

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra myslivosti a lesnické zoologie



Zjištění role magnetického pole jako podkladu pro homing

u myšice křovinné

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Poláková

Vedoucí práce: doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kateřina Poláková

Lesnictví
Provoz a řízení myslivosti

Název práce

Zjištění role magnetického pole jako podkladu pro homing u myšice křovinné

Název anglicky

Investigating the role of magnetic field cues underlying long-distance homing responses in Wood mouse

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je prokázat nebo vyvrátit magnetosensitivitu u myšice křovinné, jako modelového druhu pro zjišťování homingu u savců. Dále pak za pomoci experimentů v elektromagnetické cívce zjistit, zda u myšice křovinné může být schopnost homingu ovlivněna magnetickým polem Země.

Metodika

V lokalitě Truba (Kostelec nad Černými lesy) chytat alespoň na dvou lokalitách do živolovných pastí myšice křovinné, které budou před vlastním pokusem uzavřeny do elektromagneticky odstíněné klece. V samotném experimentu, umístit myšice do kruhových nádob, kde bude nasypán podkladový materiál a materiál vhodný na stavbu hnízd (seno, papír, vata, atd.). Po vystavění hnízda budou myšice vypuštěny zpět do přírody a bude změřen směr hnízda směrem od středu k okraji nádoby. Před novým experimentem musí být nádoba co nejlépe vyčištěna, aby nedošlo k pachové kontaminaci předchozím pokusem. V elektromagnetické cívce bude magnetické pole uměle otáčeno, aby byl zjištěn vliv změněného magnetického pole na tvorbu hnízd myšic.

Zjištěné výsledky vyhodnotit pomocí statistického programu Oriana. Zaměřit se hlavně na orientaci hnízd ve vztahu k zemskému magnetickému poli a orientaci k lokalitám, kde byly myšice odchyceny.

Harmonogram:

Literární rešerše bude zpracována do 30. listopadu 2018 a předložena školiteli. Rukopis bakalářské práce bude předložen ke kontrole do 28. února 2019. Bakalářská práce bude po předchozích konzultacích s vedoucím práce odevzdána na studijní oddělení FLD v termínu a dle pokynů studijního oddělení.

Doporučený rozsah práce

cca 30 – 40 stran

Klíčová slova

Magnetorecepce, homing, magnetické pole země, myšice křovinná,

Doporučené zdroje informací

- BEGALL, S.; ČERVENÝ, J.; NEEF, J.; VOJTĚCH, O.; BURDA, H. 2008: Magnetic alignment in grazing and raring cattle and deer; Proceedings of the National Academy of Science of the USA, s. 13451 – 13455. doi:10.1073/pnas.0803650105.
- BEGALL, S.; MALKMER, E. P.; ČERVENÝ, J.; NĚMEC, P.; BURDA, H. 2013: Magneticalingment in mammals and other animals. Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkunde. 78, s. 10-20. ISSN 1616-5047.
- BERK, M.; DODD, S.; HENRY, M. 2006: Do ambient electromagnetic fields affect behaviour? A demonstrativ of the relationship between geomagnetic storm aktivty and suicide. Bioelectromagnetics 27: 151-155.
- BURDA, H.; BEGALL, S.; ČERVENÝ, J.; NEEF, J.; NĚMEC, P. 2009: Extremely low frequency electromagnetic fields disrupt magneticalignment of ruminants. Proceedings of the national Academy of Science of the USA. 106. 5708-5713. doi. 10.1073/pnas.0811194106.
- COURTILLOT, V.; LE MOUËL, J. L. 1988: Time variations of the Earth's magnetic field: from daily to secular. Ann. Rev. Earth Planet Sci. 16: 389-476.
- DIMITROVA, S.; STOILOVA, I.; CHOLAKOV, I. 2004: Influence of local geomagnetic storms on arterial blood pressure. Bio-elektromagnetics 25: 408-414.
- HART, V.; KUŠTA, T.; NĚMEC, P.; BLÁHOVÁ, V.; JEŽEK, M.; NOVÁKOVÁ, P.; BEGALL, S.; ČERVENÝ, J.; HANZAL, V.; MALKMER, E. P.; ŠTÍPEK, K.; VOLE, CH.; BURDA, H. 2012: Magnetic alignment in Caps : Evidence from the Czech Christmasfisch market. PloS ONE. 7. e51100. doi: 10.1371/journal.pone.0051100.
- HART, V.; MALKMER, E. P.; KUŠTA, T.; BEGALL, S.; NOVÁKOVÁ, P.; PLESKAČ, L.; JEŽEK, M.; POLICHT, R.; HUSINEC, V.; ČERVENÝ, J.; BURDA, H. 2013a: Directional compass preference for landing in waterbirds. Frontiers in Zoology. doi: 10.1186/1742-9994-10-38.
- HART, V.; NOVÁKOVÁ, P.; MALKMER, P. E.; BEGALL, S.; HANZAL, V.; JEŽEK, M.; NĚMCOVÁ, V.; ADÁMKOVÁ, J.; BENEDIKTOVÁ, K.; ČERVENÝ, J.; BURDA, H. 2013b: Dogs are sensitive to small variations of the Eart's magnetic field. Frontiers in Zoology. ISSN 1742-9994.
- KEETON, W. T.; LARKIN, T. S.; WINDSOR, D. M. 1974: Normal fluctuations in the earth's magnetic field influence pigeon orientation. J. Comp. Physiol. 95: 95-103.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Konzultant

Painter Michael, Dr.

Elektronicky schváleno dne 21. 8. 2018

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma "Zjištění role magnetického pole jako podklad pro homing u myšice křovinné" vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Vlastimila Harta, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V..... dne.....

Podpis autora

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Vlastimilu Hartovi, Ph.D. a Michaelu Scott Painterovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc, trpělivost a ochotu. Dále mé drahé kolegyni Bc. Markétě Kunkelové za podporu a pomoc při získávání dat. Další díky patří panu prof. Ing. Jaroslavu Červenému, CSc. za záchranu v podobě vypůjčení jeho živolvných pastí. A v neposlední řadě děkuji svému snoubenci Křištofu Řezáčovi za jeho duševní podporu a trpělivost se mnou vše vydržet.

Abstrakt

Magnetorecepce, jakožto schopnost živočichů detekovat parametry magnetického pole byla popsána u řady fylogeneticky velmi vzdálených živočišných druhů, včetně savců. Směrové informace poskytované geomagnetickým polem využívají jak živočichové, kteří během života pravidelně migrují, tak živočichové, kteří nemigrují. Cílem bakalářské práce bylo prokázat nebo vyvrátit magnetosensitivitu u myšice křovinné, jako modelového druhu pro zjišťování homingu (schopnost zvířete vrátit se do domovského okrsku přes neznámé území) u savců. Dále pak za pomoci experimentů v elektromagnetické cívce zjistit, zda u myšice křovinné může být při homingu využívána schopnost percepce magnetického pole Země, tedy magnetorecepce. V období od června 2018 do srpna 2019 bylo sledováno 62 myšic křovinných. V lokalitě Truba (Kostelec nad Černými lesy) a jejím okolí byly na sedmi lokalitách chytány do živolovných pastí myšice křovinné, které byly před vlastním pokusem uzavřeny do elektromagneticky odstíněné klece. V samotném experimentu byly myšice umístěny do kruhových nádob, venkovních a vnitřních, kde byl nasypán podkladový materiál spolu s vatou, jakožto materiálem vhodným na stavbu hnízd. Po vystavění hnízda byly myšice vypuštěny zpět do přírody a byla vyhodnocena pozice hnízda směrem od středu k okraji nádoby. Výjimkou byly re-testované myšice u kterých byl pokus opakován. Magnetické pole bylo uměle otáčeno v elektromagnetické cívce, aby byl zjištěn vliv změněného magnetického pole na tvorbu hnízd myšic.

Výsledky se zaměřovaly hlavně na orientaci hnízd ve vztahu k topografickému a uměle posunutému magnetickému poli a orientaci k lokalitám, kde byly myšice odchyceny.

Uvedené výsledky potvrzují magnetosensitivitu myšice křovinné a její schopnost homingu (re-testované myšice), dávají však podnět k dalšímu zkoumání chování myšic ve změněném magnetickém poli.

Klíčová slova: Magnetorecepce, homing, magnetické pole Země, myšice křovinná, *Apodemus sylvaticus*

Summary

Magnetoreception, as the ability of animals to detect magnetic field parameters, has been described in a number of phylogenetically very distant species, including mammals. The directional information provided by the geomagnetic field is used by both animals who regularly migrate during their lives and animals that do not migrate. The aim of bachelor thesis was to prove or disprove magnetosensitivity in the wood mouse, as a model species for detecting homing (the ability of an animal to return to its home district through unknown territory) in mammals. Furthermore, with the help of experiments in an electromagnetic coil, to find out whether the ability of the wood mouse to perceive the Earth's magnetic field, ie magnetoreception, can be used in homing. Between June 2018 and August 2019, 62 wood mice were observed. In the locality Truba (Kostelec nad Černými lesy) and near places, the wood mice were trapped in seven habitats. These mice were enclosed in an electromagnetically shielded cage before the experiment. In the experiment itself the mice were placed in circular containers, outdoor and indoor, where the clay was added along with cotton as a nesting material. After nesting, the mice were released back into the wild and the position of the nest was evaluated from the center to the edge of the container. The exception was re-tested mice in which the experiment was repeated. The magnetic field was artificially rotated in an electromagnetic coil to determine the effect of altered magnetic field on mouse nesting. The results focused mainly on the orientation of the nests in relation to the Earth's and rotated magnetic field, and orientation to the locations where the mice were trapped.

These result confirm the magnetosensitivity of the wood mice and its homing ability (re-tested mice), but give impulse to further investigation of the behavior of the wood mice in the rotated magnetic field.

Keywords: magnetoreception, homing, Earth's magnetic field, Wood mouse, *Apodemus sylvaticus*

Obsah

Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	10
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	11
Terminologický slovník.....	13
1 Úvod a cíl práce.....	14
2 Literární rešerše.....	15
2.1 Magnetické pole Země.....	15
2.1.1 Změny magnetického pole Země.....	17
2.2 Magnetorecepce živočichů.....	18
2.2.1 Magnetický kompas.....	20
2.2.2 Magnetická mapa.....	21
2.2.3 Spontánní magnetický alignment.....	24
2.2.4 Homing.....	26
3 Metodika.....	28
3.1 Studovaný druh.....	28
3.2 Lokality výzkumu a odchyty.....	28
3.3 Živolovné pasti.....	28
3.4 Průběh odchyty a testování.....	29
3.5 Elektromagnetická cívka.....	32
3.6 Sběr a zanesení dat.....	33
3.7 Příprava pomůcek používaných při výzkumu.....	34
3.8 Statistika.....	34
4 Výsledky.....	36
4.1 Vyhodnocení jedinců testovaných 1 noc.....	36
4.2 Vyhodnocení jedinců testovaných 2 noci, noc 1.....	38
4.3 Vyhodnocení jedinců testovaných 2 noci, noc 2.....	40
4.4 Celkové shrnutí.....	43
5 Diskuze.....	44
6 Závěr.....	47
7 Seznam literatury a použitých zdrojů.....	48

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Obrázek 1: Schématické znázornění magnetického pole Země	16
Obrázek 2: Inklinační mapa magnetického pole Země	22
Obrázek 3: Mapa intenzity magnetického pole Země.....	22
Obrázek 4: Znázornění odchytových lokalit.....	29
Obrázek 5: Elektromagneticky odstíněná klec	31
Obrázek 6: Schéma boxu	31
Obrázek 7: Schéma testovací arény	32
Obrázek 8: Zanesení dat z arény.....	34
Graf 1: Angulární distribuce hnízd	36
Graf 2: Angulární distribuce hnízd	37
Graf 3: Angulární distribuce hnízd	39
Graf 4: Angulární distribuce hnízd	40
Graf 5: Angulární distribuce hnízd	41
Graf 6: Angulární distribuce hnízd	42
Tabulka 1: Statistická analýza angulární distribuce hnízd.....	36
Tabulka 2: Statistická analýza angulární distribuce hnízd.....	37
Tabulka 3: Statistická analýza angulární distribuce hnízd.....	38
Tabulka 4: Statistická analýza angulární distribuce hnízd.....	40
Tabulka 5: Statistická analýza angulární distribuce hnízd.....	41
Tabulka 6: Statistická analýza angulární distribuce hnízd.....	42

Seznam použitých zkratek a symbolů

Fe – železo

Ni – nikl

S – síra

O – kyslík

Si – křemík

Mg – hořčík

X – severní složka

Y – východní složka

Z – vertikální složka

H – horizontální složka

D – deklinace

Z – vertikální složka

° – stupeň

' – minuty zeměpisné šířky a délky

" – vteřiny zeměpisné šířky a délky

N – sever

E – východ

km – kilometr

m – metr

ha – hektar

h – hodina

ks – kusů

x - krát

např. – například

apod. – a podobně

atd. – a tak dále

tzv. – takzvaný

tzn. – to znamená

IGRF – mezinárodní geomagnetické referenční pole

resp. – respektive

FLD – Fakulta lesnická a dřevařská

UV záření – ultrafialové záření

S – sever

J – jih

V – východ

Z – západ

Terminologický slovník

Alignment. – přednostní orientace těla živočicha podle siločar magnetického pole Země

Anomálie – odchýlení od normálního jevu

Apetenční chování – chování zvířat při hledání – potravy, partnera atd.

Aproximace – odhad

Atraktant – návnada

Bimodální – dvou-vrcholové rozložení zkoumaných dat

Deklinace – úhel mezi směrem horizontální složky a geografickým severem

Domovský okrsek – oblast normálně obývaná živočichem

Drift – vychýlení

Etologie – věda zabývající se chováním živočichů

Fylogeneze – vývoj druhů

Geomagnetické pole – pole popsané velikostí vektoru, třemi kartézskými složkami a dvěma úhly určujícími jeho směr

Gradient – změna hodnoty fyzikální veličiny v závislosti na jiné proměnné

Habitat – místo výskytu určitého organismu

Homing – schopnost vrátit se do domovského okrsku přes neznámé území

Inklinace – úhel mezi vektorem magnetické indukce a směrem horizontální složky

Inklinační kompas – schopnost využití sklonu vektoru magnetického pole vůči rovině Země

Ionosféra – část atmosféry ovlivňující šíření elektromagnetických signálů

Izodynamama – linie na mapě spojující oblasti se stejnou intenzitou magnetického pole

Kvadrimodální – čtyř-vrcholové rozložení zkoumaných dat

Magnetická mapa – schopnost určit geografickou polohu s pomocí magnetického pole a dle ní určit směr k cíli

Magnetické severní pole – sever, s kterým je možno manipulovat v magnetické cívice

Magnetorecepce – schopnost živočichů vnímat magnetické pole Země

Magnetosensitivita – vnímavost k magnetickému poli Země

Migrace – periodický přesun živočichů

Polarita – dvojpólovost

Polaritní kompas – schopnost rozlišení polarity vektoru magnetického pole

Sekulární variace – dlouhodobé změny magnetického pole

Siločáry – myšlené čáry představující směr silového působení

Topografické severní pole – skutečný sever, je neměnný a s jeho pozicí nelze manipulovat

Triaxiální – tříosý

1 Úvod a cíl práce

Již řadu let se v zájmu přírodovědců ocitá schopnost některých organismů vnímat magnetické pole Země a využívat jej ke své orientaci. Magnetická orientace byla studována u mnoha druhů organismů od bakterie až po člověka. (Wiltschko & Wiltschko 1995).

Magnetické pole Země představuje velmi spolehlivý a všudypřítomný zdroj informací pro všechny organismy, které jsou k příslušnému parametru citlivé. Hlavními parametry tohoto pole, které zvířata využívají jako vodítka, jsou intenzita, inklinace nebo polarita. Díky nim mohou získávat údaje o směru, pozici a čase, a ty pak využít při migrační aktivitě od méně než jednoho metru po více než tisíc kilometrů, k orientaci v domovském okrsku, při homingu, nebo jen k nalezení polohy při stavbě hnízda (Wiltschko & Wiltschko, 1995; Moritz et al., 2007 in Begall et al., 2007).

Magnetická orientace byla nejlépe prostudována u ptáků a také např. u mořských želv, tedy u zvířat, která podnikají dlouhé migrační cesty, další skupiny jsou probádány poněkud méně (Johnsen a Lohmann, 2005).

Nejčastěji je spojována s orientací a navigací na dlouhé vzdálenosti (Walker et al., 2002), ale zahrnuje také spontánní neorientační projevy, např. magnetický alignment (Begall et al. 2008).

Hlodavci staví svá hnízda v odpovědi na magnetické pole Země (Kimchi & Terkel, 2001, Marhold et al., 1997), nebo používají magnetický kompas k navigaci (Holland et al., 2006).

Cílem bakalářské práce bylo prokázat nebo vyvrátit magnetosensitivitu myšice křovinné, jako modelového druhu pro zjišťování homingu u savců. Dále pak pomocí experimentů v elektromagnetické cívce zjistit, zda u myšice křovinné může být schopnost homingu ovlivněna magnetickým polem Země.

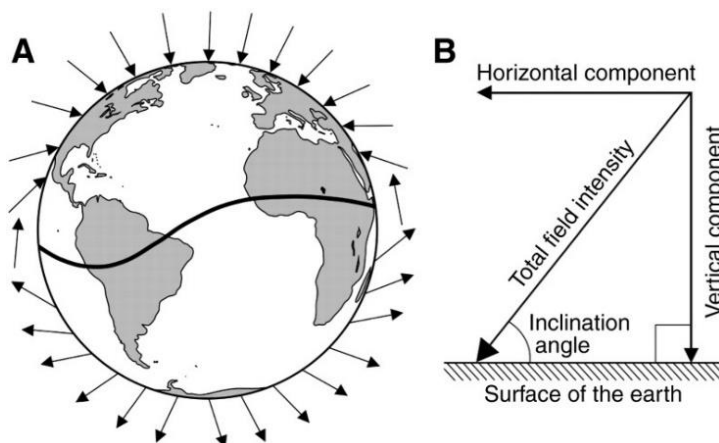
2 Literární rešerše

2.1 Magnetické pole Země

Planetu Zemi je možné si představit jako velký magnet, který je tvořen velmi silným magnetickým polem. Magnetické pole Země vzniká uvnitř zemského jádra, které obsahuje dvě části, a to jádro vnější a vnitřní. Obě tato jádra jsou rozdílného skupenství – vnější tekuté (Fe+Ni) a vnitřní pevné (Fe+Ni+S+O+Si+Mg) (Wiltschko & Wiltschko, 1995). Magnetické pole Země sahá až 100 tisíc km daleko od planety a lze ho znázornit siločarami, které jsou deformovány působením slunečního záření. Magnetické pole Země se vytváří při cirkulaci vnějšího zemského a vnitřního pevného jádra planety, a tento proces je většinou vysvětlován pomocí tzv. dynamového efektu. Toto magnetické pole není neměnné. V průběhu času se mění pozice a polarita magnetických pólů, ale i intenzita magnetického pole. K výraznějším změnám však dochází jednou za 200-300 tisíc let (Jelínek, 2010). Magnetické pole Země je dále ovlivňováno magnetickými nerosty a horninami, které způsobují lokální odchylky od magnetického pole, tvoří tzv. anomálie, dále je pole ovlivněno elektrickými proudy vyskytujícími se nad naší planetou (Wiltschko & Wiltschko, 1995).

Magnetické pole lze popsat jako vektor, který má v každém svém bodě směr a určitou velikost. V tomto případě se jedná o vektor se třemi body a tvoří tak trojrozměrný prostor. Magnetické pole tak lze popsat dvěma způsoby: dle tří ortogonálních vektorů (XYZ) či dle horizontální, vertikální složky a úhlu deklinace (HDZ). Výsledný úhel, který tento vektor svírá, se nazývá inklinací. Jednotlivé hodnoty této inklinace jsou velmi rozdílné na pólech a čím blíže se přibližujeme k rovníku, tím se jednotlivé hodnoty snižují, inklinace na rovníku se rovná 0° (Wiltschko & Wiltschko, 1995). Lze tedy říci, že jednotlivé magnetické siločáry vystupují na zemský povrch z jižního magnetického pólu, obtácejí Zemi a vracejí se na magnetický pól severní (Obrázek 1) (Jelínek, 2010).

Nelze však v tomto případě vnímat magnetický pól jakožto pól geografický. Oba tyto póly mají zcela jinou polohu. Místo, kde dochází k rovnoběžnému pohybu siločar, je nazýváno magnetický rovník. Ve skutečnosti jsou tedy zemské magnetické pole i jeho póly odkloněny od osy otáčení přibližně o 11°. Přesnou polohu magnetických pólů však změřit nelze, poloha se liší dle aproximace magnetického pole a dle toho, jak jsou dané póly definovány (Elsasser, 1939).



Obrázek 1: (A) Schématické znázornění magnetického pole Země, Siločáry magnetického pole prostupují povrchem Země a jejich sklon (inklinace) se mění se zeměpisnou šířkou; (B) Diagram znázorňující komponenty magnetického pole, které mohou zvířatům poskytnout poziční informaci. Horizontální vektor, vertikální vektor, celková intenzita a úhel inklinace (Lohmann et al. 2007).

Hlavní magnetické pole Země je charakteristické jako tzv. dipól, tvarem je totožné s magnetickým polem tyčového magnetu a v některé z literatur ho lze nalézt pod označením dipólové pole (Elsasser, 1939). Siločáry magnetického pole prostupují celým povrchem Země. Sklon siločar čili inklinace se mění s měnící se zeměpisnou šířkou. Na magnetickém rovníku jsou siločáry rovnoběžné s povrchem a inklinací úhel je roven 0° . Úhel se zvětšuje směrem k pólům, na kterých dosahuje 90° . Stejně tak se mění intenzita magnetického pole Země, která roste směrem od magnetického rovníku k pólům (Wiltschko & Wiltschko, 1995; Wiltschko & Wiltschko, 2005).

Magnetické pole Země tedy nelze přesným způsobem popsat. Jednou z možností je jej aproximovat, tedy odhadnout, díky dipólu umístěném do středu Země. Samotná geografická místa těchto pólů jsou následně definována dle míst, kde dojde k protnutí se zemským povrchem. Ve skutečnosti je díky tomuto postupu možné zjistit, že zemské magnetické pole i jeho póly jsou odkloněny od osy rotace Země přibližně o 11° . Jiným způsobem, jak určit polohu magnetických pólů, je složitější, ale zároveň přesnější aproximace. V tomto případě je hypotetický dipól posunut mimo střed Země. Zároveň vyvstávají dvě možnosti, jak dané póly definovat. Jedním způsobem je dle místa, kde osa dipólu protne zemský povrch, či dle druhého způsobu jako místo, kde magnetické indukční čáry vstupují do země a vystupují v úhlu 90° (Elsasser, 1939).

Nejpřesněji však intenzitu a směr geomagnetického pole na každém bodě na Zemi zpracoval International Geomagnetic Reference Field, zkratka IGRF. Jedná se o matematický model, získaný skrze Gaussovu sféricko-harmonickou analýzu. Tato analýza byla zpracována dle spolehlivě zaměřených údajů po celém světě. Poloha jednotlivých magnetických pólů je zde

stanovena dle indukčních čar, které vstupují a vystupují pod 90° úhlem (Macmillan & Finlay, 2011 in Manda & Korte, 2011).

2.1.1 Změny magnetického pole Země

Dle dlouhodobého zkoumání magnetického pole bylo zjištěno, že se magnetické pole Země může právě za působení času změnit, a to v síle, směru a polaritě. Tyto změny probíhají v důsledku tzv. sekulárních variací (Cochran et al. 2004).

Časově krátké změny neboli variace jsou rychlé změny pole Země a jsou vyvolány vnějšími vlivy, zejména pak elektrickými proudy tekoucími v ionizovaných vrstvách ionosféry. Samotné vlivy lze dále dělit na variace periodické a nepravidelné. Periodické vznikají díky vzájemnému působení Slunce a Měsíce. Nepravidelné variace jsou naopak způsobovány erupcemi na povrchu Slunce. Tyto erupce způsobují vyvrhování rychle letících elektricky nabitých částic, které dále interagují s magnetickým polem. Tento jev letících elektrických částic lze hledat pod názvem sluneční vítr. Z důvodu těchto změn, které probíhají mimo povrch Země se na zemském povrchu objevují tzv. magnetické poruchy a bouře a způsobují dále také velmi známou polární zář (Skiles, 1985 in Kirschvink et al., 1985).

Kompletní obrácení polarity pole Země je možné pozorovat přibližně každých 300 000 let, poslední obrácení však bylo zjištěno před 780 000 lety. Při tomto otočení polarity Země se objevilo několik „pólů“ i ve středních zeměpisných šířkách (Leonhardt & Fabian, 2007). Důležité je, že úplné obrácení magnetického pole trvá několik tisíc let, tudíž se organismy mohou pomalu adaptovat na změny pole, které se týká jeho směru a síly (Winklhofer, 2009).

Při změnách v magnetickém poli Země lze také pozorovat posun jednotlivých pólů na Zemi. Jak již bylo zmíněno, geomagnetická osa a osa rotace Země svírají úhel, ten zůstává nezměněn, avšak samotné geomagnetické póly rotují velmi pomalu kolem pólů geografických. Tato rotace se projevuje na indukčních čarách stejných hodnot (tzv. izodynamách) a to v nedipólové části magnetického pole, přičemž izodynamy/magnetické pole tvoří na zemském povrchu oka různých velikostí. Tato oka, kterých lze v současné době na planetě pozorovat přesně šest, se pomalu přesouvají směrem k západu. Samotný jev je dle směru, v němž se oka pohybují, označován jako západní drift (Skiles, 1985 in Kirschvink et al., 1985).

Úhel mezi geografickým a magnetickým severem (tzv. deklinace), se odchyluje rychlostí $0,1^{\circ}$ - $0,3^{\circ}$ za rok. Tyto změny deklinace se akumulují a není vyjasněno, jak probíhá adaptace živočichů. Předpokládá se, že např. noční tažní ptáci srovnávají a kalibrují směrovou informaci z magnetického kompasu s azimutem Slunce během jeho východu nebo západu (Cochran et al., 2004). Severní magnetický pól se za posledních 5 let posunul o $1,4^{\circ}$ na sever a o $3,6^{\circ}$ na západ, což odpovídá rychlosti cca 175 m za rok (Winklhofer, 2009).

2.2 Magnetorecepce živočichů

Zvířata využívají četné zdroje informací při migraci, homingu nebo přesunech ve svém habitatu. Mezi nimi je magnetické pole Země všudypřítomným ekologickým prvkem (Kirschvink et al., 1985).

Magnetorecepce je definována jako schopnost nervové soustavy organismu vnímat, zpracovat a využívat informace o magnetickém poli Země ke své orientaci a případně i navigaci (Wiltschko & Wiltschko, 2007). Tento smysl je využíván například i při hledání potravy či úkrytů. Vnímání magnetického pole Země, bylo prokázáno u mnoha živočichů, včetně obratlovců, korýšů, hmyzu a některých druhů měkkýšů (Wiltschko & Wiltschko, 2005). Vnímání magnetického pole Země je aktivní proces, organismus má schopnost si tuto informaci uvědomit a naložit s ní adekvátní cestou (Wiltschko & Wiltschko, 1995).

I přes velké pokroky ve zkoumání této schopnosti u jednotlivých skupin živočichů není zcela jasné, jakým způsobem tyto informace z magnetického pole získávají. Kde se magnetoreceptor v těle nebo na těle nachází však není známo. Receptory, které tuto informaci zpracovávají mohou být nepatrně malé a roztroušené v tkáních. Další možností je, že receptory pro zpracování magnetické informace ani neexistují, resp. že je zprostředkována chemickými reakcemi, které iniciuje magnetické pole (Vácha & Němec, 2007). I přes tuto menší znalost z mnoha experimentů vyplývá, že tato schopnost u živočicha stejným způsobem moduluje jeho chování, stejně jako u jiných schopností, které jsou rozpoznávány jinými smysly. Jedny z prvních experimentů v rámci výzkumu magnetorecepce chtěly odhalit, jakým způsobem dokáží migrující ptáci držet správný směr v případech, kdy se při orientaci nemohou spoléhat na ostatní smysly.

Všechny tyto experimenty a následné znalosti vychází právě z etologicky zaměřených prací. První etologické práce, které tuto schopnost dokázaly přesvědčivě prokázat, byly provedeny

až na konci 60. let minulého století, a prvním obratlovcem u kterého byla tato schopnost, pomocí experimentu doložena, byl migrující pták červenka obecná (*Erithacus rubecula*). K tomuto testu byla použita klec kruhového tvaru a průměru 1 m s osmi radiálně umístěnými bidýlky. Frekvence používání jednotlivých bidýlek červenkou obecnou byly zaznamenány ve třech situacích, a to v normální geomagnetickém poli a ve dvou uměle vytvořených, samotná intenzita a inklinace zůstaly nezměněny (Wiltschko & Wiltschko 1972).

Pro další experimenty na magnetorecepci u živočichů byl použit stejný design, který byl uplatněn u červenky obecné. Experiment je prováděn v aréně, ve většině případů kruhové, která je umístěna v aparatuře systému cívek, které umožňují měnit jednotlivé parametry magnetického pole. Tato možnost spontánně měnit magnetické pole vede k okamžitému efektu změny chování u pozorovaného živočicha, např. (Painter et al., 2018).

Například právě u migrujících ptáků lze sledovat tahový neklid, při kterém lze vidět snahu ptáka letět směrem na své zimoviště. Tyto pokusy byly prováděny nejenom u tažných ptáků (Wiltschko & Wiltschko 1995), ale také u lososa nerky (*Oncorhynchus nerka*) či u karet obecných (*Caretta caretta*) (Lohmann et al., 2001). Touto schopností neoplývají pouze migrující živočichové, pozorování, které je velmi přínosné i pro moji práci bylo provedeno u druhu rypoše (*Fukomys Anseli*). Tato zvířata v lokálním magnetickém poli preferovala severo-východní pozici hnízda. Pokud byl magnetický sever posunut, rypoši náležitě změnili pozici svého hnízda, což ukazuje, že mohou použít magnetické pole pro určení směru (Burda et al., 1990).

U domácích holubů (*Columba livia domestica*) bylo provedeno mnoho experimentů, které prokázaly tzv. homing neboli tendenci vracet se z cíle zpět do svého teritoria. Ukázkovým testem na homing byl test magnetorecepčních schopností holuba, jehož výsledkem bylo zjištění, že u holubů domácích lze pozorovat vysokou citlivost na změnu magnetického pole (Mora & Bingmann, 2013).

Samotné testování u zvířat, které v průběhu života přirozeně nevykonávají migraci je však poněkud komplikovanější. Největším problémem je samotné motivování živočicha k vykonání aktivity, cesty, při které by bylo možné tuto schopnost díky testu vyhodnotit. Lze tedy použít umělé motivování živočicha. Jedním z příkladů by mohla být zebříčka pestrá (*Poephila guttata*). Testování ptáci byli úspěšně natrénováni na hledání potravy (Voss et al., 2007). Pokud není možné nalézt vhodnou pozitivní motivaci, např. zdroj potravy nebo úkryt, přistupuje se k testování využívajícímu podněty negativní, např. testování světloplachých larev octomilky obecné (*Drosophila melanogaster*) za změněných světelných podmínek

(Dommer et al., 2008). Neklid a stres zvířete však může ve vysoké míře zkreslit výsledky testů.

Existují však velké rozdíly mezi tím, jak dané druhy živočichů na změnu magnetického pole reagují. Nejzákladnějším pohybem u těchto živočichů je pouhé natočení ke směru magnetického pole, tento pohyb je nazýván jako alignment. Alignment byl pozorován zejména v případě hmyzu u včel medonosných (*Apis mellifera*), ale také u obratlovců, jako například u úhoře říčního (*Anguilla anguilla*) (Wiltschko & Wiltschko, 1995).

2.2.1 Magnetický kompas

Magnetický kompas, stejně jako více známý klasický kompas určuje, jakým směrem leží jednotlivé světové strany: sever, jih, východ a západ. Oproti výše zmíněnému alignmentu může každý ze živočichů určit jakýkoli kurz vzhledem k magnetickému poli a určit tak směr svého pohybu. Díky tomuto kompasu může tedy živočich určit odchylku mezi magnetickým severem a horizontálním směrem vlastního pohybu. Základním laboratorním testem, který dokládá existenci magnetického kompasu je reakce živočicha na manipulaci se směrem magnetického vektoru (Wiltschko & Wiltschko, 2006).

Magnetický kompas je rozlišen na dva typy – polaritní a inklinanční. Typ používaného kompasu se u daného druhu zjistí otočením inklinace. Pokud testovaný druh nereaguje na upravené podmínky a nezmění své směřování, využívá kompas polaritní. Pokud však reaguje, využívá kompas inklinanční (Wiltschko & Wiltschko, 1972). U některých druhů bylo pozorováno i vzájemné využívání obou druhů těchto kompasů. Jedná se například o mloky (Phillips et al., 2002), nebo ptáky (Johnsen & Lohmann, 2005).

Magnetický kompas je živočichy využíván nejenom při migraci (ptáci, želvy, lososovité ryby a motýli), ale například i k orientaci stavby hnízda (včely, termiti, rypoši) (Wiltschko & Wiltschko, 2006).

Samotný kompas je však často nedostačující k tomu, aby zvíře vedl do konkrétního cíle nebo jej spolehlivě nasměroval při migraci. Mořští živočichové se mohou vzdálit z mořských proudů a ptáci mohou změnit svůj směr kvůli nepříznivému směru větru. Navigaci lze proto zlepšit schopností určit geografickou polohu (Lohmann et al., 2007).

Polaritní kompas umožňuje živočichům rozlišovat polaritu vektoru magnetického pole, tzn. určit polohu severního, respektive jižního magnetického pólu (Wiltschko & Wiltschko, 2006).

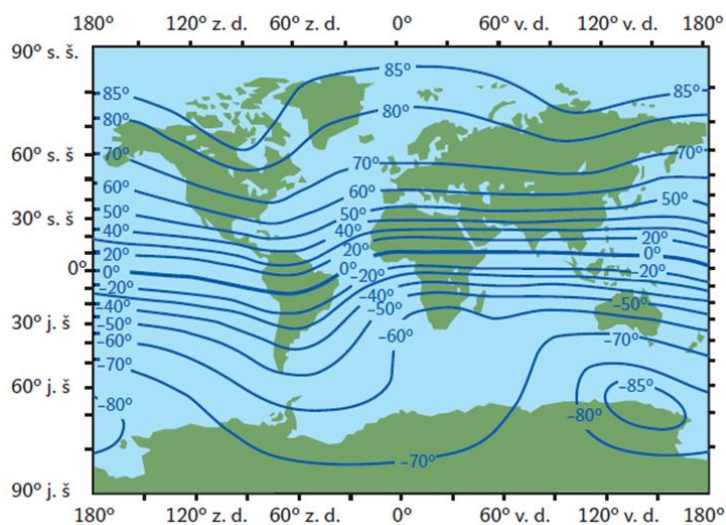
Využívání tohoto typu kompasu je doloženo u podzemních hlodavců (Burda et al., 1990) nebo u lososů a langust (Lohmann et al., 2008). K jeho fungování zřejmě není potřeba světla (Wiltschko & Wiltschko, 2006).

Naopak živočichové, kteří využívají ke své orientaci inklinální magnetický kompas dokáží zjistit pouze inklinaci, sklon celkového vektoru magnetického pole vůči samotné rovině Země. Jedná se o informaci, která se řídí směrem osy a tato zvířata nemají schopnost rozlišit samotnou polaritu magnetického pole. Jejich schopností je pouze rozlišit směr k rovníku, dle siločar, které směřují nahoru a pólu, dle siločarám, které směřují k zemi. Naopak výše zmíněný polaritní kompas dokáže určit také severní a jižní směr. Samotná orientace dle tohoto kompasu je závislá na světle (Deutschlander & Phillips, 1999). Samotnou polohu poté zvíře určí dle inklinace a intenzity magnetického pole. Tento mechanismus má jednu důležitou výhodu, když se uvažuje o geologické minulosti: časté změny geomagnetického pole změnilo polaritu, ale nezměnily obecný průběh os, proto neměly vliv na inklinální kompas (Wiltschko & Wiltschko, 1995).

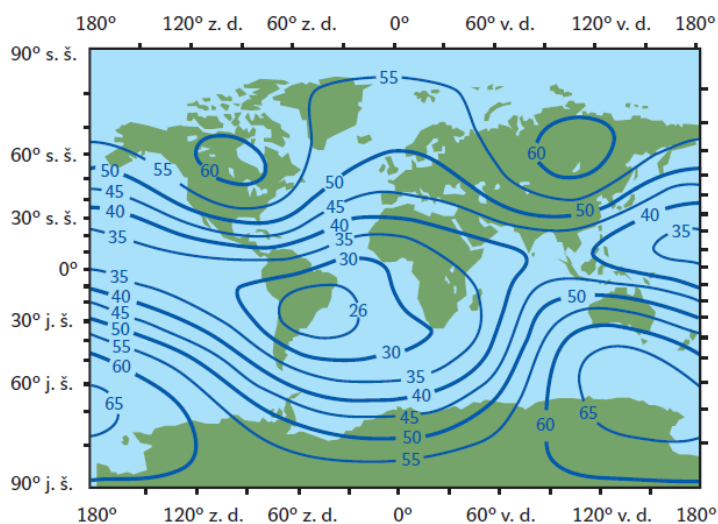
2.2.2 Magnetická mapa

Magnetická mapa, navigace či mapový smysl, pod všemi těmito názvy lze toto téma v odborné literatuře nalézt. Jedná se o schopnost živočicha stanovit svoji geografickou pozici díky magnetickému poli Země a určit následný směr ke svému cíli (Boles & Lohmann, 2003). K určení polohy na Zemi potřebujeme znát dva na sebe kolmé gradienty sítě souřadnic, které se mění s měnící se geografickou šířkou a délkou. Severojižní gradient určení polohy určuje inklinace čili sklon magnetického vektoru od vodorovné roviny. A to změnou hodnot od +90° na severním pólu k -90° na pólu jižním (Obrázek 2). Východo-západním gradientem k určování polohy je nejspíše právě měnící se gradient intenzity magnetického pole Země (Obrázek 3) (Němec & Vácha, 2007).

Samotný výše zmíněný kompas a jeho informace jsou nedostačující k celkové orientaci a dosažení cíle živočichem. Magnetickou mapu si lze představit jako mentální obraz prostorových faktorů okolního prostředí (Wiltschko & Wiltschko, 1995). A právě díky navigačnímu smyslu a magnetické mapě lze určit směr vzhledem k cíli. Znalost těchto map je u živočichů částečně vrozená a částečně vzniká díky získaným zkušenostem, ale je zároveň podmíněna vnímáním intenzity a inklinace geomagnetického pole (Johnsen & Lohmann, 2005).



Obrázek 2: Inklináční mapa magnetického pole Země (Němec & Vácha, 2007).



Obrázek 3: Mapa intenzity magnetického pole Země (Němec & Vácha, 2007).

Používání magnetické mapy bylo výzkumem potvrzeno například u karet obecných (Lohmann et al., 2001), čolků zelenavých (*Notophthalmus viridescens*) (Fischer et al., 2001) či mladých úhořů říčních (Naisbett-Jones et al., 2017).

Pokus s karibskými langustami (*Panulirus argus*) přinesl přímý důkaz o tom, že tito živočichové využívají parametrů magnetického pole k vytvoření navigační mapy. Tento test byl proveden na základě zjištění, že langusty jakožto noční živočichové se na přečkání dne vrací do své skrýše, či do blízkých sousedních skrýší. Jejich navigace je tedy i za tmy velmi přesná. Potvrzení přišlo až po samotném laboratorním testu, kdy byly langusty odchyceny a

vystaveny magnetickému poli, které bylo podobné jejich domovské skrýši. Langusty, které byly odchyceny severně se orientovaly jižně a naopak (Boles & Lohmann, 2003).

Aby bylo možné pochopit samotné fungování magnetických map je nutné se vrátit ke geografickému členění Země. Samotný povrch Země lze vnímat jako dvourozměrný prostor, který lidé rozdělili dvěma souřadnicemi. Tedy zeměpisnou šířkou a délkou. Díky těmto dvou bodům lze určit jakékoli místo na světě s velkou přesností a také se lze díky nim orientovat s ohledem na cíl naší cesty. A právě podobným způsobem lze vnímat fungování magnetických map u živočichů. Živočichové na rozdíl od lidí vnímají povrch planety rozdělený dle hodnoty inklinace a intenzity magnetického pole. Tyto dvě hodnoty, avšak oproti souřadnicím lze pocitově vnímat a jsou tedy skutečné. Naopak však u souřadnic, které vytvořil člověk nelze nalézt dvě stejná místa s totožnými souřadnicemi, inklinace a intenzita magnetického pole je na několika místech na světě stejná. Pro pohyb samotných zvířat to však nehraje žádnou roli, jelikož ke svému pohybu nepotřebují celou plochu Země, ale pouze některou z jejich částí (Freake et al., 2006).

Díky experimentům bylo potvrzeno, že magnetické mapy jsou opravdu pro pohyb živočichů stěžejní. Zvíře je současně schopné si v místech, na kterých doposud nebyl inklinaci i intenzitu magnetického pole zjistit a zmapovat si tak nové doposud neznámé území. Opět byl tento způsob orientace prokázán na langustách, a to při pokusu, kdy byly langusty přepraveny 37 km do testovacího zařízení. Během poloviny délky přepravy byly na kontejneru umístěny magnety, které rušily magnetickou informaci. Kontejner byl též přivázán lany do volného prostoru a cesta byla manévrována řadou prudkých zatáček a kruhů, tímto byly narušeny všechny senzorické vjemy, včetně těch magnetických. Během testu byly oči langust překryty a jejich následný samotný pohyb odpovídal pohybu, který by vykonávaly ve svém přirozeném prostředí pro pohyb domů (Boles & Lohmann, 2003).

Další výzkum byl prováděn na slavících tmavých (*Luscinia luscinia*), kteří byli drženi na území Švédska. Při své migraci musí tyto slavíci přeletět přes území Egypta a překonat dále Saharu. Tito slavíci byli při pokusu přemístěni do magnetického pole, které simulovalo magnetické pole v severním Egyptě. Slavíci začali velmi rychle přibírat na své váze, jelikož právě zvyšování hmotnosti je u nich při přeletu Sahary stěžejní. Toto zjištění dokazuje, že změna magnetického pole může vyvolat nejenom směrové změny, ale také procesy jako je ukládání tukových zásob (Fransson et al., 2001).

Současně jsou však studie, které prokazují že mladí a nezkušení ptáci tyto mapy ještě nepoužívají a orientují se pouze dle vrozených směrových preferencí, které jsou specifické pro daný druh. Rozdílní jsou naopak starší ptáci, kteří spoléhají pouze na orientaci díky magnetické mapě, kterou si vytvoří v průběhu života díky zkušenostem (Wiltschko & Wiltschko, 1995).

2.2.3 Spontánní magnetický alignment

Postavení živočichů v mnoha případech není, jak již bylo uvedeno výše náhodné. Jedná se o postoj, který bývá ovlivněn mnoha faktory. Dle apetenčního chování u živočichů je ovlivňujícím faktorem právě snaha vyhledat daný cíl, který následně určuje i směr pohybu. Lze tedy tvrdit, že postavení živočicha je ovlivňováno vnějšími vlivy. Vnějšími vlivy, které postavení živočicha ovlivňují mohou být zdroj potravy, partner či naopak predátor. Živočich dále může být ovlivněn atmosférickými jevy zejména pak postavením Slunce, které ovlivňuje motiv jedince k tomu, aby se buď před Sluncem schoval či naopak co nejvíce využil jeho energii. Toto spontánní natočení těla nazýváme alignmentem (Begall et al., 2013).

Druhy magnetického alignmentu:

Thermo alignment – tělo je orientováno rovnoběžně, nebo kolmo ke zdroji tepla, nejčastěji se jedná o sluneční záření, aby byla zdroji tepla vystavena co nejmenší, nebo naopak největší plocha povrchu těla.

Rheo alignment – tělo je orientováno po proudu vody. Tímto způsobem je zaručen nižší hydrodynamický odpor těla a lepší přístup ke kyslíku a potravě, které přináší proud.

Photo alignment – tělo je orientováno ke zdroji světla, nebo od něj.

Anemo alignment – tělo je orientováno po, nebo proti směru větru. Tento typ se předpokládá u přežvýkavců, protože snižuje mechanický odpor těla a tepelné ztráty a vítr zároveň přináší pachy, které mohou být varováním před predátory.

Gravi alignment – při odpočinku je tělo orientováno ve směru vrstevnic, nebo směřuje do kopce.

Alignment towards an attractor – tělo je orientováno ve směru pozice atraktantu.

Občas je možné tento alignment u určitých živočichů zcela jasně odhalit a vysvětlit. Vysvětlení magnetického alignmentu je však poněkud složitější. Magnetický alignment na rozdíl od orientace kompasové není podmíněn dosažením cíle, jde o pevnou směrovou odezvu. Jedná se o spontánní orientaci těla s ohledem na magnetické siločáry. Dalším znakem magnetického alignmentu, která tvoří odlišnost od orientace díky magnetickému kompasu, je bimodální či v mnoha případech i kvadrimodální charakter směrové preference daného zvířete (Begall et al., 2013).

Tyto dva charaktery v reálu znamenají, že živočich nepreferuje pouze jeden směr svého pohybu, tedy neupřednostní postoj k severu, jihu atd, ale natáčí své tělo v určitém směru, který v tu danou chvíli je pro něj vhodný. Ovšem ani v tomto případě je postavení zvířete nějak podmíněno, při magnetickém alignmentu je ve většině případů je předozadní osa rovnoběžná s některou z hlavních os magnetického pole (Begall et al., 2008).

Samotný magnetický alignment byl však již v historii několikrát pozorován a prokázán u hmyzu přesněji u včel medonosných, octomilky obecné a všekazů (Wiltschko & Wiltschko, 1995).

Magnetický alignment byl ve velké míře pozorován právě v termištích po celém světě. Například u termištů všekazů rodu *Amitermes* byla náhodná orientace zcela vyvrácena. Některé studie však tuto orientaci přisuzují fyzikálním, chemickým a dalším faktorům (Jacklyn, 1992). Tyto studie byly provedeny jak za laboratorních podmínek (Becker, 1976), tak přímo v přírodě (Jacklyn & Munro, 2002).

V minulosti byla orientace u živočichů, která prokazovala jasné znaky magnetického alignmentu, potvrzena díky experimentům některých druhů obratlovců, včetně ryb, ptáků a savců. Díky pozorování spontánní směrové preference byl magnetický alignment prokázán u kapra obecného (*Cyprinus carpio*) (Hart et al., 2012), kachen divokých (*Anas platyrhynchos*) (Hart et al., 2013a) či u několika sudokopytníků (Begall et al., 2013), z nichž například u tura domácího (*Bos primigenius f. taurus*) (Begall et al., 2008).

Experimenty dále prokázaly tento alignment u šelem, zejména pak u lišek (*Vulpes vulpes*), které lovily zásadně výskokem, který byl orientován na sever, severovýchod. Toto směřování výskoku bylo autory vysvětlováno jakožto směr, který lišce pomáhá uspět při lovu malých hlodavců uprostřed vysokého travního porostu nebo pod sněhem (Červený et al., 2011).

V posledních letech byly také experimenty provedeny na psu domácím (*Canis lupus familiaris*), výsledek odpovídal magnetickému alignmentu, ovšem samotný význam projevu psa nebyly v tomto ohledu dodnes vyjasněn (Hart et al., 2013b).

2.2.4 Homing

Pojem homing označuje návrat do místa, kde zvíře žije a má svůj úkryt, noru nebo hnízdo. Protože však tentýž mechanismus může fungovat pro přesuny na místa až míst, která zvíře pravidelně navštěvuje, musí studie homingu zahrnovat zvážení jakéhokoli pohybu prováděného za účelem dosažení prostorově omezené oblasti, která je zvířeti známa (Papi, 1992). Mnohdy bývá homing zaměňován za pojem migrace, u které jde o periodické stěhování z jedné oblasti do jiné.

Jedny z prvních prací zaměřené na magnetorecepci u hlodavců byly uskutečněny na hraboši pensylvánském (*Microtus Pennsylvanicus*) (Robinson & Falls, 1965), myšici křovinné (*Apodemus sylvaticus*) (Mather & Baker, 1981) a křečku bělonohém (*Peromyscus leucopus*) (August et al., 1989).

Výzkum hrabošů byl prováděn na 2 skupinách. Skupina A čítala 51 odchycených hrabošů. Tito hraboši byli označeni a poté přemístěni v rozmezí 120-250 m od lokality odchyty a vypuštěni. Z těchto 51 jedinců se jich 42 vrátilo na původní lokalitu, kde byli zpětně odchyceni. Skupina B čítala 57 jedinců, kteří byli po označení vypuštěni na místě odchyty. Z tohoto počtu bylo na stejné lokalitě zpětně odchyceno 41 hrabošů. Z tohoto výzkumu je patrné, že jedinci vypuštěni ve svém domovském okrsku (skupina B) mají tendenci v něm setrvat, naopak jedinci vypuštěni mimo svůj domovský okrsek (skupina A) tíhnou k jeho opětovnému nalezení. Což u hrabošů pensylvánských potvrzuje schopnost homingu (Robinson & Falls, 1965).

Hlavního průlomů bylo dosaženo díky novému designu studie, při kterém byla měřena směrová preference v aréně po vypuštění na neznámém místě, namísto měření úspěchu provedeného homingu. Výzkum probíhal na myšicích křovinných, které se ve čtyřramenném bludišti orientovaly významně právě v rameni bludiště, které odpovídalo směru odchytové lokality (Mather & Baker, 1980). V následných testech autoři přemístili myšice za různých podmínek magnetického pole během cesty k aréně a znovu použili čtyřramenné bludiště, aby

prokázali zapojení magnetického smyslu do orientačního chování myšic (Mather & Baker, 1981).

Podobný průzkum byl dále proveden také na křečku bělonohém. Jedinci křečka byli odchyceni a následně testováni v kruhových arénách. Křečci vykazovali největší aktivitu ve směru, který odpovídal směru domovského okrsku, a to i při obrácení magnetického pole (August et al., 1989). V následujících letech se však zájem o studium hlodavců snížil, částečně v důsledku nekonzistentnosti jejich replikovatelnosti a částečně v důsledku zavedení nových a elegantnějších experimentálních paradigmat (Begall et al., 2014).

Samozřejmě i u podzemních hlodavců, jako slepce egyptského (*Spalax ehrenbergi*) (Kimchi et al., 2004) a rypošů, byla schopnost orientace díky magnetickému poli prokázána. Tato schopnost je v tomto případě přisuzována zejména evolučnímu vývoji, kterým zvířata musela projít z důvodů tmy, která v podzemí zamezuje vnímání vizuálních vjemů. Například rypoši i přes smyslovou limitaci mají výbornou prostorovou orientaci. Schopnost magnetické orientace je zde potvrzena stavbou hnízd v kruhové aréně v návaznosti na změněné magnetické pole. V přirozeném magnetickém poli rypoši upřednostňují severo-východní pozici hnízda, pokud bylo magnetické pole změněno, rypoši náležitě reagovali a hnízdo postavili v kýženém směru (Burda et al., 1990).

3 Metodika

3.1 Studovaný druh

Druhem testovaným v rámci bakalářské práce byla myšice křovinná. Tento druh je velmi přizpůsobivý, co se prostředí týče. Jedinými oblastmi, kde se myšice křovinná vyskytuje jen vzácně jsou polohy nad hranicí lesa (Anděra & Gaisler, 2012). Domovský okrsek myšice křovinné je zhruba 0,27 ha (Attuquayefio et al., 1986). Tento druh, vzhledem ke svému rozšíření a početnosti populace, není součástí seznamu ohrožených zvířat České republiky a není tak chráněn. Na pokus s tímto druhem má Katedra myslivosti a lesnické zoologie povolení, schválení etickou komisí ČZU. Číslo jednací: MZP/2019/630/2117, spisová značka: MZP/2019/630/1294. Pro ověření schopnosti magnetické orientace bylo využito preference pro určitý směr představovaný pozicí hnízda a reakce na změněné magnetické pole.

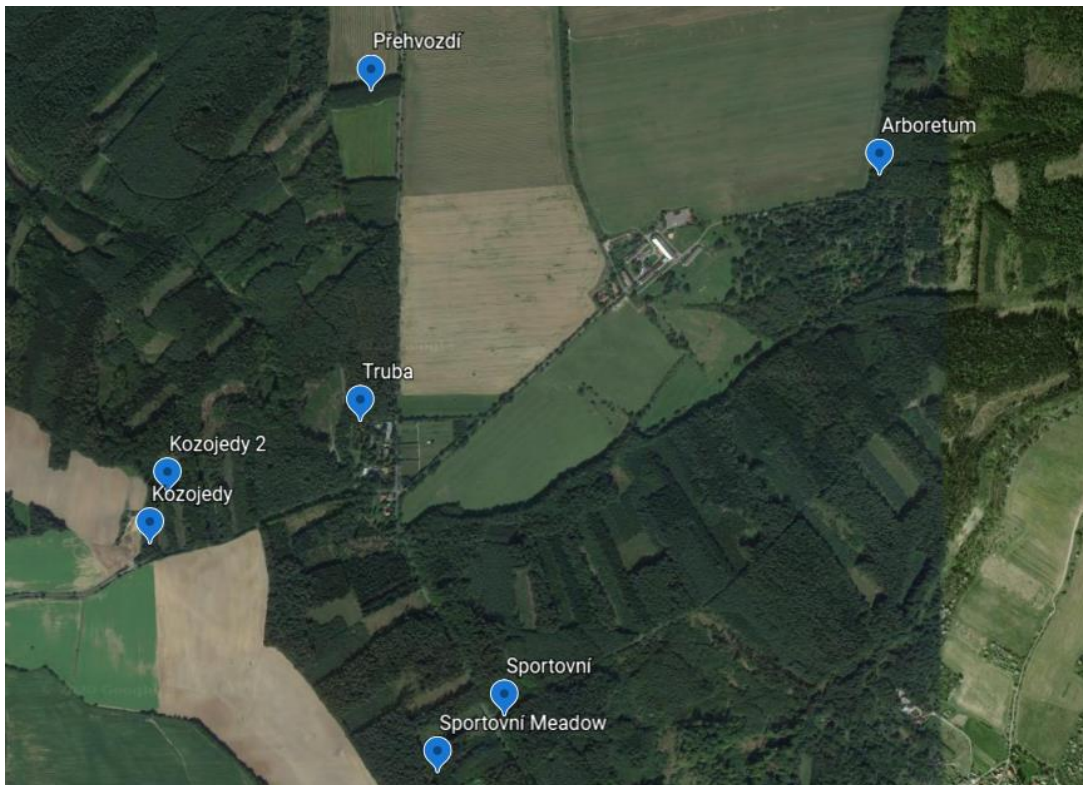
3.2 Lokality výzkumu a odchyty

V rozmezí od června 2018 do srpna 2019 bylo v areálu správní budovy Arboreta FLD v Kostelci nad Černými Lesy – Truba (50°00'24"N, 14°50'06"E) testováno 62 jedinců myšice křovinné. Odchyt probíhal v 7 lokalitách, průměrně 2 km vzdálených od výzkumné lokality. Odchyty byly rozděleny přibližně po 90° vzhledem k testovacímu místu (Obr. 4), což umožňovalo rozlišit mezi homingovou magnetickou odpovědí od magnetické odpovědi fixního magnetického alignmentu. Pokud se odchyt v dané lokalitě opakovaně nedařil, byla nalezena lokalita nová. Majoritními lokalitami byly Přehvozdí (50°0'51.851"N, 14°50'5.876"E), Arboretum (50°0'44.802"N, 14°51'13.854"E), Kozojedy (50°0'13.897"N, 14°49'38.530"E) a Sportovní – louka (49°59'55.203"N, 14°50'14.759"E). Zbýlé 3 lokality byly používány na počátku výzkumu a následně byly nahrazeny, nebo sloužily jako lokality doplňkové.

3.3 Živolovné pasti

Od června 2018 do listopadu 2018 byly používány aluminiové živolovné pasti. Z důvodu opakovaných neúspěchů při odchytu byly od října 2018 souběžně používány dřevěné

živolovné pasti. Tyto dřevěné pasti následně pasti aluminiové zcela nahradily. Past připravená k použití obsahovala vatu a atraktant v podobě jablka s arašídovým máslem a ovesnými vločkami. Přičemž vata zajišťovala zlepšení tepelného komfortu zvířete a jablko sloužilo nejenom jako atraktant, ale bylo i důležité k přežití myšice vzhledem k jejímu rychlému metabolismu a času stráveném v pasti.



Obrázek 4: Znázornění odchytných lokalit (archiv autora).

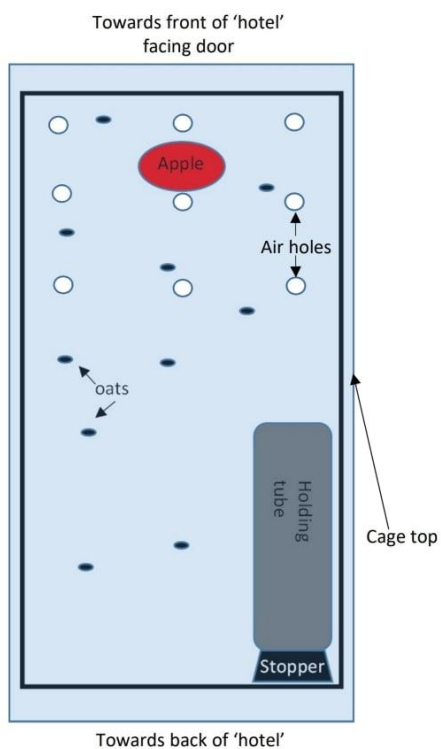
3.4 Průběh odchytnosti a testování

Cyklus testování se skládal ze 3 dní. Prvního dne byly přibližně 1,5 hodiny před západem slunce nastraženy živolovné pasti, těchto pastí bylo stráženo 20 ks, a to na dvou lokalitách zároveň. Druhého dne v brzkých ranních hodinách byly pasti shromážděny a převezeny v uzavřeném chladícím boxu do areálu arboreta. Při pohybu bylo s boxem otáčeno a box jako takový sloužil nejen k převozu, ale zamezil příjmu vizuálních vjemů. Dále byly myšice umístěny do plastového boxu a přeneseny do elektromagneticky odstíněné klece (Obrázek 5). Plastový box byl vybaven podkladovým materiálem v podobě hlíny, tubou, která následně sloužila pro přemístění myšice do kruhové arény a potravou ve formě jablka a ovesných vloček. Box byl rovněž zavřen deskou plexiskla se vzduchovými průduchy. Všechny tyto

komponenty měly svou stálou pozici (Obrázek 6). Experiment samotný začínal 0,5 hodiny před západem slunce, kdy byl jedinec přenesen v tubě, kterou bylo též otáčeno, do testovací arény. K určení času západu slunce byla použita webová stránka (<https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>) Jako testovací aréna byla použita neprůhledná plastová kruhová nádoba o průměru 1 m a výšce 60 cm, která byla překryta deskou plexiskla s centrálně umístěným otvorem sloužícím k vsunutí a úchytu přenosové tuby. Testovací aréna obsahovala podkladový materiál v podobě hlíny, vatové kuličky sloužící ke stavbě hnízda a potravu ve formě jablka a ovesných vloček (Obrázek 7). Experiment probíhal současně ve dvou arénách, venkovní a vnitřní, která byla umístěna v elektromagnetické cívce. V každé aréně byl testován pouze jeden jedinec. Pokud nebyl odchycen kýžený počet jedinců, preferovalo se využití testovací arény umístěné v elektromagnetické cívce. V elektromagnetické cívce bylo před umístěním jedince nastaveno elektromagnetické pole a rozsvíceno světlo. Toto světlo bylo zhasnuto v čase západu slunce. V testu byly použity 4 různě posunutá pozice horizontálního magnetického vektoru, a to: magnetický sever posunutý o 90° ve směru hodinových ručiček (východní pole), posunutý o 180° (jižní pole) a o 270° (západní pole). Třetího dne ráno proběhlo vyhodnocení dat a vypuštění jedince zpět do volné přírody. Výjimkou byli jedinci z venkovní arény určení k opakovanému testování. Tito byli navraceni do boxu v elektromagneticky odstíněné kleci a téhož dne testováni ve vnitřní aréně. Po zopakování testu byli i tito jedinci vypuštěni. Metodika použitá v experimentu provedeném v rámci řešení bakalářské práce se tak velmi neliší od metodiky výzkumu Malkempera et al., (2015).

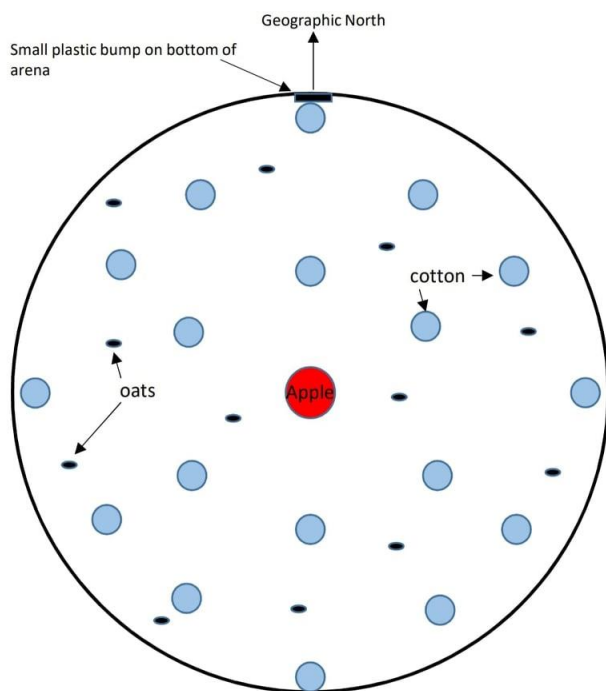


Obrázek 5: Elektromagneticky odstíněná klec. Na výrobu této klece byly použity pouze nemagnetické materiály (archiv autora).



Obrázek 6: Schéma boxu – v tomto boxu byly myšice drženy od příjezdu na testovací místo až do času testování. Apple – jablko bylo umístěno v popředí boxu. Oats – ovesné vločky byly rovnoměrně rozprostřené po celé ploše boxu. Holding tube – přenosová tuby byla umístěna v levém zadním rohu při pohledu od vstupu do

elektromagneticky odstíněné klece. Stopper – gumová zátka, kterou byla přenosová tuba z jedné strany uzavřena. Gage top, air holes – celý box byl zakryt plexi sklem s vzduchovými průduchy (autor: Michael Scott Painter).



Obrázek 7: Schéma testovací arény. Plastic bump – u dna arény se nacházel čtvercový plastový výběžek a aréna byla při testu natočena vždy tak, aby tento výběžek směřoval na sever. Apple – jablko bylo umístěno v centru arény. Oats – ovesné vločky byly rovnoměrně rozprostřeny po celé ploše arény. Cotton – vatové kuličky byly po aréně rozprostřeny, jak je viditelné na schéma. Celá aréna byla překryta plexi sklem, v jehož centru byl vytvořen otvor na vsunutí přenosové tuby. Celé plexisklo bylo nastaveno tak, aby byla přenosové tuba přímo nad jablkem (autor: Michael Scott Painter).

3.5 Elektromagnetická cívka

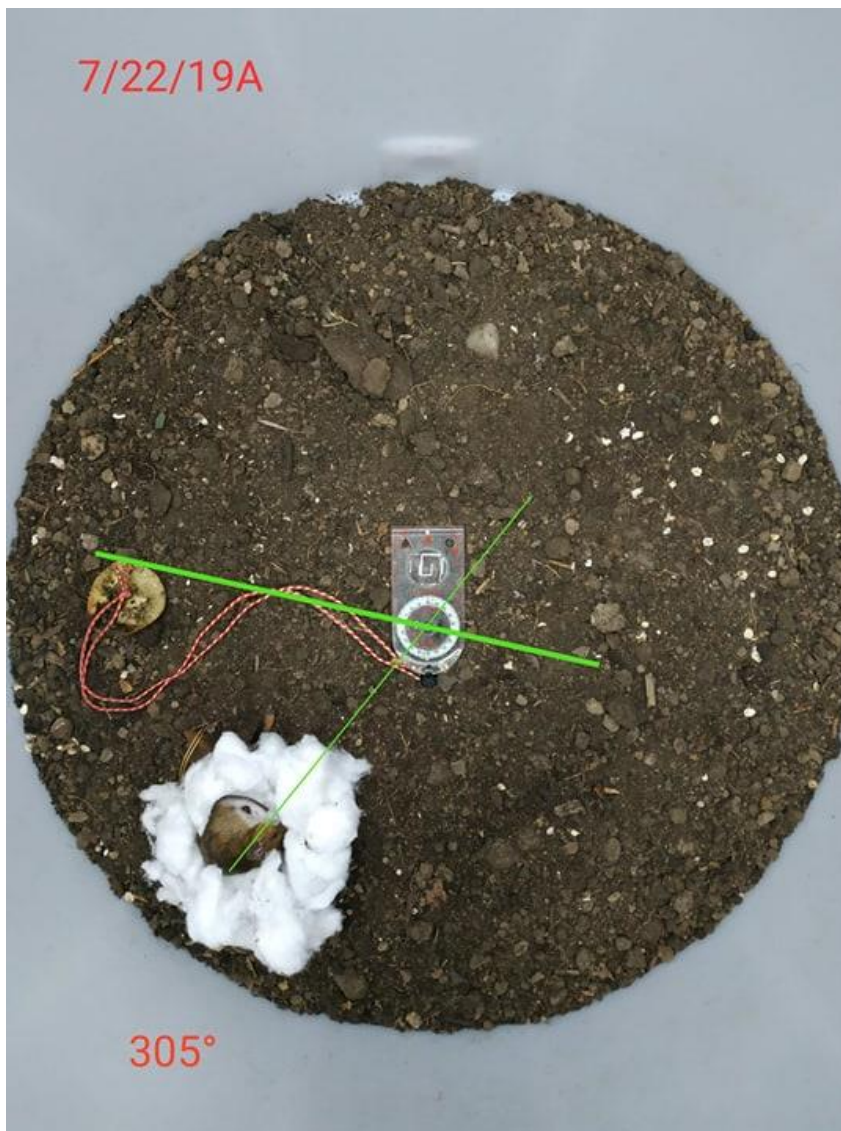
K manipulaci s magnetickým polem byla při všech vnitřních experimentech použita triaxiální dvojitě vinutá Merrittova cívka (4 x 4 x 4 m) generující homogenní magnetické pole (Kirschvink, 1992). Cívka byla umístěna v samostatné budově areálu Truba FLD. Cívka byla vždy zapnuta minimálně 0,5 h před začátkem pokusu, a to kvůli ustálení podmínek uvnitř cívky. Její pomocí bylo vytvářeno umělé magnetické pole, které umožňovalo otáčet orientaci magnetického pole do 4 různých topografických pozic odpovídajících směrům sever, jih, západ a východ. Umělé magnetické pole bylo ve všech aspektech, kromě orientace totožné s geomagnetickým polem. Tento design umožňoval rozlišit nemagnetické odpovědi od magnetických. Nastavené magnetické pole zůstalo po dobu testovací noci nezměněno. Cívka byla vybavena podiem v polovině své výšky, pro umístění arény do středu trojrozměrného prostoru.

Tato cívka byla napojena na počítač ve vedlejší budově. Ovládání cívky zajišťoval program MagFieldG, s řídicí jednotkou GMP4, která slouží pro ovládání systému cívek a vytváření

stejněměrného magnetického pole. Řídicí jednotka zajišťuje předání pokynů z řídicího počítače do ostatních modulů systému GMP4. Její práce zahrnuje vytvoření analogového řídicího napětí pro zesilovače proudů do všech prostorových os, dále monitoruje skutečné proudy jednotlivými cívkami a napětí na nich. Zesilovače proudů jsou celkem 3, pro každou osu je určen jeden (Vondra, 2019).

3.6 Sběr a zanesení dat

Sběr dat obsahoval zaznamenání data a lokality odchytu, úhel odchytové lokality od stanice, magnetické pole, ve kterém byl jedinec testován, čas umístění do arény, západu slunce a zhasnutí světla v cívce. Důležitým aspektem bylo i to, zda se během dne stráveném v elektromagneticky odstíněné kleci a po dobu testovací noci nevyskytly disturbance jako zvýšený hluk, špatné počasí atd. V aréně probíhal sběr dat položením kompasu do centra arény, pořízením fotografie, určením pohlaví jedince, zaznamenání pozice hnízda, jeho kvality, tvaru a procentuálního využití vaty. Po každém pokusu byla do tabulky v programu Excel zanesena tato data a do pořízené fotografie vložen úhel pozice hnízda. Tato fotka byla následně vložena do programu PowerPoint (Obrázek 8).



Obrázek 8: Zanesení dat z arény. Aréna byla vyfotografována a díky kompasu, který byl před pořízením fotografie do arény vložen byla určena pozice hnízda ve stupních. Dále se zhodnotil tvar hnízda, jeho kvalita a procentuální využití vaty při stavbě. Jako poslední byla myšice odchycena pro určení pohlaví (archiv autora).

3.7 Příprava pomůcek používaných při výzkumu

Aby nedošlo k pachové kontaminaci předchozím pokusem a ovlivnění výsledku experimentu, byly všechny pomůcky – aluminiové pasti, boxy a arény po každém použití pečlivě umyty. K čištění byl použit saponát FeelEco a líh, v případě pastí navíc Savo, následně byly pomůcky opláchnuty vodou a vysušeny.

3.8 Statistika

Pro analýzu dat byl použit program Oriana a cirkulární statistika, při které lze znázornit data jako body rozložené po kružnici a je díky ní možné hodnotit výsledky pokusů, které se týkají

např. orientace a navigace živočichů. Výstupem je cirkulární graf. Významnost shlukování směrů orientace byla hodnocena Rayleighovým testem.

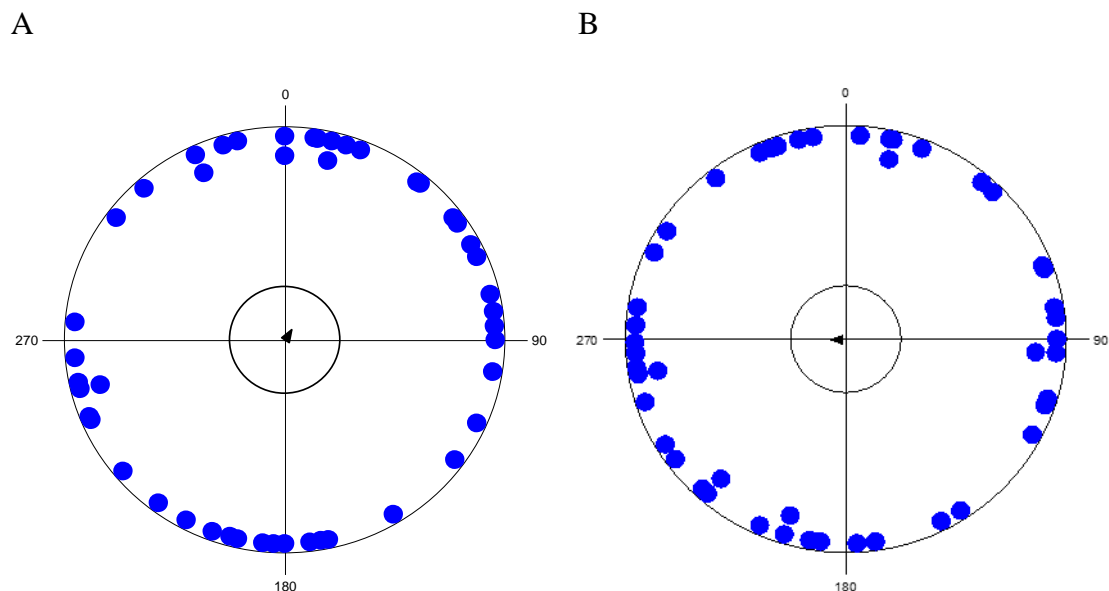
4 Výsledky

4.1 Vyhodnocení jedinců testovaných 1 noc

Pro vyhodnocení bylo zpracováno 47 záznamů. Graf 1A zobrazuje pozice hnízd v závislosti na směru magnetického severu. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná. Graf 1B zobrazuje pozice hnízd topograficky, nezávisle na směru magnetického severu a nezávisle na směru odchytové lokality. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná.

Tabulka 1: Statistická analýza angulární distribuce hnízd

Variable	Mag. N	Topo
Data type	Angles	Angles
Number of observations	47	47
Mean vector (μ)	30.512°	270.849°
Length of mean vector (r)	0,057	0.073
Circular standard deviation	137.069°	131.063°
Rayleigh test (Z)	0.154	0.251
Rayleigh test (p)	0.859	0.78

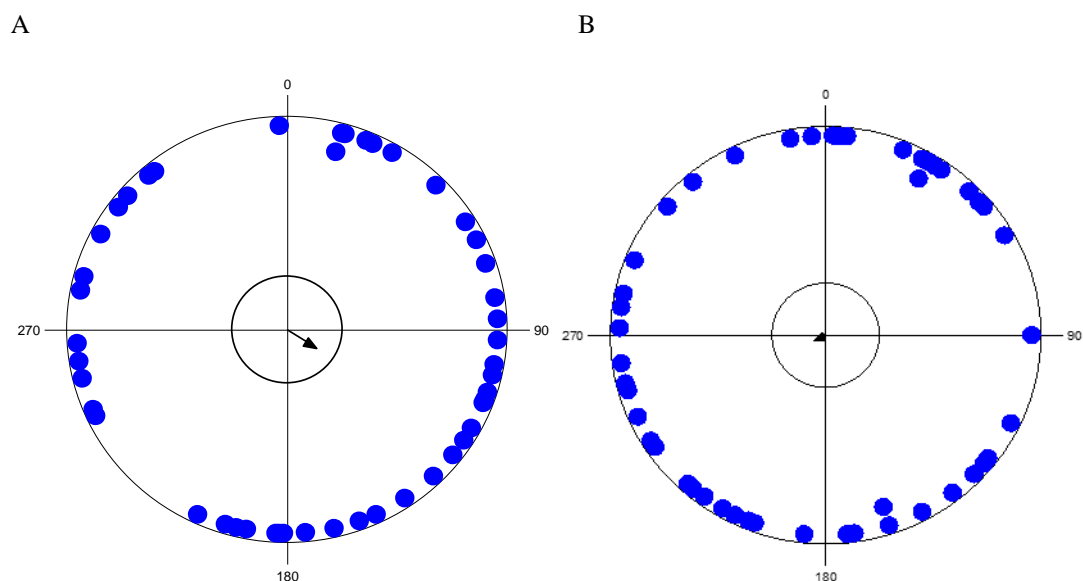


Graf 1: Angulární distribuce hnízd: A) v severním magnetickém poli. B) V severním topografickém poli. Vnitřní kruh odpovídá 5 % hladině významnosti (p) Rayleighova testu. Šipka znázorňuje směr a délku výsledného angulárního vektoru.

Pro vyhodnocení bylo zpracováno 47 záznamů. Graf 2A zobrazuje pozice hnízd v závislosti na magnetické orientaci odchyťových lokalit. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná. Graf 3C zobrazuje pozice hnízd v závislosti na magnetické orientaci odchyťových lokalit. Pozice jednotlivých hnízd však byly vynásobeny 2x pro ověření bimodálního chování. To se však nepotvrdilo a distribuce je čistě náhodná.

Tabulka 2: Statistická analýza angulární distribuce hnízd

Variable	Mag. trap	Mag.trap x 2
Data type	Angles	Angles
Number of observations	47	47
Mean vector (μ)	122.566°	246.008°
Length of mean vector (r)	0,16	0.066
Circular standard deviation	109.701°	133.658°
Rayleigh test (Z)	1.202	0.204
Rayleigh test (p)	0.302	0.817



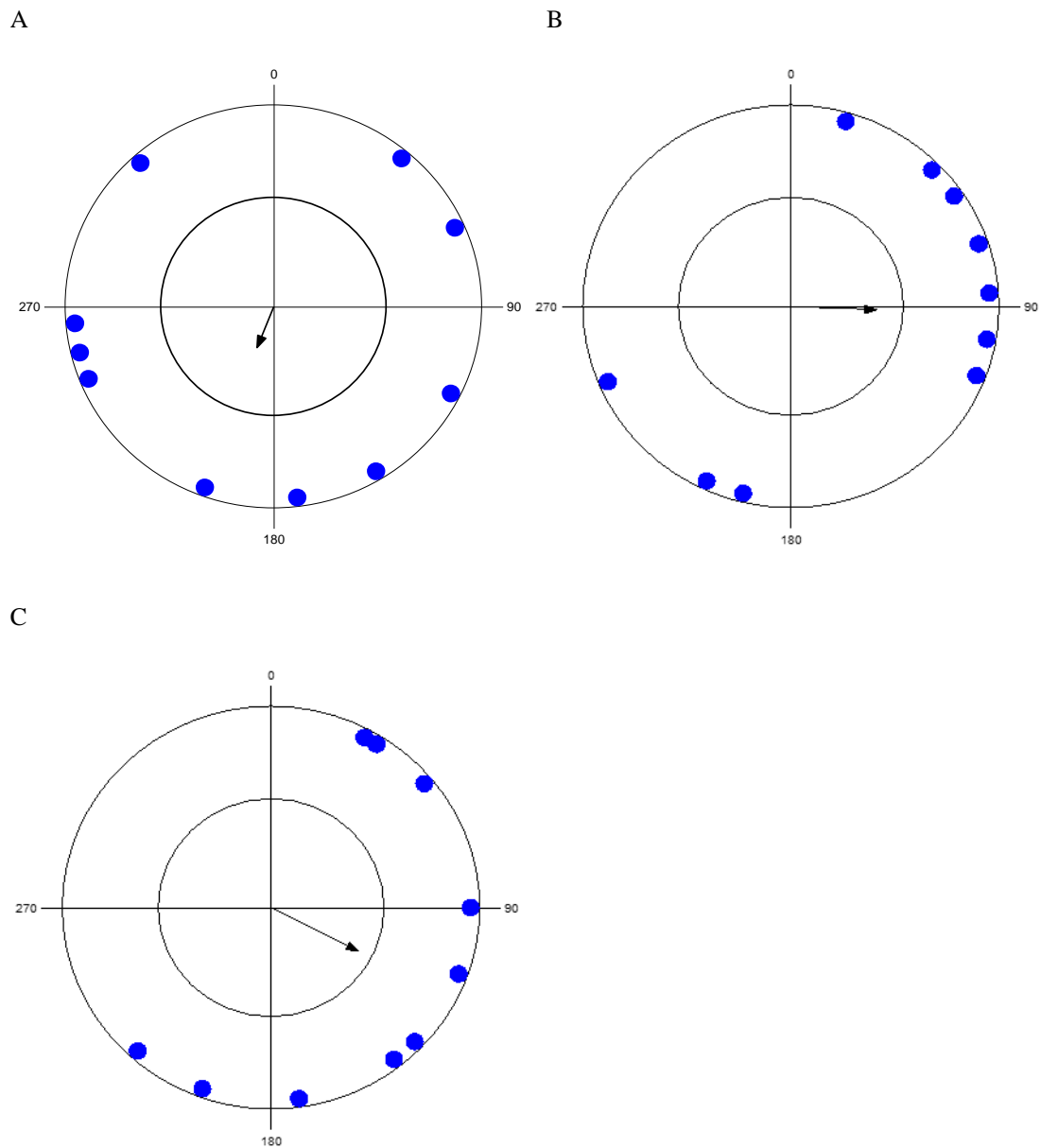
Graf 2: Angulární distribuce hnízd: A) v závislosti na magnetické orientaci odchyťových lokalit. B) v závislosti na magnetické orientaci odchyťových lokalit, kdy pozice hnízd byly vynásobeny 2x pro zjištění bimodálního chování. Vnitřní kruh odpovídá 5 % hladině významnosti (p) Rayleighova testu. Šipka znázorňuje směr a délku výsledného angulárního vektoru.

4.2 Vyhodnocení jedinců testovaných 2 noci, noc 1.

Pro vyhodnocení bylo zpracováno 10 záznamů. Graf 3A zobrazuje pozice hnízd v závislosti na směru magnetického severu. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná. Graf 3B zobrazuje pozice hnízd v závislosti na směru magnetického severu a směru odchytové lokality. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná. Graf 3C zobrazuje pozice hnízd v závislosti na směru magnetického severu a směru odchytové lokality. Pozice jednotlivých hnízd však byly vynásobeny 2x pro ověření bimodálního chování. To se však nepotvrdilo a distribuce je čistě náhodná.

Tabulka 3: Statistická analýza angulární distribuce hnízd

Variable	Mag. N	Mag.traps	Mag.traps x 2
Data type	Angles	Angles	Angles
Number of observations	10	10	10
Mean vector (μ)	201.999°	92.276°	117.003°
Length of mean vector (r)	0.219	0.408	0.468
Circular standard deviation	99.846°	76.704°	70.624°
Rayleigh test (Z)	0.48	1.666	2.188
Rayleigh test (p)	0.63	0.192	0.111



Graf 3: Angulární distribuce hnízd: A) v severním magnetickém poli. B) v závislosti na magnetické orientaci odchyťových lokalit. C) v závislosti na magnetické orientaci odchyťových lokalit, kdy pozice hnízd byly vynásobeny 2x pro zjištění bimodálního chování. Vnitřní kruh odpovídá 5 % hladině významnosti (p) Rayleighova testu. Šipka znázorňuje směr a délku výsledného angulárního vektoru.

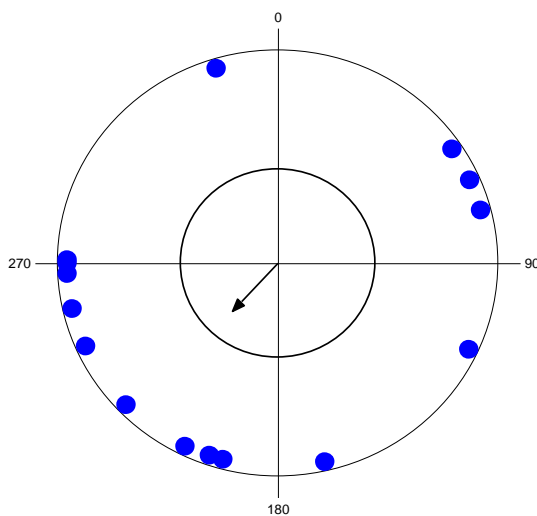
4.3 Vyhodnocení jedinců testovaných 2 noci, noc 2.

Pro vyhodnocení bylo zpracováno 15 záznamů. Graf 4A zobrazuje pozice hnízd v závislosti na směru magnetického severu. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná. Graf 4B zobrazuje pozice hnízd topograficky, nezávisle na směru magnetického severu a nezávisle na směru odchytové lokality. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná.

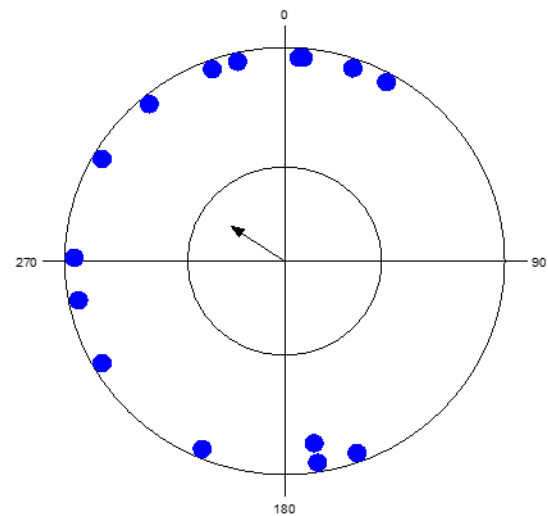
Tabulka 4: Statistická analýza angulární distribuce hnízd

Variable	Mag. N	Topo
Data type	Angles	Angles
Number of observations	15	15
Mean vector (μ)	222.289°	303.946°
Length of mean vector (r)	0.305	0.297
Circular standard deviation	88.264	89.318°
Rayleigh test (Z)	1.398	1.32
Rayleigh test (p)	0.251	0.271

A



B



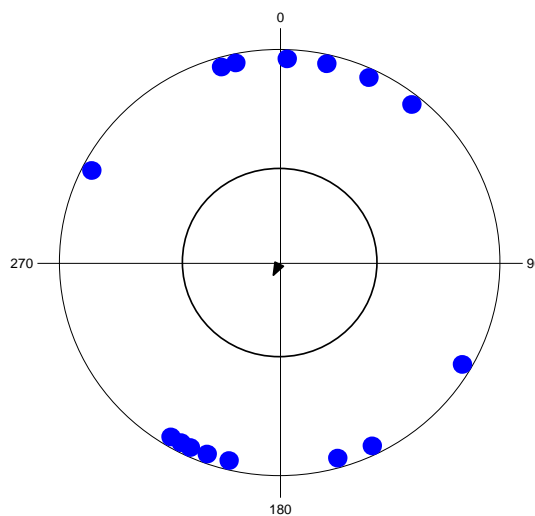
Graf 4: Angulární distribuce hnízd: A) V severním magnetickém poli. B) V topografickém severním poli. Vnitřní kruh odpovídá 5 % hladině významnosti (p) Rayleighova testu. Šipka znázorňuje směr a délku výsledného angulárního vektoru.

Pro vyhodnocení bylo zpracováno 15 záznamů. Graf 5A zobrazuje pozice hnízd v závislosti na magnetické orientaci odchytových lokalit. Ze znázornění je patrné, že se jedná o bimodální chování. Statisticky je však tato distribuce náhodná. Pro potvrzení bimodálního chování byl vytvořen Graf 5B, který zobrazuje zdvojnásobené pozice hnízd. Výsledek je v tomto případě signifikantní a bimodální chování tak bylo potvrzeno.

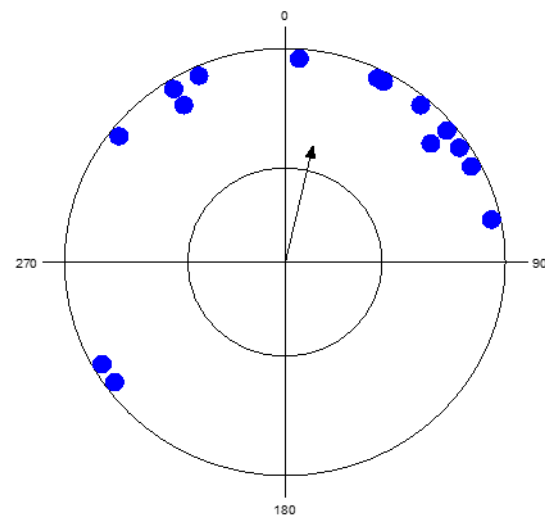
Tabulka 5: Statistická analýza angulární distribuce hnízd

Variable	Mag.trap	Mag.trap x2
Data type	Angles	Angles
Number of observations	15	15
Mean vector (μ)	208.688°	13.124°
Length of mean vector (r)	0.066	0.562
Circular standard deviation	133.663°	61.541°
Rayleigh test (Z)	0.065	4.732
Rayleigh test (p)	0.939	0.007

A



B

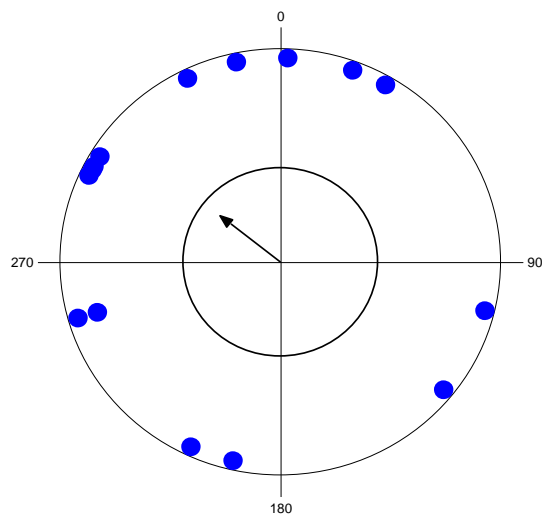


Graf 5: Angulární distribuce hnízd v severním magnetickém poli v závislosti na odchytové lokalitě jedince. Vnitřní kruh odpovídá 5 % hladině významnosti (p) Rayleighova testu. Šipka znázorňuje směr a délku výsledného angulárního vektoru.

Pro vyhodnocení bylo zpracováno 15 záznamů. Graf 6 zobrazuje pozice hnízd vzhledem k topografickému směru odchyťových lokalit. Z výsledků nevyplývá žádná signifikantní směrová preference a distribuce je tak čistě náhodná.

Tabulka 6: Statistická analýza angulární distribuce hnízd

Variable	Topo/traps
Data type	Angles
Number of observations	15
Mean vector (μ)	308.118°
Length of mean vector (r)	0.35
Circular standard deviation	83.032°
Rayleigh test (Z)	1.837
Rayleigh test (p)	0.16



Graf 6: Angulární distribuce hnízd v severním topografickém poli v závislosti na odchyťovou lokalitu jedince. Vnitřní kruh odpovídá 5 % hladině významnosti (p) Rayleighova testu. Šipka znázorňuje směr a délku výsledného angulárního vektoru.

4.4 Celkové shrnutí

Jelikož výsledky grafů topografického pole (1B, 4B a 6) nejsou signifikantní, můžeme usoudit, že jedinci nevyužívají podněty nezávislé na magnetickém poli Země, nýbrž jsou magnetosensitivní a magnetické pole Země ke své orientaci užívají.

Dle grafu 5B jsou re-testovaní jedinci signifikantně schopni určit polohu své odchytové lokality a náležitě se dle ní orientovat.

5 Diskuze

Dle Lohmanna et al., (2003) jsou zvířata schopna homingu za předpokladu, pokud po přemístění na místo, kde nikdy nebyla mohou určit svou polohu vzhledem k cíli, aniž by se spoléhala na známé prvky krajiny a jiná vodítka, která mohla pozorovat při přemístění na místo testování. Je známo, že jen málo zvířat má schopnost určit polohu vzhledem k cíli poté, co byla přemístěna do neznámých oblastí za podmínek, kdy nemohou sledovat cestu do testovacího místa.

Stejně jako v experimentu Lohmanna et al., (2003) probíhal transport v uzavřených boxech za podmínek, kdy během transportu nebyla k dispozici žádná vizuální vodítka, jako okolní krajina, poloha Slunce aj.

Magnetické pole však na rozdíl od Lohmanna et al., (2003) nebylo v žádné fázi experimentu narušeno a bylo tak k dispozici po dobu všech převozů do místa testování. Při přemísťování však bylo s boxy otáčeno, což mělo zajistit alespoň částečné ztížení magnetické orientace.

I přes tato vizuální omezení a ztížení magnetické orientace rotací boxu při přepravě byla 3. skupina (re-testované myšice) schopna se orientovat na ose odpovídající odchytové lokalitě (graf 5B). Pro potvrzení domněnky, že myšice odvozují polohové informace ze zemského magnetického pole byly myšice vystaveny uměle otočenému magnetickému poli. Právě graf 5B tuto domněnku potvrdil.

Experimentů zabývajících se magnetosensitivitou a homingem u hlodavců bylo provedeno již mnoho a mnoha výzkumnými týmy (Mather & Baker, 1980, 1981; August et al., 1989; Burda et al., 1990; Kimchi et al., 2004). Ne vždy však byly výsledky relevantní anebo replikovatelné. Výzkumem myšic křovinných se zabývali například Malkemper et al., (2015) a Mather & Baker, (1980), kteří svůj výzkum replikovali a optimalizovali v roce 1981.

Stejně jako v jejich případě byli odchyťováni jedinci z volné přírody a převáženi do testovacího střediska. Rozdílná však byla vzdálenost, na kterou byli jedinci přepravováni (40 m oproti cca 1 km), ale i způsob přepravy. V případě Mathera & Bakera, (1981) byli jedinci přepuštěni do přenosové tuby a po 2 - minutové aklimatizaci byli přemístěni v boxu do testovacího střediska, tento box byl vybaven aparaturou, která umožňovala rotaci magnetického pole. V experimentu provedeném v rámci řešení bakalářské práce byli jedinci i s pastí uloženi do uzavřeného boxu, s kterým bylo během chůze otáčeno a následně byli vozem převezeni do místa testu. Dalším rozdílem ve výzkumu byla příprava a samotný průběh testu. Zatímco autoři ihned po přenosu z odchytové lokality vpustili jedince do

testovací aparatury, V experimentu provedeném v rámci řešení bakalářské práce byl myšicím ponechán čas několika hodin na adaptaci na nové prostředí a zklidnění. Lišil se i vzhled testovací aparatury a délka pobytu v něm. Testovací aparatura autorů měla 4 ramena (S, J, V, Z) a jedincům byl poskytnut pohled na oblohu, délka trvání testu byla 4 minuty a hodnocena byla délka pobytu v jednotlivých ramenech.

V experimentu provedeném v rámci řešení bakalářské práce byly použity kruhové arény. 1. z nich byla umístěna uvnitř magnetické cívky, tudíž jedinci neměli možnost sledovat oblohu, západ slunce byl simulován zhasnutím světel. A vždy bylo uměle otočeno magnetickým polem. Naopak 2. aréna byla umístěna ve volné přírodě a testování jedinci tak oblohu sledovat mohli, magnetické pole zde otáčeno nebylo. Délka trvání testu byla závislá na délce času mezi západem a východem slunce, myšice však byly vždy umístěny do arény 30 minut před západem slunce. Hodnotícím kritériem byla poloha hnízda v aréně.

Oba dva experimenty prokázaly magnetosensitivitu a homing u myšice křovinné, ač rozdíly v metodice byly v některých ohledech diametrální. Otázkou však zůstává, zda u výzkumu Mathera & Bakera, (1981) nemohla hrát roli dostupnost vizuálních podnětů z krajiny a v experimentu provedeném v rámci řešení bakalářské práce, zda není homing prokázán díky malému vzorku pozorovaných jedinců. Skupina, u které vznikly signifikantní výsledky totiž obsahovala pouhých 15 pozorování.

V rámci experimentu provedeném při řešení bakalářské práce byla použita metodika inspirovaná výzkumem Malkempera et al., (2015). Stejně jako v práci autorů byli jedinci odchytáváni z volné přírody a testování v kruhových arénách, hodnotícím kritériem byla pozice hnízda v aréně. Rozdíl spočíval ve fázi přecházející samotnému testu. V experimentu pro řešení bakalářské práce byli jedinci drženi v intervalu 1 hodiny od východu slunce po 0,5 hodiny do západu slunce v plastových boxech uvnitř elektromagneticky odstíněné klece, která byla umístěna ve volné přírodě. Zatímco v práci autorů byli jedinci drženi v dřevěném boxu, ve kterém byli z důvodu redukce stresu způsobeného odchycem drženi 1-3 dny. Dalším rozdílem bylo používání rádiových frekvencí, které v rámci tohoto experimentu použity nebyly.

Výsledky autorů z části experimentu, při kterém nebyla využívána rádiová frekvence se shodují s výsledky experimentu bakalářské práce. Při vyhodnocení distribuce hnízd vzhledem k topografickému severu (nezávisle na zarovnání magnetického pole) nebyla prokázána významná distribuce hnízd. Což prokazuje využívání magnetického pole namísto topografických vodítek.

Zcela jistě by bylo vhodné výzkum replikovat a optimalizovat. Velice zajímavým se jeví rozdíl mezi myšicemi, které byly testovány pouze jednu noc a jedinci re-testovanými. Myšice re-testované se totiž zdají být více orientované, naši domněnkou je, že potřebují více času na zorientování se v nové lokalitě a uvědomění si, kde se vzhledem k jejich aktuální pozici nachází odchytová lokalita. Zároveň odchyt, manipulace i nové prostředí musí být pro zvíře velmi stresující.

Vhodnou optimalizací by bylo se od počátku soustředit na re-testování jedinců, jelikož v tomto případě vzniklo opakované testování pouze jako náhražka díky problémům s odlovem a následným nedostatkem jedinců k testování. Z tohoto důvodu je velký nepoměr vzorku re-testovaných jedinců k jedincům testovaným 1 noc.

6 Závěr

Magnetorecepce je dnes jednou z nejméně zkoumaných oblastí smyslové ekologie. Ač není doposud známa struktura samotného magnetoreceptoru, jeho umístění v těle a ani přesný mechanismus jeho fungování, jsou známé behaviorální projevy při změně magnetického pole.

Myšice křovinná se jako další z živočichů zkoumaných v cívce FLD stala testovacím objektem tzv. šestého smyslu. Její potenciál tkví ve vhodnosti použití jako modelového druhu savců.

Práce si kladla za cíl prokázat, či vyvrátit magnetosensitivitu u myšice křovinné, jako modelového druhu pro zjišťování homingu u savců. A pomocí experimentu v elektromagnetické cívce zjistit, zda u myšice křovinné může být schopnost homingu ovlivněna magnetickým polem Země.

Magnetosensitivitu se pomocí pokusů v elektromagnetické cívce podařilo prokázat. Schopnost homingu se u re-testovaných jedinců potvrdila i v případě posunutí magnetického pole.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

- ANDĚRA, M.; GAISLER, J., 2012. Savci České republiky: popis, rozšíření, ekologie, ochrana. Academia, Praha, 288 s. ISBN 978-80-200-2185-4.
- ATTUQUAYEFIO, D. K.; GORMAN, M. L.; WOLTON, R. J., 1986. Home range sizes in the Wood mouse *Apodemus sylvaticus*: habitat, sex and seasonal differences. *Journal of Zoology* 210: 45-53.
- AUGUST, P. V.; AYVAZIAN, S. G.; ANDERSON, J. G. T., 1989. Magnetic Orientation in a Small Mammal, *Peromyscus leucopus*. *Journal of Mammalogy* 70: 1-9 .
- BECKER, G., 1976. Reaction of termites to weak alternating magnetic fields. *Naturwissenschaften* 63: 201-202.
- BEGAL, S.; ČERVENÝ, J.; NEFF, J.; VOJTĚCH, O.; BURDA, H., 2008. Magnetic Alignment in Grazing and Resting Cattle and Deer. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 105: 13451-13455.
- BEGALL, S.; MALKEMPER, E. P.; ČERVENÝ, J.; NĚMEC, P.; BURDA, H., 2012. Magnetic Alignment in Mammals and Other Animals. *Mammal Biology* 78: 10-20.
- BEGALL, S.; BURDA, H.; MALKEMPER, E. P., 2014. ChapterTwo: Magnetoreception in Mammals. *Advances in the Study of Behavior* 49: 45-88.
- BOLES, L. C.; LOHMANN, K. J., 2003. True navigation and magnetic maps in spiny lobsters. *Nature* 421: 60-63.
- BURDA, H.; MARHOLD, S.; WESTENBERGER, T.; WILTSCHKO, R.; WILTSCHKO, W., 1990. Magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae). *Experientia* 46: 528-530.
- COCHRAN, W. W.; MOURITSEN, H; WIKELSKI, M., 2004. Migrating songbirds recalibrate their magnetic compass daily from twilight cues. *Science* 304: 405-408.

ČERVENÝ, J.; BEGALL, S.; KOUBEK, P.; NOVÁKOVÁ, P.; BURDA, H., 2011. Directional Preference May Enhance Hunting Accuracy in Foraging Foxes. *Biology Letters*. 7: 355-357.

DEUTSCHLANDER, M. E.; PHILLIPS, J. B., 1999. The case for light-dependent magnetic orientation in animals. *Journal of Experimental Biology* 202: 891-909.

DOMMER, D. H.; GAZZOLO, P. J.; PAINTER, M. S.; PHILLIPS, J. B., 2008. Magnetic compass orientation by larval *Drosophila melanogaster*. *Journal of insect physiology* 54: 719-726.

ELSASSER, W. M., 1939. On the Origin of the Earth's Magnetic Field. *Physical Review* 55: 489-499.

FISCHER, J. H.; FREAKE, M. J.; BORLAND, S. C.; PHILLIPS, J. B., 2001. Evidence for the use of magnetic map information by an amphibian. *Animal Behaviour* 62: 1-10.

FRANSSON, T.; JAKOBSSON, S.; JOHANSSON, P.; KULLBERG, C.; LIND, J.; VALLIN, A., 2001. Magnetic cues trigger extensive refuelling. *Nature* 414: 35-36.

FREAKE, M. J.; MUHEIM, R.; PHILLIPS, J. B., 2006. Magnetic Maps in Animals: A Theory Comes of Age? *The Quarterly Review of Biology* 81: 327-347.

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. *PLoS ONE* 7: 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, H., 2013a. Directional compass preference for landing in water birds. *Frontiers in Zoology* 10: 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* 10: 1-25.

HOLLAND, R. A.; THORUP, K.; VONHOF, M. J.; COCHRAN, W. W.; WIELSKI, M., 2006. Navigation: Bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature* 444: 653-702.

JACKLYN, P. M.; MUNRO, U., 2002. Evidence for the use of magnetic cues in mound construction by the termite *Amitermes meridionalis* (Isoptera: Termitinae). *Australian Journal of Zoology* 50: 357-368.

JACKLYN, P. M., 1992. Magnetic termite mound surfaces are oriented to suit wind and shade conditions. *Oecologia* 91: 385-395.

JELÍNEK, J., 2010: *Nauka o Zemi pro technické obory*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, online: <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-zem.htm>, cit. 13.3.2020

JOHNSEN, S.; LOHMAN, K. J., 2005. The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews Neuroscience* 6: 703-712.

KIMCHI, T.; TERKEL, J., 2001. Magnetic compass orientation in the blind mole rat *Spalax ehrenbergi*. *Journal of Experimental Biology* 204: 751-758.

KIMCHI, T.; TERKEL, J., 2004. A Subterranean Mammal Uses the Magnetic Compass for Path Integration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101: 1105-1109.

KIRSCHVINK, J. L.; JONES, D. S.; MACFADDEN, B. J., 1985. Magnetite biomineralization and magnetoreception in organisms / a new biomagnetism. Springer, US, 704 s.

KIRSCHVINK, J., 1992. Uniform magnetic fields and double-wrapped coil systems: Improved techniques for the design of bioelectromagnetic experiments. *Bio Electro Magnetism* 13: 401-411.

LEONHARDT, R.; FABIAN, K., 2007. Paleomagnetic reconstruction of the global geomagnetic field evolution during the Matuyama/Brunhes transition: Iterative Bayesian inversion and independent verification. *Earth and Planetary Science Letters* 253: 172-195.

LOHMANN, K. J.; CAIN, S. D.; DODGE, S. A.; LOHMANN, C. M. F., 2001. Regional Magnetic Fields as Navigational Markers for Sea Turtles. *Science* 294: 364-366.

LOHMANN, K. J.; LOHMANN, C. M. F.; PUTMAN, N. F., 2007. Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of Experimental Biology* 210: 3697-3705.

LOHMANN, K. J.; PUTMAN, N. F.; LOHMANN, C. M. F. Geomagnetic imprinting: A Unifying hypothesis of long-distance natal homing in salmon and sea turtles. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 19096-19101.

MACMILLIAN, S.; FINLAY, Ch, 2011. The International Geomagnetic Reference Field. In: MANDEA, M. a M. KORTE. *Geomagnetic Observations and Models*. Springer, Dordrecht: 265-276.

MALKEMPER, P. E.; HEDER, S. H. K.; BEGALL, S.; PHILLIPS, J. B.; WINKLHOFER, M.; HART, V.; BURDA, H., 2015. Magnetoreception in the wood mouse (*Apodemus sylvaticus*): influence of weak frequency-modulated radio frequency fields. *Scientific Reports* 5: 1-6.

MARHOLD, S.; WILTSCHKO, W.; BURDA, H., 1997. A magnetic Polarity Compass for Direction Finding in a Subterranean Mammal. *Naturwissenschaften* 84: 421-423.

MATHER, J. G.; BAKER, R. R., 1980. A demonstration of navigation by small rodents using an orientation cage. *Nature* 284:259-262.

MATHER, J. G.; BAKER, R. R., 1981. Magnetic sense of direction in wood mice for route-based navigation. *Nature* 291: 152-155.

METEOGRAM.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/> cit. 2020-06-13

MORA, C. V.; BINGMAN, V. P., 2013. Detection of Magnetic Field Intensity Gradient by Homing Pigeons (*Columba livia*) in a Novel “Virtual Magnetic Map” Conditioning Paradigm. *PLoS ONE* 8: 1-17.

MORITZ, R. E.; BURDA, H.; BEGALL, S.; NĚMEC, P., 2007. Magnetic Compass: A Useful Tool Underground. In: BEGALL, S.; BURDA, H.; SCHLEICH, Ch. E., Subterranean Rodents: News from Underground. Springer, Berlin: 161-174.

NAISBETT-JONES, L. C.; PUTMAN, N. F.; STEPHENSON, J. F.; LADAK, S.; YOUNG, K. A., 2017. A Magnetic Map Leads Juvenile European Eels to the Gulf Stream. *Current Biology* 27: 1236-1240.

PAINTER, M. S.; DAVIS, M.; GANESH, S.; RAK, E.; BRUMET, K.; BAYNE, H.; MALKEMPER, E. P.; PHILLIPS, J. B., 2018. Evidence for plasticity in magnetic nest-building orientation in laboratory mice. *Animal Behaviour* 138: 93-100.

PAPI, F., 1992. *Animal Homing*. Springer, Netherlands, 390 s.

PHILLIPS, J. B.; FREAKE, M. J.; FISCHER, J. H.; BORLAND, Ch. S., 2002. Behavioral titration of a magnetic map coordinate. *Journal of comparative physiology* 188: 157-160.

ROBINSON, W. L.; FALLS, J. B., 1965. A Study of Homing of Meadow Mice. *The American Midland Naturalist* 73: 188-224.

SKILES, D. D., 1985. The Geomagnetic Field Its Nature, History, and Biological Relevance. In: KIRSCHVINK, J. L.; JONES, D. S.; MACFADDEN, B. J. *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms: A New Biomagnetism*. Springer, US: 42-103s.

VÁCHA, M.; NĚMEC, P., 2007. Mechanizmy magnetorecepce: Jak živočichové vnímají geomagnetické pole. *Vesmír* 86: 224-228.

VÁCHA, M.; NĚMEC, P., 2007. Kompas a mapa: Orientace v geomagnetickém poli. *Vesmír* 86: 1-4.

VONDRA, V., 2019. GMP4, Generátor proudů pro 3D systém prostorových cívek. Uživatelský návod – hardwarová část. 7 s.

VOSS, J.; KEARY, N.; BISCHOF, H. J., 2007. The use of the geomagnetic field for short distance orientation in zebra finches. *NeuroReport* 18: 1053-1057.

WALKER, M. M.; DENNIS, T. D.; KIRSCHVINK, J. L., 2002. The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology* 12: 735-744.

WILTSCHKO, W.; WILTSCHKO, R., 1972. Magnetic Compass of European Robins. *Science* 176: 62-64.

WILTSCHKO, W.; WILTSCHKO, R., 1995. *Magnetic orientation in animals*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 297 s.

WILTSCHKO, W.; WILTSCHKO, R., 2006. Magnetoreception. *BioEssays* 28: 157-168.

WILTSCHKO, W.; WILTSCHKO, R., 2007. Magnetoreception in birds: two receptors for two different tasks. *Journal of ornithology* 148: 61-76.

WILTSCHKO, W.; WILTSCHKO, R., Magneticorientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology* 191: 675-693.

WINKLHOFER, M., 2009. The Physics of Geomagnetic-Field Transduction in Animals. *IEEE Transactions on Magnetism* 45: 5259-5265.