. (2005) Definitive Identification of Magnetite Nanoparticles in the Abdomen of the Honeybee *Apis mellifera*. *Journal of Physics: Conference Series*, roč. 17. s. 45–49.

Deutschlander M. E.; Freak M. J.; Borland S. CH.; Phillips J. B.; Madden R. C.; Anderson L. E.; Wilson B. W. (2003) Learned Magnetic Compass Orientation by the Siberian Hamster, *Phodopus sungorus*. *Animal Behaviour*, roč. 65. č. 4. s. 779–786

Deutschlander M. E.; Muheim R. (2010) Magnetic Orientation In Migratory Songbirds. *Encyclopedia of Animal Behavior*, roč. 2. s. 314–323.

Diego-Rasilla F. J.; Luengo R. M.; Phillips J. B. (2005) Magnetic Compass Mediates Nocturnal Homing by the Alpine Newt, *Triturus alpestris*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, roč. 58. č. 4. s. 361–365.

Diego-Rasilla F. J.; Luengo R. M.; Phillips J. B. (2008) Use of a Magnetic Compass for Nocturnal Homing Orientation in the Palmate Newt, *Lissotriton helveticus*. *Ethology*, roč. 114. č. 8. s. 808–815.

Dröscher V. B. (1970) Magie smyslů v říši zvířat. *Orbis*, Praha, s. 229-236.

Dungel J.; Gaisler J. (2002) Atlas savců České a Slovenské republiky. 1. vydání. Praha. Academia, ISBN 80-200-1026-2, s. 150.

Eder S. H. K.; Cadiou H.; Muhamad A.; Mcnaughton P. A.; Kirschvink J. L.; Winklhofer (2012) M. Magnetic Characterization of Isolated Candidate Vertebrate Magnetoreceptor Cells. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, roč. 109. č. 30.

Etheredge J. A.; Perez S. M.; Taylor O. R.; Jander R. (1999) Monarch Butterflies (*Danaus plexippus* L.) Use a Magnetic Compass for Navigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, roč. 96. č. 24. s. 13845–13846.

Falk A. (1998) Terarijní zvířata, nakl. Granada publishing a. s., s. 251

Flydal K., Korslund L., Reimers E., Johansen F., Colman J.E. (2009) Effects of Power Lines Area Use and Behaviour of Semi-Domestic Reindeer in Enclosures. *International Journal of Ecology*, s. 14

Foley L. E.; Gegeer R. J.; Reppert S. M. (2011) Human Cryptochrome Exhibits Light-Dependent Magnetosensitivity. *Nature Communications*, roč. 2. s. 356.

Formicki K.; Sadowski M.; Tanski A.; Korzelecka-Orkisz A.; Winnicki A. (2004a) Behaviour of Trout (*Salmo trutta* L.) Larvae and Fry in a Constant Magnetic Field. *Journal of Applied Ichthyology*, roč. 20. č. 4. s. 290–294.

Formicki K.; Sadowski M.; Tanski A.; Winnicki A. (2004b) Effects of Magnetic Fields on Fyke Net Performance. *Journal of Applied Ichthyology*, roč. 20. č. 5. s. 402–406.

Fransson T.; Jakobsson S.; Johansson P.; Kullberg C.; Lind J.; Vallin A. (2001) Magnetis Cues Trigger Extensive Refuelling. *Nature*, roč. 414. č. 6859. s. 35–36.

Freake M. J.; Borland C.; Phillips J. B. (2002) Use a Magnetic Compass for Y-Axis Orientation in Larval Bullfrogs, *Rana catesbeiana*. *Copeia*, č. 2. s. 466–471.

Freake M. J.; Phillips J. B. (2005) Light-Dependent Shift in Bullfrog Tadpole Magnetic Compass Orientation: Evidence for a Common Magnetoreception Mechanism in Anuran and Urodele Amphibians. *Ethology*, č. 111. s. 241–254.

Fritz J. (1985) *Die Welt der Schildkröten*, Edition Leipzig, Leipzig, s. 235

Fuentes A.; Urrutia-Fucugauchi J.; Garduño V.; Sanchez J.; Rizzi, A. (2004) Magnetite in Black Sea Turtles (*Chelonia agassizi*) American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract id. B21B-0884.

Gould J. L.; Kirschvink J. L.; Deffeyes K. S.; Brines M. L. (1980) Orientation of Demagnetized Bees. *Journal of Experimental Biology*, č. 86. s. 1–8.

Gould J. L. (2010) Magnetoreception. *Current Biology*, roč. 20. č. 10. s. 431–435.

Gurley R. (2003) *Keeping and breeding freshwater turtles*. Living Art publishing. s. 305

Guilherme P. da Silva, Tereza C. M. de Araújo (2011) Green turtles and the crust's magnetic field *Cidade Universitária*, 50670-901, Recife -PE, Brazil.

Hanzák, J. (1969) *Světlem zvířat IV. díl - Pláštěnci, bezlebeční, ryby, obojživelníci a plazi*, Albatros Praha, s. 615

Hart V.; Kušta T.; Němec P.; Bláhová V.; Ježek M.; Nováková P.; Begall, S.; Červený J.; Hanzal V.; Malkemper E. P.; Štípek K.; Vole Ch.; Burda H. (2012) Magnetic Alignment in Carps: Evidence from the Czech Christmas Fish Market. *Ploce One*, roč. 7. č. 12. s. 1–7.

Hart V.; Malkemper E. P.; Kušta T.; Begall S.; Nováková P.; Hanzal V.; Pleskač L.; Ježek M.; Policht R.; Husinec V.; Červený J.; Burda (2013a) H. Directional Compass Preference for Landing in Water Birds. *Frontiers in Zoology*, roč. 10. č. 1. s. 1–10.

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. (2013b) Dogs are Sensitive to Small Variations of the Earth's Magnetic Field. *Frontiers in Zoology*, roč. 10. č. 80.

Heřt J., Jelínek L., Pekárek L., Pavlíček A. (2011) No alignment of cattle along geomagnetic field lines found, s. 7

Holland R. A.; Helm B. (2013) A Strong Magnetic Pulse Affects the Precision of Departure Direction of Naturally Migrating Adult but not Juvenile Birds. *Journal of the Royal Society Interface*, roč. 10. č. 81. s. 20121047

Hsu Ch-Y; LI Ch-W. (1994) Magnetoreception in Honeybees. *Nature*, roč. 265. č. 5168. s. 95–97.

Chadima M., *Magnetismus Země* (online). Vystaveno 2003, Dostupné z WWW: <<http://www.sci.muni.cz/~chadima/geomagnetismus/Geomagnetismus1.pdf>>

Chew G. L.; Brown G. E. (1989) Orientation of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) in Normal and Null Magnetic Fields. *Canadian Journal of Zoology*, roč. 67. č. 3. s. 641–643.

Jander R.; Jander U. (1998) The Light and Magnetic Compass of the Weaver Ant, *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae). *Ethology*, roč. 104. č. 9. s. 743–748.

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

Johnsen S., Lohmann K. J. (2008) Magnetoreception in animals. *Phys. Today* 61 (3): 29–35.

Janáčková A. (1995) Země jako veliký magnet. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, roč. 40. č. 4. s. 192–197.

Kirschvink J. L.; Dizon A. E.; Westpal J. A. (1986) Evidence from Strandings for Geomagnetic Sensitivity in Cetaceans. *Journal of Experimental Biology*, roč. 120. s. 1–24.

Kirschvink J. L.; Kobayashi A. (1991) Is Geomagnetic Sensitivity Real? Replication of the Walker-Bitterman Magnetic Conditioning Experiment in Honey Bees. *American Zoologist.*, roč. 31. č. 1. s. 169–186.

Kirschvink J. L.; Kobayashi-Kirschvink A.; Diaz-Ricci J. C.; Kirschvink S. J. (1992) Magnetite in Human Tissues: a Mechanism for the Biological Effects of Weak ELF Magnetic Fields. *Bioelectromagnetics*, roč. 13. č. 1. s. 101–113.

Ladbury R. (1996) Geodynamo směřuje ke stabilnímu magnetickému poli. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, roč. 41. č. 5. s. 262–265.

Landler L.; Gollmann G. (2011) Magnetic Orientation of the Common Toad: Establishing an Arena Approach for Adult Anurans. *Frontiers in Zoology*, roč. 8. č. 6. s. 1–9.

Leucht T. (1984) Responses to Light Under Varying Magnetic Conditions in the Honeybee, *Apis mellifica*. *Journal of Comparative Physiology A.*, roč. 154. č. 6. s. 865–870.

Leucht T. (1990) Interactions of Light and Gravity Reception With Magnetic Fields in *Xenopus laevis*. *Journal of Experimental Biology*, č. 148. s. 325–334.

Leucht T.; Martin H. (1990) Interactions Between E-Vector Orientation and Weak, Steady Magnetic Fields in the Honeybee, *Apis mellifica*. *Naturwissenschaften*, roč. 77. č. 3. s. 130–133.

Light P.; Salmon M.; Lohmann K. J. (1993) Geomagnetic Orientation of Loggerhead Sea Turtles: Evidence for an Inclination Compass. *Journal of Experimental Biology*, č. 182. s. 1–10.

Linnebach E. A New Mechanism of a Cell-based Electrochemical Magnetoreceptor (online). Vystaveno: 2013, Dostupné z WWW: <[https://www.researchgate.net/publication/256296586\\_A\\_new\\_mechanism\\_of\\_a\\_cell-based\\_electrochemical\\_magnetoreceptor](https://www.researchgate.net/publication/256296586_A_new_mechanism_of_a_cell-based_electrochemical_magnetoreceptor)>

Lohmann K. J. (1991) Magnetic orientation by hatchling loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) K. J. Lohmann, *Journal of Experimental Biology* 1991 155: 37-49

Lohmann K. J.; Lohmann C. M. F. (1993) A Light-Independent Magnetic Compass in the Leatherback Sea Turtle. *The Biological Bulletin*, roč. 185. č. 1. s. 149–151.

Lohmann K. J., Lohmann C.M.F (1994) Detection of magnetic inclination angle by sea turtles: A possible mechanism for determining latitude, s. 10

Lohmann K. J.; Lohmann C. M. F. (1998) Migratory Guidance Mechanisms in Marine Turtles. *Journal of Avian Biology*, roč. 28. s. 585–596.

Lohmann K. J.; Lohmann C. M. F.; Putman, N. (2007) Magnetic Maps in Animals: Nature's GPS. *The Journal of Experimental Biology*, roč. 210. s. 3697–3705.

Lohmann K. J. (2010) Animal behaviour: Magnetic-field perception. *Nature* 464: 1140–1142.

Lohmann K. J.; Putman N. F.; Lohmann C. M. F. (2012) The Magnetic Map of Hatchling Loggerhead Sea Turtles. *Current Opinion in Neurobiology*, roč. 22. s. 336–342

Maher B. A. (1998) Magnetite Biomineralization in Termites. *Proceedings: Biological Sciences*, roč. 265. č. 1397. s. 733–737.

Martínek F., Magnetické pole Země (online). Vystaveno 2004 (2018-03-03), Dostupné z WWW: <<http://www.astro.cz/clanek/tisk/1188>>

Marek C.; Bissantz N.; Curio E.; Siegert A.; Tacud B.; Ziggel D. (2010) Spatial Orientation of the Philippine Bent-Toed Gecko (*Cyrtodactylus philippinus*) in Relation to its Home Range. *Salamandra*, roč. 46. č. 2. s. 93–97.

Mlíkovský J., Stýblo P. (2006) Nepůvodní druhy fauny a flóry České republiky, ČSOP, Praha, s. 496.

Moravec J. (2006) *Trachemys scripta* (Schoepff, 1792) – želva nádherná. In: Mlíkovský J. et

Mourtisen H., Frost B. J. (2002) Virtual migration in tethered flying monarch butterflies reveals their orientation mechanisms, s. 10162–10166.

Muheim R.; Edgar N. M.; Sloan K. A.; Phillips J. B. (2006) Magnetic Compass Orientation in C57BL/6J Mice. *Learning and Behavior*, roč. 34. č. 4. s. 366–373.

Němec P.; Altmann J.; Burda H.; Oleschlagel H. H. A. (2001) Neuroanatomy of Magnetoreception: The Superior Colliculus Involved in Magnetic Orientation in a Mammal. *Science*, roč. 294. č. 5541. s. 366–368.

Nishimura T.; Okano H.; Tada H.; Nishimura E.; Sugimoto K.; Mohri K.; Fukushima M. (2010) Lizards Respond to an Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field. *The Journal of Experimental Biology*, č. 213. s. 1985–1990.

Nordmann G. C, Hochstoeger T., Keays D. A. (2017) Magnetoreception a sense without a receptor.

Olmer J.; Pintér Š. (1975) Sluneční vítr. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie.*, roč. 20. č. 2. s. 84–90.

Paulin M. G. (1995) Electoreception and the Compass Sense of Sharks. *Journal of Theoretical Biology*, č. 174. s. 325–339.

Phillips J. B.; Sayeed O. (1993) Wavelength-Dependent Effects of Light on Magnetic Compass Orientation in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Comparative Physiology A*, roč. 172. č. 3. s. 303–308.

Phillips J. B.; Borland Ch. (1994) Use of a Magnetireception System for Homing by the Eastern Red-Spoted Newt *Notophthalmus viridescens*. *Journal of Experimental Biology*, roč. 188. s. 275–291.

Prato F. S.; Desjardins-Holmes D.; Keenliside L. D.; McKay J. C; Robertson J. A.; Thomas A. W. (2009) Light Alters Nociceptive Effects of Magnetic Field Shielding in Mice: Intensity and Wavelength Considerations. *Journal of Royal Society Interface*, roč. 6. č. 30. s. 17–28.

Prato F. S.; Desjardins-Holmes D.; Keenlside L. D.; Demoor J. M.; Robertson J. A.; Thomas A. W. (2013) Magnetoreception in Laboratory Mice: Sensitivity to Extremely Low-Frequency Fields Exceeds 33 nT at 30 Hz. *Journal of Royal Society Interface*, roč. 10. s. 20121046.

Půžová T. (2007) Vliv světla na magnetorecepční chování potměníka moučného (*Tenebrio molitor* L.). Diplomová práce. Brno. Masarykova univerzita.

Quinn T. P.; Merrill R. T.; Brannon E. L. (1981) Magnetic Field Detection in Sockeye Salmon. *Journal of Experimental Zoology*, roč. 217. č. 1. s. 137–142.

Ritz T., Adem S., Schulten K. (2000) A Model for Photoreceptor-Based Magnetoreception in Birds, *Biophysical Journal*, roč. 8, s. 707-718.

Rodda G. H. (1984) The Orientation and Navigation of Juvenile Alligators: Evidence of Magnetic Sensitivity. *Journal of Comparative Physiology A*, roč. 154. č. 5. s. 649–658.

Sa I. V. A. de; Solari C. A. (2001) Salmonella in Brazilian and imported pet reptiles. - *Braz. J. Microbiol.* roč. 32, č. 4 s. 293-297.

Schlegel P. A.; Renner H. (2007) Innate Preference for Magnetic Compass Direction in the Alpine Newt, *Triturus alpestris* (Salamandridae, Urodela)? *Journal of Ethology*, roč. 25. č. 2. s. 185–193

Slowik T. J.; Thorvilson G. (1996) Localization of Subcuticular Iron-Containing Tissue in the Red Imported Fire Ant. *Southwestern Entomologist*, roč. 21. č. 3. s. 247–253.

Shakhparonov V. V.; Ogurtsov S. V. (2016) Marsh frogs, *Pelophylax ridibundus*, determine migratory direction by magnetic field, roč. 203, s. 35-43.

Schmitz S. (1998) Terarijní zvířata, SLOVO, s. 128.

Solov'yov I. A.; Greiner W. (2009) Iron-mineral-based Magnetoreceptor in Birds: Polarity or Inclination Compass? *The European Physical Journal D.*, roč. 51. s. 161–172.

Stapput K., Güntürkün O., Hoffmann K. P., Wiltschko R., Wiltschko W. (2010) Magnetoreception of Directional Information in Birds Requires Nondegraded Vision. *Current Biology*, s 4.

Srygley R. B.; Dudley R.; Oliveira E. G.; Riveros A. J. (2006) Experimental Evidence for a Magnetic Sense in Neotropical Migrating Butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Animal Behaviour*, roč. 71. č. 1. s. 183–191

Tesch F. W. (1974) Influence of Geomagnetism and Salinity on the Directional Choice of Eels. *Helgoländer wiss. Meeresunters*, roč. 26. s. 382–395.

Thalau P.; Ritz T.; Burda H.; Wegner R. E.; Wiltscho R. (2006) The Magnetic Compass Mechanism of Birds and Rodents are Based on Different Physical Principles. *Journal of the Royal Society Interface*, roč. 3. č. 9. s. 583–587.

Tomanová K. (2009) Test magnetorecepce potemníka hnědého (*Trilobium castaneum*). Diplomová práce. Brno. Masarykova univerzita.

Uebe R, Schuler D, (2016) Magnetosome biogenesis in magnetotactic bacteria. *Nat Rev Microbiol* roč. 14 s. 621–637. pmid: 27620945.

Vácha M.; Drštková D.; Půžová T. (2008) Tenebrio Beetles Use Magnetic Inclination Compass. *Naturwissenschaften*, roč. 95. č. 8. s. 761–765.

Vácha M., Němec P. (2007a) Orientace v geomagnetickém poli. *Kompas a mapa. Vesmír.*, s. 5.

Vácha M., Němec P. (2007b) Mechanismy magnetorecepce. *Vesmír*, s. 6.

Vácha M., Kvíčalová M., Půžová T., (2010) American cockroaches prefer four cardinal geomagnetic positions at rest. *Behavior, Vanderstraeten*, roč. 147 č. 65 s. 425-440.

Válková T. (2010) Na světle závislá magnetorecepce hmyzu. Rigorózní práce. Brno. Masarykova univerzita.

Vowles D. M. (1954) The Orientation of Ants II. Orientation to Light, Gravity and Polarized Light. *Journal of Experimental Biology*, roč. 31. s. 356–357.

Votýpka J. (2007) Navigace a orientace u zvířat. *Geografické rozhledy*, s. 2.

Wajnberg E.; Actosa-Avalos D.; El-Jaick L. J.; Abracado L.; Coelho J. L.; Bakuzis A. F.; Morais P. C.; Esquiold M. (2000) Electron Paramagnetic Resonance Study of the Migratory Ant *Pachycondyla marginata* Abdomens. *Biophysical Journal*, roč. 78. č. 2. s. 1018–1023.

Wilke H. (1998) *Želvy*, nakl. Vašut, Praha, s. 60.

Williams M. N.; Wild J. M. (2001) Trigeminally Innervated Iron-Containing Structures in the Beak of Homing Pigeons, and Other Birds. *Brain Research*, roč. 889. č. 1–2. s. 243–246.

Wiltschko R.; Denzau S.; Gehring D.; Thalau P.; Wiltschko (2011) W. Magnetic Orientation of Migratory Robins, *Erithacus rubecula*, under LongEavelength Light. *Journal of Experimental Biology*, roč. 214. s. 3096–3101.



- Wiltschko W.; Wiltschko R. (1972) Magnetic Compass of European Robins. *Science*, roč. 176. č. 4030. s. 62–64.
- Wiltschko W., Wiltschko R. (1995) *Magnetic orientation in Animals*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Wiltschko W., Wiltschko R. (1996) Magnetic orientation in birds. *J. Exp. Biol.*, roč. 199 č. 29 s. 38.
- Wiltschko R.; Wiltschko W. (2005) Magnetic Orientation and Magnetoreception in Birds and Other Animals. *Journal of Comparative Physiology A.*, roč. 191. s. 675–693.
- Wiltschko R.; Wiltschko W. (2006) W. Magnetoreception. *BioEssays*, roč. 28. č. 2. s. 157–168.
- Wiltschko R., Wiltschko W. (2012b) The magnetite-based receptors in the beak of birds and their role in avian navigation. *Comp. Physiol.*, s. 10.
- Wilzeck Ch.; Wiltschko W.; Guunturkun O.; Wiltschko R.; Prior H. (2010) Lateralization of Magnetic Compass Orientation in Pigeons. *Journal of Royal Society Interface*, roč. 7. s. 235–240.
- Winklhofer M. (2010) Magnetoreception, *J. R. Soc. Interface*, 7, S131-S134.
- Yan L.; Tao S. (2013) Avian Magnetoreception Model Realized by Coupling Magnetite-based Mechanism with Radical-pair-based Mechanism. *Chinese Physics B.*, 04870-1-048701-8, roč. 22. č. 4. s.
- Yano A.; Ogura M.; Sato A.; Sakaki Y.; Shimizu Y.; Baba N.; Nagasawa K. (1997) Effect of Modified Magnetic Field on the Ocean Migration of Maturing Chum Salmon, *Oncorhynchus keta*. *Marine Biology*, roč. 129. s. 523–530.
- Zajíček R. (2002) Želva nádherná není zvíře domácí, *Akvarium terárium*, roč. 45, č. 10 s. 60-63.
- Zych J. (2000) *Želvy*. Nakl. Brázda, Praha s. 137.