

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Vyhodnocení vlivu geomagnetismu na jezevčíky

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Benediktová

Vedoucí práce: prof. Ing. Iva Langrová, CSc.

Konzultant práce: doc. Ing. Vladimír Hanzal, CSc.

© 2013 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vyhodnocení vlivu geomagnetismu na jezevčíky" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4.2013

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala za vstřícný přístup doc. Ing. Vladimíru Hanzalovi, CSc., který mi jako studentce FAPPZ umožnil zpracovat bakalářskou práci na Katedře myslivosti a lesnické zoologie FLD a poskytl mi cenné rady a odborné vedení. Děkuji také prof. Ing. Ivě Langrové, CSc. Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za veškerou pomoc včetně psychické a v neposlední řadě všem svým jezevčíkům za vzornou spolupráci při měření.

Vyhodnocení vlivu geomagnetismu na jezevčíky

Evaluation of the influence of geomagnetism on dachshunds

Souhrn

Bakalářská práce se věnuje studiu magnetorecepčního chování psů. O schopnostech živočichů vnímat magnetické pole Země má současná věda mnoho poznatků, ale dosud nebylo spolehlivě prokázáno, jakým způsobem zvířata vnímají a zpracovávají informace, které geomagnetické pole poskytuje.

Teoretická část práce shrnuje současné poznatky o magnetoreceptci. Zaměřuje se na popis hlavních hypotéz vnímání magnetického pole Země a na možné fyziologické procesy v organismu spojené s magnetoreceptcí. Přináší přehled o pozorovaných behaviorálních projevech zvířat a o současných poznatcích o biologickém významu magnetorecepčního chování známého jako magnetic alignment.

Vyhodnocením vlivu geomagnetismu na jezevčíky se zabývá praktická část práce. Pozornost je věnována hlavně pozičnímu chování jako jednomu z projevů magnetického vnímání. K vyhodnocení naměřených dat byl použit statistický program Oriana pracující na principu kruhových diagramů. Výsledky práce ověřily a rozšířily současné poznatky o pozičním chování savců.

Z výsledků vyplývá, že jezevčíci při odpočinku, spánku a vyměšování často preferují severojižní směr. K výraznému narušení pozičního chování dochází v případech, kdy jsou jezevčíci ovlivněni lokálním magnetickým polem.

Klíčová slova: magnetická orientace, jezevčíci, siločáry, magnetorecepce, poziční chování, kynologie

Summary

This Bachelor thesis focuses on a study of magnetoreceptor behaviour of dogs. The current science has got many findings about animals abilities to perceive the Earth's magnetic field. However the way, how the animals feel and process the information that the magnetic field provides, hasn't been reliably proved yet.

The theoretical part of the thesis summarizes the current findings about the magnetoreception. It's focused on a description of main hypothesis about perception of Earth's magnetic field and possible physiological processes related to the magnetoreception in an organism. It brings a summary of observed animalsbehaviour and the current findings about the biological meaning of the magnetoreceptor behaviour, known as a magnetic alignment.

The evaluation of an geomagnetism influence on dachshunds is the aim of the practical part of this thesis. The attention is paid mainly to the positional behaviour as one of the magnetoreceptor perception. To evaluation of the measured dates has been used statistical program Oriana, which works on the principle of circular diagrams. The results of the work should verify current knowledge about the positional behaviour of mammals.

The results indicate that dachshunds during rest, sleep and excretion often prefer a north-south direction. To major disruptions of magnetic alignment occurs in cases when dachshunds are affected by local magnetic field.

Keywords: magnetic orientation, dachshunds, field lines, magnetoreception, magnetic alignment, cynology

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	10
3	Literární přehled	11
3.1	Magnetické pole Země	11
3.1.1	Mechanismus vzniku magnetického pole Země	11
3.1.2	Struktura magnetického pole Země	12
3.1.3	Funkce magnetického pole Země	12
3.1.4	Anomálie magnetického pole Země	13
3.2	Mechanismy vnímání magnetického pole Země	13
3.2.1	Fyziologie magnetoreceptorů.....	13
3.2.2	Hlavní hypotézy vnímání magnetického pole Země.....	14
3.2.2.1	Elektromagnetická indukce	14
3.2.2.2	Teorie radikálových párů	15
3.2.2.3	Magnetitová teorie.....	15
3.3	Magnetická orientace	16
3.3.1	Magnetický kompas	16
3.3.2	Magnetická mapa	16
3.3.3	Poziční chování (magnetic alignment).....	17
3.4	Vliv magnetického pole Země na poziční chování živočichů	17
3.4.1	Poziční chování a vlivy prostředí.....	18
3.4.1.1	Nízkofrekvenční elektromagnetické pole.....	19
3.4.1.2	Proudění vzduchu	20
3.4.1.3	Sluneční záření	20
3.4.1.4	Proudění vody	21
3.4.1.5	Sklon terénu.....	21
3.4.1.6	Ostatní vlivy	21
3.4.2	Biologický význam pozičního chování.....	21
3.4.3	Směrová preference lišek a magnetický dálkoměr	22
3.4.4	Poziční chování u skotu, jelení a srnčí zvěře	23
3.4.5	Poziční chování koní.....	24
3.4.6	Poziční chování afrických přežvýkavců	24

3.4.7	Poziční chování kaprů	25
3.5	Jezevčík	26
4	Materiál a metodika	27
4.1	Chovatelská stanice Valentinka	27
4.1.1	Popis	27
4.1.2	Ubytování	27
4.1.3	Výživa	27
4.1.4	Pracovní využití	27
4.2	Postup sledování	28
4.2.1	Spánek a odpočinek bez ovlivnění	29
4.2.2	Vyměšování bez ovlivnění	30
4.2.3	Vyměšování s ovlivněním (vliv ELFMs)	30
4.2.4	Vyměšování s ovlivněním (vliv lokálního magnetického pole)	31
4.3	Statistické vyhodnocení	32
5	Výsledky	33
5.1	Spánek a odpočinek bez ovlivnění	33
5.2	Vyměšování bez ovlivnění	35
5.2.1	Urinace	35
5.2.2	Defekace	37
5.3	Vyměšování s ovlivněním (vliv ELFMs)	39
5.3.1	Urinace – 110 kV	39
5.3.2	Defekace – 110 kV	40
5.3.3	Urinace – 400 kV	41
5.3.4	Defekace – 400 kV	42
5.4	Vyměšování s ovlivněním (vliv lokálního magnetického pole)	44
5.4.1	Urinace	44
5.4.2	Defekace	46
6	Diskuse	48
7	Závěr	51
8	Seznam literatury	52

1 Úvod

Na naší planetě se život vyvíjel po miliardy let. Prošel složitým vývojem, než se přetvořil do podoby, v jaké ho známe dnes. Každý organismus byl vystaven tvrdému přírodnímu výběru, který přežili jen ti nejodolnější a nejprizpůsobivější. Každý živočišný druh používá jinou životní strategii, ale jedno mají společné. Dokonalé smysly. Některá zvířata jsou vybavena vynikajícím čichem, jiná ostrým zrakem, další se spoléhají na vysoce citlivý sluch. A některá z nich, nebo možná všechna, mají smysl, který byl lidem odepřen. Smysl pro vnímání magnetického pole Země.

Každý zná kompas a způsob jeho použití. Bez tohoto jednoduchého přístroje bychom nebyli schopni překonávat oceány, cestovat přes pouště nebo podnikat dlouhé cesty pustinou. Ale co zvířata? Migrují tisíce kilometrů. Často se pohybují rozlehlými pláněmi a oceány, tedy prostředím bez zjevných orientačních bodů. Nevyhýbají se ani noční migraci. A přesto vždy neomylně naleznou cíl své cesty. Objevily se i případy, kdy zvířata dokázala předpovědět přírodní pohromy (např. zemětřesení) dlouho předtím, než přišly.

Existenci tajemného „šestého smyslu“ zvířat lidé tušili již dávno, ale teprve od 19. století badatelé postupně odkrývali jeho tajemství. V 60. letech 20. století byly na toto téma publikovány první studie a teprve posledních 20 let se vědci začali fenoménu magnetické orientace věnovat podrobněji.

Schopnost vnímat a zpracovávat informace, které poskytuje magnetické pole Země, se nazývá magnetorecepce. Geomagnetické pole je všudypřítomné, vyskytuje se na kterémkoliv místě naší planety a informace jsou tudíž dostupné v každém okamžiku. Člověk se tyto informace naučil „vidět“ prostřednictvím kompasu. Bylo by zvláštní, kdyby se zvířata to samé nenaučila prostřednictvím svých smyslů.

Za posledních 20 let byla tato schopnost prokázána u mnoha skupin živočichů, nejprostudovanější jsou ptáci a mořští živočichové, následují ryby, včely, obojživelníci, netopýři a další. Nedávno byla existence magnetického smyslu prokázána i u velkých savců. Vědci svoji pozornost zaměřili na přežvýkavce, konkrétně na krávy a jeleny, kde by se vzhledem k jejich pastevnímu chování dala magnetorecepce předpokládat. Pokud se tato schopnost skutečně vyskytuje i u domestikovaných zvířat, jsou krávy jediné, kde můžeme magnetorecepční chování očekávat?

Psi provázejí člověka dlouhá tisíciletí, za tu dobu se mezi člověkem a psem vytvořilo zvláštní pouto, které nenacházíme u žádného jiného živočišného druhu. Pes je pro člověka nesmírně důležitý. Je neocenitelným pomocníkem při lovu, zachraňuje lidské životy, pomáhá postiženým lidem, chrání majetek i hospodářská zvířata. Mysleli jsme si, že za ty tisíce let společného soužití víme o psech a jejich chování téměř vše. Vždyť jsme rozluštili i jejich genetický kód. Ale teprve teď zjišťujeme, že i psi mají smysl, který člověk neumí vědomě využívat. Musíme si přiznat, že se nám dosud nepodařilo identifikovat místo, kde se magnetoreceptory v organismu nacházejí, ani jakým způsobem centrální nervový systém podněty zpracovává. Pátrání po receptorech komplikuje i skutečnost, že živočichové pravděpodobně používají magnetický smysl jen jako doplněk či jednu z částí celého komplexu smyslového vnímání.

Výzkum uskutečněný v rámci experimentální části bakalářské práce může pomoci v poznání potřeb a smyslu využívání magnetického pole Země našimi čtyřnohými společníky. Základní výzkum, který vždy předchází aplikovaným výzkumům, je i z pohledu na problematiku magnetorecepce zásadní a bez něj by nebylo možné rozšířit poznání, které je prozatím na začátku. Možná by nám psi mohli pomáhat ještě více, než jsme si do současné doby mysleli.

2 Cíl práce

Cílem práce je vyhodnocení vlivu geomagnetismu na chování jezevčků, konkrétně na poziční chování, které může být jedním z možných projevů magnetické orientace a přispět tak nezávislými daty do diskuze o pozičním chování savců.

3 Literární přehled

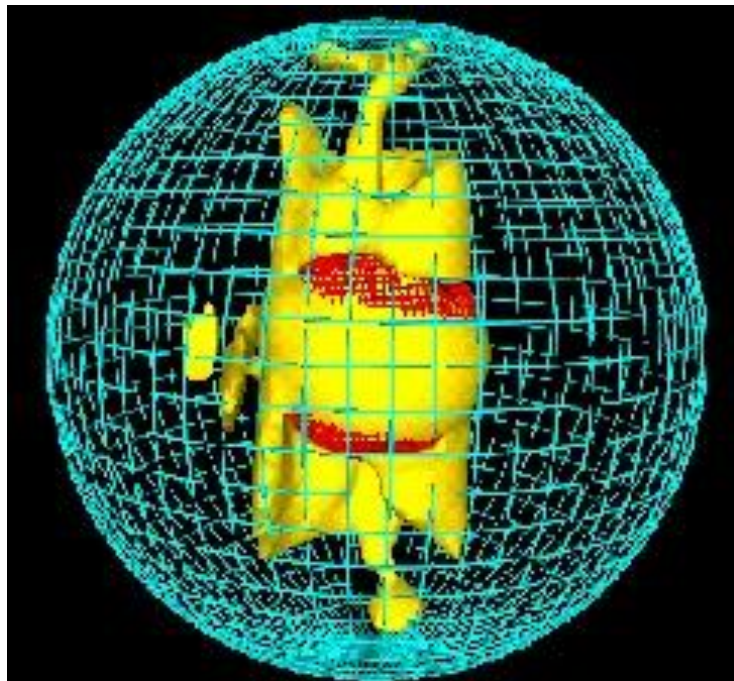
3.1 Magnetické pole Země

3.1.1 Mechanismus vzniku magnetického pole Země

Země má vlastní magnetické pole. Vzhledem k vysokým teplotám uvnitř Země, nemůže být zemské těleso namagnetizováno, za zdroj zemského magnetického pole je proto považováno přirozené dynamo s vlastním buzením (Brázdil et al., 1988).

Mechanismus jeho vzniku není přesně znám, vědci se domnívají, že se tvoří ve vnějším jádru Země. Jádro je složeno ze dvou částí, z vnitřního tuhého jádérka o průměru cca 1200 km a z vnějšího tekutého jádra. Předpokládá se, že zemské jádro se skládá hlavně ze železa a příměsí niklu, případně některých dalších prvků (Brázdil a kol., 1988).

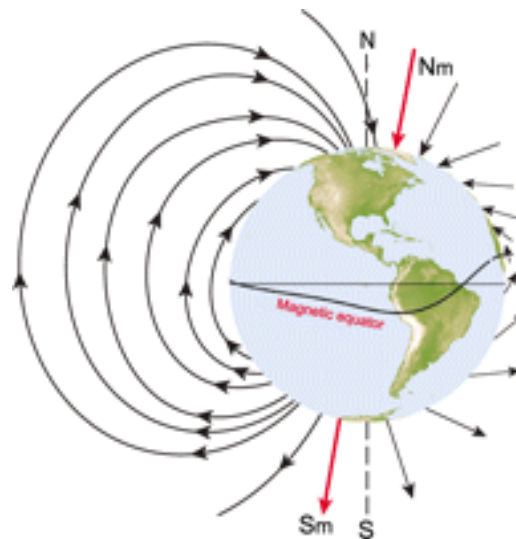
Teplota zemského jádra dosahuje 4000 °C a uvnitř panuje obrovský tlak. V této vrstvě dochází k vířivému pohybu roztaveného železa. Tekuté železo proudí rychlostí několika kilometrů za rok okolo pevného vnitřního jádérka, a protože je elektricky nabité, indukuje magnetické pole (Luhr, 2004).



Obr.1: Vznik magnetického pole Země: modrá část zobrazuje tekuté vnější jádro, červená vnitřní pevné jádérko, žlutá barva ilustruje vířivé pohyby tekutého železa ve vnějším jádru (zdroj: (Song et Richards, 1996))

3.1.2 Struktura magnetického pole Země

Zemské magnetické pole lze znázornit jako pole obrovského tyčového magnetu, magnetického dipólu, který prochází středem planety. Osa dipólu protíná zemský povrch v geomagnetickém severním pólu, na protilehlém bodě v Antarktidě v geomagnetickém jižním pólu. Geomagnetické póly se svou polohou liší od pólů geografických, v současné době svírá osa dipólu s osou rotace Země úhel 11° . Indukční čáry magnetického pole vycházejí z jižní polokoule a do Země vstupují na severní polokouli. Na kterémkoli místě zemského povrchu je směr magnetického pole určen dvěma úhly. Magnetická deklinace je úhel mezi zeměpisným severem a směrem vodorovné složky magnetického pole. Magnetická inklinace je úhel mezi vodorovnou rovinou a směrem magnetického pole, tj. udává nejmenší velikost úhlu mezi zemským povrchem a směrem siločáry na daném místě (Halliday et al., 2000).



Obr.2: Schématické znázornění magnetického pole Země: N – severní geografický pól, Nm – severní magnetický pól, S – jižní geografický pól, Sm – jižní magnetický pól, přerušovaná čára – osa rotace Země, tlustá čára – magnetický rovník, šipky vlevo – magnetické siločáry, šipky vpravo – vektor magnetického pole (zdroj: (Wu et Dickman, 2012))

3.1.3 Funkce magnetického pole Země

Magnetické pole Země má více funkcí. Chrání povrch naší planety před kosmickým zářením. Bez této ochrany by život nebyl možný. Vnější vrstva sluneční atmosféry vyvrhuje proud elektricky nabitých částic, které se pohybují sluneční soustavou. Při zasažení Země je většina částic odkloněna magnetickým polem. Část z nich může být vtažena do zemské atmosféry nad magnetickými póly, kde se ve výškách 90 – 300 km srážejí s molekulami

atmosféry. Doprovodným jevem těchto srážek je vznik polární záře. Výron částic, které proniknou přes magnetické pole Země, způsobí magnetickou bouři, která může rušivě zasáhnout elektrická vedení (Luhr, 2004).

Mezi další funkce magnetického pole Země patří poskytování poziční a směrové informace, diskutuje se i otázka schopnosti živočichů rozpoznat pomocí magnetoreceptorů blížíící se seismickou aktivitu v dané oblasti (Kirschvink, 2000).

3.1.4 Anomálie magnetického pole Země

Na stálé hodnoty geomagnetického pole mohou mít vliv magnetické minerály nacházející se v horních vrstvách zemské kůry. Způsobují však pouze lokální anomálie zvýšením či snížením intenzity magnetického pole. Denní variace způsobuje i elektromagnetické záření přicházející ze Slunce a případné magnetické bouře. Tyto změny jsou většinou velmi malé (Wiltschko et Wiltschko, 2012).

Vliv lokálních anomálií se s rostoucí vzdáleností od místa jejich vzniku snižuje. Pro rychle se pohybující živočichy, kteří cestují na velké vzdálenosti, nejsou pravděpodobně omezujícím faktorem (Lohmann et al., 2007).

3.2 Mechanismy vnímání magnetického pole Země

Schopnost živočichů vnímat magnetické pole Země se nazývá magnetorecepce. I přes dostatek důkazů, že živočichové touto schopností disponují, nebyly dosud mechanismy, kterými centrální nervový systém přijímá a interpretuje informace poskytnuté poměrně slabým geomagnetickým polem, zcela objasněny.

Otázkou zůstává i lokalizace receptorů pro detekci zemského magnetického pole v organismu. Komplikací při jejich hledání je skutečnost, že jen málo biologických materiálů je citlivých na magnetické pole (Johnsen et Lohmann, 2008).

3.2.1 Fyziologie magnetoreceptorů

Magnetické pole může tkáněmi volně prostupovat. To znamená, že magnetoreceptory, na rozdíl od většiny jiných smyslových receptorů, nemusí být umístěny na povrchu zvířete, ale mohou se nacházet na jakémkoliv místě v těle. Magnetoreceptory mohou představovat mikroskopické, možná intracelulární struktury rozptýlené po celém organismu, bez jakékoliv

zřetelné struktury, která by charakterizovala jejich skutečnou funkci (Johnsen et Lohmann, 2008).

Autoři Wu et Dickman (2012) zmiňují možnost existence receptorů v sítnici, zobáku, nosu a vnitřním uchu ptáků.

Eder et al. (2012) popsali a izolovali v buňkách čichového epitelu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) potencionální magnetoreceptory. Buňky, obsahující magnetické inkluze, pravděpodobně jednodoménoý magnetit, se otáčely synchronně s magnetickým polem. Většina těchto buněk měla protáhlý tvar s typickými rozměry 10–20 um a poměrem stran 1 : 6. Magnetické krystaly nacházející se uvnitř buňky jsou pravděpodobně uzavřeny v membránové struktuře a jsou pevně mechanicky spojeny s buněčnou stěnou, v jejíž těsné blízkosti se nacházejí. Ani po chemickém rozrušení cytoskeletárních vláken nedošlo ke zpomalení rotace buněk v porovnání s rotací magnetického pole.

3.2.2 Hlavní hypotézy vnímání magnetického pole Země

Pozornost se věnuje třem hlavním teoriím. Patří mezi ně elektromagnetická indukce, pomocí které by mohli magnetické pole Země detekovat mořští živočichové. Přímé důkazy, že indukce je základem magnetorecepce, však zatím získány nebyly. U ostatních živočichů se předpokládá využití biogenního magnetitu nebo teorie radikálových párů. Jednotlivé mechanismy magnetorecepce předpokládají její spojení s dalším recepčním smyslem (Johnsen et Lohmann, 2005).

3.2.2.1 Elektromagnetická indukce

Elektromagnetická indukce vzniká vzájemným silovým působením elektrického a magnetického pole. Pokud pohybujeme elektrickým vodičem v magnetickém poli tak, že protínáme magnetické indukční čáry, vzniká na koncích vodiče elektrické napětí. Je-li vodič zapojen do uzavřeného obvodu, protéká jím elektrický proud. Čím rychleji pohybujeme vodičem v magnetickém poli, tím je indukované napětí větší (ČEZ, 1999).

Na tomto mechanismu je založen například princip magnetorecepce u žraloků a rejnoků. Tato zvířata svým pohybem v geomagnetickém poli indukují elektromotorické napětí a vnímají jeho výši vysoce citlivým elektrorecepčním systémem umístěným v oblasti hlavy. Přesnost tohoto systému zajišťují kývavé pohyby hlavy při plavání, kterými žralok odfiltrovává elektrické pole tvořené mořskými proudy. Nezdá se, že by tento způsob

magnetorecepce využívala i sladkovodní a terestrická zvířata, protože dostatečně citlivé receptory mají pouze chrupavčité ryby. Například ryba rodu *Eigenmannia* sp., relativně elektrosensitivní zvíře, by musela plavat rychlostí 180 m/s, aby byla schopna detekovat magnetické pole pomocí indukce. Dále je pro tento způsob vnímání důležitá přítomnost média s vysokou vodivostí. Tuto podmínku splňuje pouze slaná mořská voda (Johnsen et Lohmann, 2008).

Tuto domněnku potvrzují ve své práci Ritz et al. (2010) kde uvádí, že pro mechanismus založený na elektromagnetické indukci jsou potřeba konkrétní elektricky citlivé struktury, tzv. Lorenziho ampule, které nebyly u ptáků a suchozemských zvířat nalezeny. To naznačuje, že elektromagnetická indukce není vhodný mechanismus magnetorecepce mimo vodní prostředí.

3.2.2.2 Teorie radikálových párů

Hlavním principem teorie radikálových párů je existence molekuly citlivé na světlo, která změní svůj oxidační stav na základě absorpce světla. Dochází k reakci, při které jedna molekula předává elektron druhé molekule a tvoří s ní radikálový pár. Tento model předpokládá propojení magnetorecepce s fotorecepcí. Při předpokladu, že se v sítnici nebo v epifýze nacházejí specializované receptory, jejichž fotopigmenty generují magneticky citlivé radikálové páry, může geomagnetické pole ovlivnit účinnost přeměny světla na membránový potenciál a stát se tak pro organismus viditelným (Němec a Vácha, 2007).

Jako prozatím jediná molekula, která by mohla zastávat roli fotoreceptoru, byla označena molekula kryptochromu. Je schopna tvořit radikálové páry s dostatečně dlouhou životností, aby mohlo dojít k jejich ovlivnění geomagnetickým polem (Ritz et al., 2010).

3.2.2.3 Magnetitová teorie

Schopnost vnímání magnetického pole pomocí biogenního magnetitu (Fe_3O_4), maghemitu (Fe_2O_3), případně greigitu (Fe_3S_4) je založena na silné interakci těchto minerálů s magnetickým polem způsobeným spontánním uspořádáním elektronových spinů. Některé bakterie a jednobuněčné řasy žijící ve vodě obsahují řetězce krystalů magnetitu nebo greigitu, které jim umožňují vnímat směr „dolů“, tedy do prostředí s nižším obsahem kyslíku. U vyšších živočichů není přesně známo funkční propojení s nervovým systémem. Malá velikost a železitá povaha těchto částic znemožňují jednoznačnou lokalizaci

v organismu. Feromagnetické částice jsou pod rozlišovací hranicí současných světelných mikroskopů. Dalším faktorem ztěžujícím identifikaci je skutečnost, že železo je jedním z nejběžnějších kovů, které se v organismech vyskytují (Johnsen et Lohmann, 2008).

Modelové výpočty ukázaly, že receptory pracující na principu magnetitové teorie by mohly zprostředkovávat buď směrové informace nebo informace o intenzitě magnetického pole, v závislosti na jejich specifické struktuře a množství feromagnetických částic (Winklhofer et Kirschvink, 2010).

3.3 Magnetická orientace

Zemské magnetické pole poskytuje různé typy informací. Nejznámější je severní a jižní polarita geomagnetických siločár, kterou je možno detekovat obyčejným kompasem. Siločáry mají také variabilní úhel sklonu (tzv. inklinaci). Inklinace dosahuje hodnot od 90 ° na pólech po 0 ° na rovníku. Rozdíly je možno pozorovat také v intenzitě geomagnetického pole, nejsilnější je na pólech, nejslabší na rovníku (O'Neill, 2013).

Polaritu magnetického pole je možno použít jako kompas a intenzitu magnetického pole jako součást navigační mapy. Magnetické pole Země tak představuje pro zvířata spolehlivý, vždy dostupný zdroj navigačních informací (Wiltschko et Wiltschko, 2012).

3.3.1 Magnetický kompas

Jako první byl tento fylogeneticky rozšířený jev prokázán u stěhovavých ptáků. Později byla orientace založená na magnetickém kompasu popsána u mnoha jiných druhů živočichů: ryb (Chew et Brown, 1989; Shcherbakov et al., 2005; Takebe et al., 2012), obojživelníků (Phillips et al., 2002; Schlegel, 2007), mořských želv (Light et al., 1993; Lohmann et Lohmann, 2006), hlodavců (Burda et al., 1990), netopýrů (Holland et al., 2008), hmyzu (Vácha et al., 2010; Buehlmann et al., 2012). Zajímavostí je, že ne všechna zvířata používají stejný typ magnetického kompasu. Některá, jako savci, využívají polaritní kompas. Jiná, například ptáci, používají inklinální kompas (Wiltschko et Wiltschko, 2012).

3.3.2 Magnetická mapa

Předpokládá se, že zvířata jsou schopna použít dva různé parametry geomagnetického pole, pravděpodobně inklinaci a intenzitu, podle kterých dokáží stanovit svoji geografickou polohu ve vztahu k známému cíli. Dosud nebylo popsáno, jakým mechanismem získávají

potřebné informace a jak takovou mapu vlastně „vidí“. Předpokládá se několik zásadně odlišných způsobů, některé z nich mohou být spojeny s nekonvenčními navigačními strategiemi (Lohmann et Lohmann, 2006).

3.3.3 Poziční chování (magnetic alignment)

Na rozdíl od poměrně hojně studované magnetické orientace, byla pozičnímu chování věnována v posledních desetiletích jen mizivá pozornost. První zprávy o tomto typu reakce živočichů se objevily již v roce 1960, ale teprve v posledních letech se tento nový fenomén dostal do pozornosti vědců. Studium pozičního chování vrhá nový pohled na magnetorecepci savců (Begall et al., 2013).

Poziční chování neboli magnetic alignment je „nasměrování osy těla ve směru magnetických siločar v případě, že nepůsobí žádné jiné důležitější faktory“. Mezi faktory, které mohou chování ovlivňovat, patří např. vítr, pohyb ve svahu, oslnění sluncem apod. (Begall et al., 2008).

Begall et al. (2013) definují poziční chování jako nejjednodušší směrovou odezvu na působení magnetického pole Země u zvířat v klidovém režimu (odpočinek) nebo při aktivitách prováděných na místě (číhání, lov, krmení, vyměšování, hrabání).

Studium pozičního chování živočichů je z hlediska volby metody velmi náročné. Výběr vhodné metody závisí hlavně na zvířeti, které je předmětem studie. Problematictí jsou zejména velcí savci, neboť jejich velikost téměř znemožňuje zkoumání v laboratoři. Většinu dat je nutno získávat pozorováním ve volné přírodě (Begall et al., 2013).

3.4 Vliv magnetického pole Země na poziční chování živočichů

Studie prováděné v posledních letech ukazují, že poziční chování je u zvířat rozšířeno více, než se původně očekávalo. Toto chování vyvolává otázky o jeho biologickém významu (Begall et al., 2013).

Základní princip neurobiologie uvádí, že organismus veškeré informace ze svého okolí získává pomocí specializovaných buněk (receptorů), ze kterých se stimuly pomocí akčního potenciálu přenášejí aferentními nervovými vlákny do CNS. Toto senzoričké zpracování podnětů následně ovlivňuje behaviorální chování. Protože magnetoreceptory nebyly dosud u žádného zvířete jednoznačně detekovány, postupuje se při studiu tohoto fenoménu

obráceně. Nejčastěji se hledají vhodné behaviorální reakce, které tvoří komplex mnoha faktorů, z nichž se odvozují možné způsoby biofyzikálního vnímání a transdukce mechanismů magnetorecepce (Kirschvink et al., 2010).

Cílem pozičního chování není, na rozdíl od magnetického kompasu, pohyb směrem k určitému cíli. Poziční chování představuje spontánní a pevnou směrovou odezvu. Protože zvířata mají tendenci přizpůsobovat své tělo souběžně s magnetickými siločárami nebo kolmo na ně, vede poziční chování obvykle k bimodální nebo kvadrimodální orientaci. Objevují se i důkazy pro fixní unimodální orientaci, která nemusí být nezbytně ve shodě s hlavními magnetickými směry (Begall et al. 2013).

Poziční chování nutně nevyžaduje schopnost vědomého vnímání magnetického pole a nemusí znamenat, že je zvíře schopno používat magnetický kompas pro orientaci a navigaci. Ale zcela jistě musí mít tato zvířata nějaký druh magnetorecepce (Begall et al., 2008).

Jedním z možných způsobů, jak zjistit mechanismus fungování receptorů, je studium vlastností pozičního chování (Begall et al., 2013).

3.4.1 Poziční chování a vlivy prostředí

Směrovou orientaci zvířat ovlivňuje mnoho faktorů. Zvířata se instinktivně chovají tak, aby minimalizovala vliv nepříznivých faktorů a z příznivých faktorů vytěžila maximální užitek. Již staří zemědělci vyzorovali, že hospodářská zvířata se staví čelem nebo zády proti větru, aby snížila tepelné ztráty v důsledku konvekce. Naopak při slunečném počasí během chladných dní se staví kolmo ke slunci, pro zvětšení povrchu těla pro dopadající paprsky. Nicméně žádné vědecké studie ani moudrost našich předků dosud nevysvětlily poziční chování zvířat za ideálních podmínek.

Begall et al. (2008) ve své práci zmiňují možné vlivy, které by mohly ovlivňovat poziční chování skotu a spárkaté zvěře, konkrétně jelení a srnčí. Mezi důležité faktory zahrnuje zvědavost, zvyky, vítr, sklon terénu, slunce, ale i třeba přemísťování za potravou.

Několik posledních desetiletí probíhá i diskuze o možných behaviorálních, fyziologických nebo patologických vlivech nízkofrekvenčního elektromagnetického pole (ELFMFs) na organismus. Interakce mezi ELFMFs a magnetickým smyslem byly pozorovány např. u savců (Vanderstraeten et Burda, 2012).

3.4.1.1 Nízkofrekvenční elektromagnetické pole

Elektřina se stala nedílnou součástí našich životů. Její výroba probíhá v elektrárnách, ze kterých je vyrobená elektřina distribuována ke koncovým zařízením. Uskutečňuje se to prostřednictvím rozvodné sítě vysokého napětí, obvykle 440 kV, 220 kV nebo 110 kV, často na vzdálenost několika stovek kilometrů. Na kratší vzdálenosti a ve městech se používá vedení pod menším napětím, obvykle 22 kV.

Rozvodné sítě vysokého i nízkého napětí a spotřebiče, které pracují na frekvenci 50 Hz nebo 60 Hz, řadíme mezi nízkofrekvenční zdroje (König et Erlacher, 2001).

Tok elektrického proudu vodičem generuje ve svém okolí nízkofrekvenční elektromagnetické pole. Čím větší je elektrický proud, tím silnější je magnetické pole. Intenzita ELFMs klesá s rostoucí vzdáleností od vodiče (Halliday et al., 2000).

Oblasti s nejsilnějším ELFMs se nacházejí přímo pod elektrickým vedením v místě, kde jsou vodiče vlivem prověšení nejbližší k povrchu země. Zanedbatelných hodnot dosahuje intenzita ELFMs ve vzdálenosti 20 – 70 m (podle velikosti vedeného napětí) od osy vedení (Burda et al., 2009).

Burda et al. (2009) uvádějí, že došlo k narušení pozičního chování skotu a jelení zvěře v blízkosti elektrického vedení vysokého napětí. Analyzovali satelitní a letecké snímky zvířat, která se pásala pod vedením nebo do vzdálenosti 150 m od vedení. Tato zvířata vykazovala statisticky významné náhodné směřování osy těla. Kontrolní vzorek, pasoucí se v lokalitách bez elektrického vedení (vzdálenost min. 500 m), vykazoval výraznou preferenci pro severojižní směr. Dále se zaměřili na možnou interakci mezi magnetickým polem Země a magnetickým polem generovaným elektrickým vedením. Pod vedením, které leželo ve směru východ – západ, se skot zarovnával podél osy tohoto vedení, výrazně odlišně od kontrolního vzorku. Pod vedením ležícím v ose sever – jih měl dobytek tendenci se zarovnávat podél severojižní osy vedení, zarovnání bylo téměř totožné s kontrolním vzorkem. Skot pasoucí se pod vedením, které leželo na ose severozápad – jihovýchod a severovýchod – jihozápad vykazoval náhodné zarovnání osy těla. Tyto výsledky poskytly další důkaz pro teorii, že poziční chování zvířat je projevem magnetické orientace.

Možné vysvětlení, proč zvířata nereagují na geomagnetické pole v prostoru vedení vysokého napětí, nabízejí ve své práci Eder et al. (2012). Izolovali z čichového epitelu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) buňky, které otáčením reagovaly na změnu magnetického

pole. Magnetické inkluze v těchto buňkách jsou pevně spojeny s buněčnou membránou. To umožňuje přímou transdukcí mechanického tlaku způsobeného točivým momentem přímo na citlivé tlakové receptory. Takové buňky splňují fyzikální požadavky na magnetoreceptor, který by měl být schopen rychle zjistit malé změny ve vnějším magnetickém poli. To by mohlo vysvětlovat interference mezi magnetickým polem tvořeným vedením vysokého napětí a magnetorecepcí skotu, kdy elektromagnetické pole pravděpodobně „zneviditelní“ geomagnetické pole.

3.4.1.2 Proudění vzduchu

Pokud by mělo být proudění vzduchu hlavním faktorem ovlivňujícím poziční chování zvířat, muselo by být silné a přicházet hlavně ze severních a jižních směrů. To je velmi nepravděpodobné, protože na severní polokouli převažuje západní proudění. Na regionální úrovni jsou však slabší větry velmi variabilní v průběhu celého roku. Pokud by byl vítr rozhodujícím faktorem pozičního chování, zvířata by se pravděpodobně orientovala v ose západ-východ nebo severozápad-jihovýchod (Begall et al. 2008).

Proudění vzduchu zprostředkovává pachové informace, které mohou potencionální kořisti upozornit na přítomnost predátora a naopak predátorům usnadnit navěštění kořisti (Begall et al., 2013).

3.4.1.3 Sluneční záření

Slunce může zvířata ovlivňovat třemi různými způsoby. Má vliv na termoregulaci, může způsobovat oslnění, aktivuje sluneční kompas. Termoregulaci pomocí slunečních paprsků využívají zvířata převážně v chladných dnech, většinou v dopoledních hodinách. Při vysokých teplotách využívají stínu vegetace. V těchto situacích se nepasou. Oslnění přichází v úvahu pouze ráno a pozdě odpoledne, kdy je slunce nízko nad obzorem (Begall et al., 2008).

Vliv oslnění ovšem nelze vždy posuzovat z lidského hlediska. Oči mnoha zvířat (např. přežvýkavců) jsou umístěny laterálně, na rozdíl od frontálního umístění očí člověka (Begall et al., 2013).

Sluneční kompas hraje důležitou roli při navigaci těch druhů zvířat, kteří jsou schopni vnímat polarizované světlo. U skotu a spárkaté zvěře parametry sítnice pravděpodobně tuto schopnost vylučují (Begall et al., 2008).

3.4.1.4 Proudění vody

Tento faktor ovlivňuje spíše chování vodních živočichů. V silném proudu se ryby obračejí hlavou proti proudu, snižují tak hydrodynamický odpor, zlepšují proudění okysličené vody žábami a usnadňují si lov kořisti přinášené proudem (Begall et al., 2013).

3.4.1.5 Sklon terénu

Zvířata, která se pohybují nebo odpočívají v terénu s velkým sklonem (více jak 6 °), dávají přednost směrovému zarovnání po vrstevnici před zarovnáním kolmo k vrstevnici (Begall et al., 2013).

3.4.1.6 Ostatní vlivy

Na směrovou orientaci zvířat mají vliv i behaviorální reakce. Mezi nejběžnější můžeme zařadit zaměření pozornosti směrem, odkud zvíře očekává nebezpečí, zvědavé pozorování neznámých objektů nebo číhání a pozorování kořisti (Begall et al., 2013).

Všechny tyto faktory je nutno vzít při sledování zvířat v úvahu.

3.4.2 Biologický význam pozičního chování

Biologický význam pozičního chování zůstává tajemstvím. Existují různé teorie, ale žádná nebyla doposud jednoznačně potvrzena.

Wiltschko et Wiltschko (1995) se domnívají, že zachováním symetrického postavení těla se siločarami geomagnetického pole by mohlo docházet k ovlivňování některých fyziologických procesů, ale empirické a experimentální studie zatím chybí (Begall et al., 2013).

Udržení určitého magnetického směru může poskytnout zvířatům důležitou informaci pro prostorovou orientaci, která by mohla být důležitá při vyrušení a potřebě rychlého útěku v lokalitách bez zjevných orientačních bodů (Begall et al., 2008).

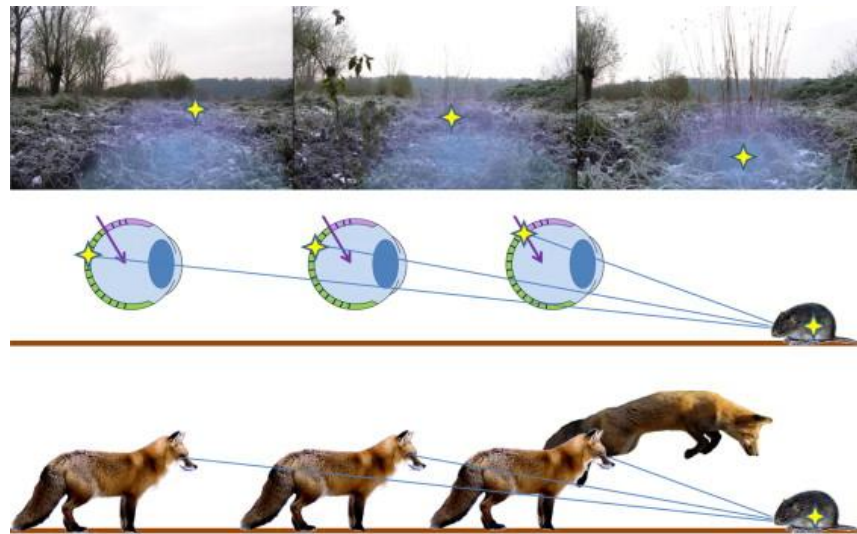
U společenských přežvýkavců pohybujících se ve stádech, může poziční chování synchronizovat směr jejich pohybu a zabránit nebezpečným kolizím. Může také pomáhat udržet kontakt se sousedními zvířaty při přesunu na jiné pastviny nebo při koordinovaném útěku (Begall et al., 2011).

Poziční chování může být také evoluční pozůstatek po předcích, kteří využívali magnetický kompas pro migrace na dlouhé vzdálenosti. Tato hypotéza ovšem vyvolává pochybnosti, protože poziční chování je výraznější u odpočívajících a spících zvířat (Begall et al., 2013).

Červený et al. (2011) vypožorovali, že směrová preference zvyšuje úspěšnost lovu lišek při tzv. „myškování“.

3.4.3 Směrová preference lišek a magnetický dálkoměr

Liška obecná (*Vulpes vulpes*) používá při lovu malých hlodavců zvláštní techniku zvanou „myškování“. Vyskočí vysoko do vzduchu a překvapí svou kořist dopadem z výšky. Primárním smyslem využívaným při lokalizaci kořisti ve vysoké trávě nebo pod sněhem se zdá být sluch. Sledováním 84 volně žijících lišek při lovu bylo zjištěno, že skoky vedené severním, severovýchodním nebo severozápadním směrem vykazovaly významně vyšší úspěšnost (60–72,5 %) než skoky, které byly vedeny jinými směry (úspěšnost méně než 18 %) (Červený et al., 2011).



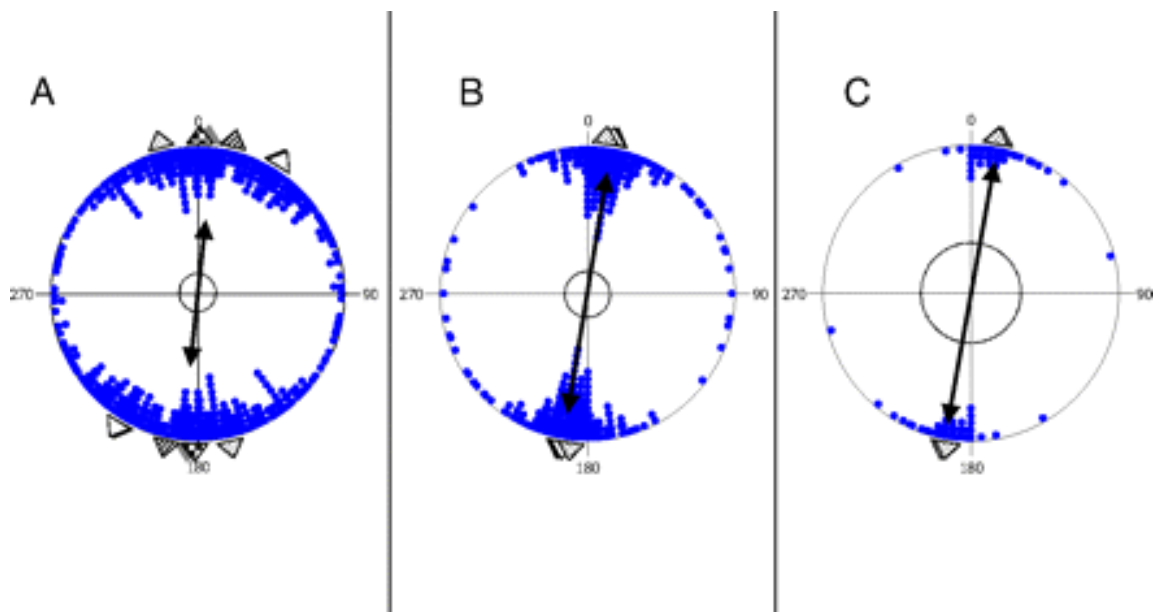
Obr.3: Hypotetický princip "magnetického dálkoměru" lišek (zdroj: (Červený, 2011))

Je možné, že některá zvířata dokáží vyhodnocením svislé složky (sklon a směr siločár) geomagnetického pole odvodit informaci o relativní vodorovné vzdálenosti (Phillips et al., 2010).

Červený et al. (2011) konstatují, že lišky by mohly využívat geomagnetické pole pro měření vzdálenosti ke kořisti, a tím zvýšit přesnost útoků při tomto způsobu lovu za předpokladu, že je magnetorecepce u lišek založena na teorii radikálových párů.

3.4.4 Poziční chování u skotu, jelení a srnčí zvěře

Begall et al. (2008) se ve své studii zaměřili na poziční chování skotu (*Bos primigenius*) na pastvinách, srnce obecného (*Capreolus capreolus*) při pastvě a odpočinku a na orientaci zálehů jelena lesního (*Cervus elaphus*) a srnce obecného. Chování skotu bylo hodnoceno pomocí satelitních snímků získaných prostřednictvím aplikace Google Earth. Byly získány pozice zvířat z různých lokalit po celém světě z různých denních časů, čímž došlo k eliminaci vlivů větru, slunce a teploty jako klíčových faktorů ovlivňujících polohu těla zvířete. V druhém případě bylo sledováno chování srnčí zvěře na pastvě a při odpočinku. Pozorování bylo prováděno v různých denních dobách (i v noci), v odlišných lokalitách a za různých klimatických podmínek. V třetí části práce byla analyzována poloha zálehů jelení a srnčí zvěře. Studie potvrdila, že zvířata měla ve všech třech případech tendenci vykazovat severojižní orientaci osy těla. Magnetické pole Země by proto mělo být považováno za faktor ovlivňující poziční chování skotu a spárkaté zvěře.



Obr.4: Vyhodnocení pozičního chování: A – pastva skotu, B – odpočinek a pastva srnčí zvěře, C – zálehy jelení a srnčí zvěře (zdroj: (Begall et al., 2008))

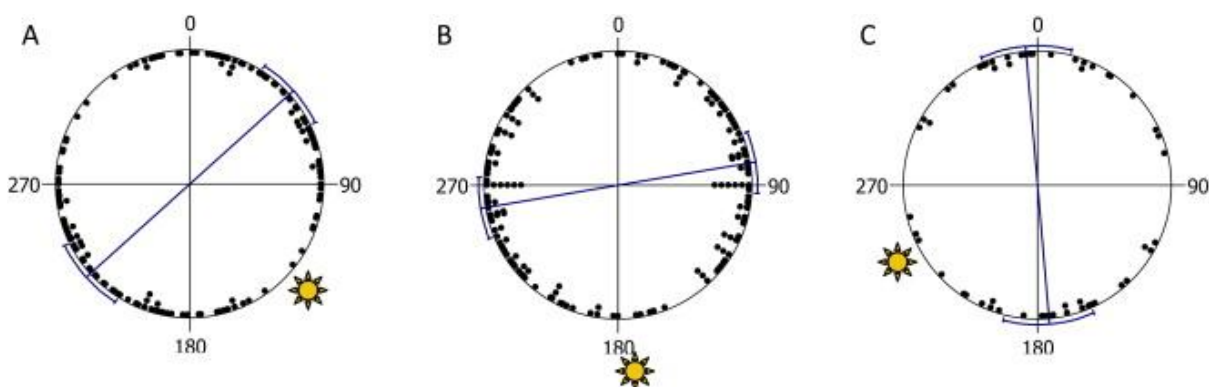
Závěry studie Begall et al. (2008), která se zaměřuje na poziční chování skotu, zpochybnili ve své práci Heřt et al. (2011). Prezentovali vlastní studii pozičního chování

domácího skotu, ve které došli k výsledku, že pozitivní závěr o existenci magnetorecepce u skotu je neopodstatněný.

Veškeré souřadnice poskytnuté Heřtem et al. (2011) i ostatní podpůrné údaje, však přezkoumal výzkumný tým Begall et al. (2011), který v práci Heřt et al. (2011) zjistil závažné metodické chyby při sběru dat i při statistickém vyhodnocení. Zpracování použitelných dat naopak podpořilo hypotézu o pozičním chování skotu, jak uvádějí Begall et al. (2008) a Burda et al. (2009).

3.4.5 Poziční chování koní

Po objevení existence pozičního chování u skotu a jelenů se Begall et al. (2013) zaměřili na sledování koní na pastvinách a výběžích v Evropě. Použitím aplikace Google Earth získali data od 795 koní ze 178 lokalit. Analýza neprokázala významný odklon od náhodného rozdělení. Axiální analýza dat ukázala preferenci pro směr VSV-ZJZ. U koní buď poziční chování chybí, nebo převažuje zarovnění ovlivněné slunečním zářením.



Obr.5: Směr osy těla koní v různých denních dobách: A - ráno, B - poledne, C - odpoledne (zdroj: (Begall et al., 2013))

3.4.6 Poziční chování afrických přežvýkavců

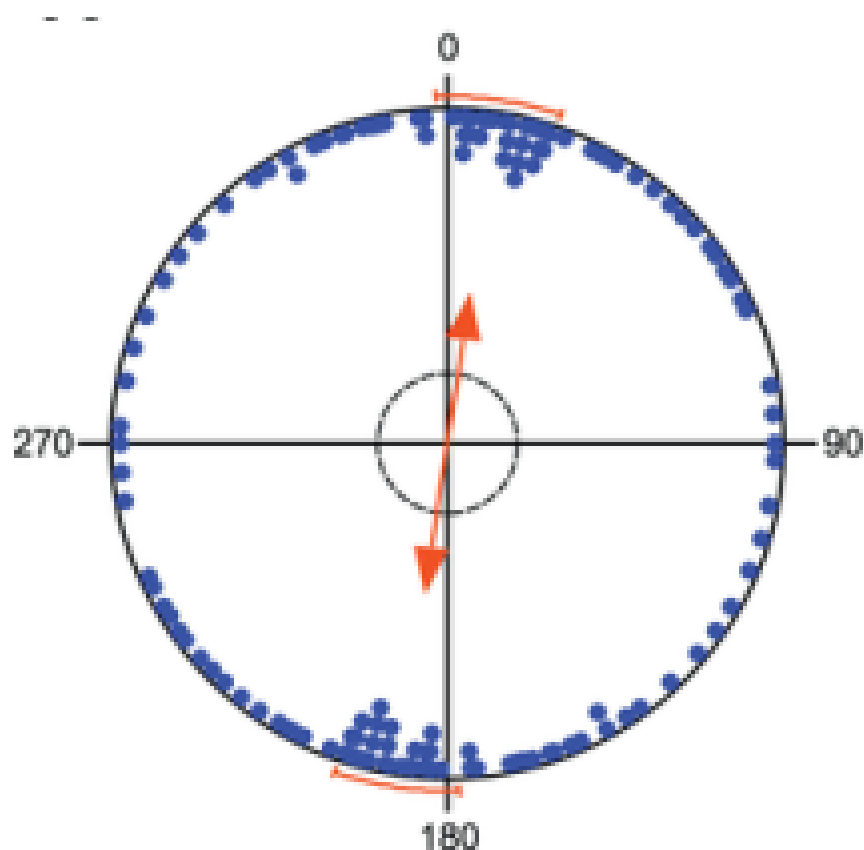
Heřtem et al. (2011) testovali, zda může severní orientace těla zvířete během chladného zimního období přinést energetickou výhodu. Souběžným pozorováním tří druhů afrických přežvýkavců došli k závěru, že se u zvířat neprojevovala severojižní směrová preference. Zvířata upřednostňovala orientaci kolmo k dopadajícímu slunečnímu záření.

Je třeba zdůraznit, že měření byla prováděna v obdobích horkého léta a chladné zimy, čímž maximalizovala šanci na prokázání směrové orientace podle intenzity slunečního záření.

Je nutné testovat hypotézu pozičního chování těchto druhů za příznivějších klimatických podmínek (Begall et al., 2013).

3.4.7 Poziční chování kaprů

Během období prodeje vánočních kaprů v České republice, které každoročně probíhá v průběhu prosince, se Hart et al. (2012) zaměřili na chování kaprů (*Cyprinus carpio*) v prodejních kádích. Na 25 lokalitách sledovali 14537 ks ryb umístěných v 80 velkých kruhových plastových nádobách. Zjistili, že kapři vykazovali statisticky vysoce významnou spontánní preferenci zarovnání těla v severojižním směru. Ve studii se zaměřili i na vliv pouličního osvětlení a vliv přítoku vody do kádě, dva významné faktory, které by mohly chování ryb ovlivnit. Zjistili, že kapři mají tendenci sladit orientaci těla rovnoběžně se směrem proudu vody. Proto z analýzy vyloučili kádě se zapnutým přítokem. Vliv osvětlení se ukázal jako nevýznamný.



Obr.6: Grafické znázornění měření prokazující severojižní zarovnání kaprů, dvojitá šipka označuje axiální vektor, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci (zdroj: (Hart et al., 2012))

3.5 Jezevčik

Jezevčik patří do IV. skupiny FCI (Fédération Cynologique Internationale), standard č. 148, země původu Německo (FCI, 2001). Je veden jako pracovní plemeno. Je využíván jak pro práci pod zemí, kde je od něj vyžadována samostatná práce, tak i pro práci na povrchu, kde je předpokladem vynikající nos, hlasitá práce na stopě a výborná orientace. Pro zařazení do chovu je, mimo jiných podmínek, povinná i zkouška z výkonu (lovecká zkouška). Standardní ráz a trpasličí/králičí ráz mají odlišné požadavky na druh a počet zkoušek.

V současnosti se jezevčik chová ve třech druzích osrstění a třech velikostních rázech. Jezevčik hladkosrstý, dlouhosrstý a drsnosrstý. Základní velikostní ráz je jezevčik standardní, zbylé dva rázy jsou trpasličí a králičí jezevčici.



Obr.7: Jezevčik drsnosrstý trpasličí – pes Dalami (zdroj: autorská fotografie)



Obr.8: Jezevčik drsnosrstý trpasličí – fena Vendulka (zdroj: autorská fotografie)

4 Materiál a metodika

4.1 Chovatelská stanice Valentinka

4.1.1 Popis

Chovatelská stanice (CHS) Valentinka byla založena v roce 1998. Zaměřuje se pouze na chov jezevčků, a to jezevčků drsnosrstých trpasličích (DRT) a jezevčků drsnosrstých králíčních (DRK). V současné době má CHS 20 jedinců, z toho 6 psů (4 DRT, 2 DRK) a 14 fen (9 DRT, 5 DRK).

4.1.2 Ubytování

Všichni psi jsou chováni ve vnitřních prostorech rodinného domu, venkovní chov v kotcích není v CHS praktikován. Psi mají v domě vlastní místnost, ve které jsou ustájeni ve vnitřních kotcích po 2-4 jedincích. Část psů žije volně v obytné části domu. Do vnitřních kotců jsou zavíráni pouze v době, kdy jsou majitelé mimo domov nebo na noc. Většinu času tráví ve společnosti rodiny. Mají volný přístup na pozemek o velikosti cca 1500 m², který je zatravněný a z poloviny osázený vyšší vegetací (stromy a keře). Všichni jedinci jsou chováni pohromadě (mimo dobu pobytu v kotcích) s možností přímého olfaktorického kontaktu.

4.1.3 Výživa

Krmení je předkládáno 1x denně v odpoledních nebo večerních hodinách. Zkrmují se komerčně vyráběné produkty (granule) nebo potrava připravovaná doma (vařené maso a přílohy). Krmná dávka je upravována dle věku a aktuální výživné kondice jedince.

4.1.4 Pracovní využití

Všichni chovní jedinci v CHS Valentinka mají složeny lovecké zkoušky a jsou využíváni v praxi. Pravidelně se účastní honů a naháněk, kde se dostávají do situací, které musí řešit samostatně bez asistence člověka. Často se jedná o situace, kdy jsou nuceni se spolehnout pouze na své vynikající orientační schopnosti. Není vyloučeno, že mimo základních smyslů by mohli využívat i nějaký další smysl.

4.2 Postup sledování

Pro jednotlivá měření byli vybíráni různí psi, aby se omezil vliv případné individuální směrové preference. Všechna měření probíhala po delší časový úsek, v různou denní dobu, na rovinném terénu a v různých lokalitách tak, aby bylo vyloučeno ovlivnění zvířat stejným, v té době panujícím faktorem. Měření neprobíhala v době extrémních klimatických podmínek – silný déšť, vítr, husté sněžení. Charakteristiky měřených jedinců jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Plemeno	Pohlaví	Věk	Jméno	Zkoušky	Ubytování
DRT	P	4	Bertík	Žádné	Doma v kotci
DRT	P	7	Indy	ZN	Doma v kotci
DRT	P	10,5	Dalami	ZV, ZN, MSBLJ 10x	Doma v kotci
DRT	P	1,5	Hurvajs	ZN	Doma v kotci
DRT	F	2,5	Myška	ZN, LZ	Doma v posteli
DRT	F	8	Qwendy	Žádné	Doma v posteli
DRT	F	11	Debi	ZN, MSBLJ 3x	Doma v kotci
DRT	F	4	Škrky	ZV, ZN, LZ, BZ, BZH, HZ	Doma v posteli
DRT	F	16	Gudy	ZV, ZN, LZ, BZ, BZH	Doma v pelíšku
DRT	F	7	Niki	ZN, MSBLJ	Doma v kotci
DRT	F	1,5	Cípa	Žádné	Doma v kotci
DRT	F	6	Vendulka	ZV, ZN, LZ, BZ, BZH, HZ, PZ, SVP, VZ, MRK, KHS	Doma v posteli
DRT	F	13	Twinky	ZN, BZH	Doma v posteli
DRK	P	8	Puclík	BZ	Doma v kotci
DRK	P	0,5	Kuky	Žádné	Doma v kotci
DRK	F	5	Ťápa	ZV, ZN	Doma v kotci
DRK	F	10	Fany	ZN, ZV 3x	Doma v kotci
DRK	F	13	Grejsy	ZV, ZN, LZ, BZ	Doma v pelíšku
DRK	F	1,5	Hašlerka	ZN	Doma v kotci
DRK	F	9,5	Frgy	ZV	Doma v kotci

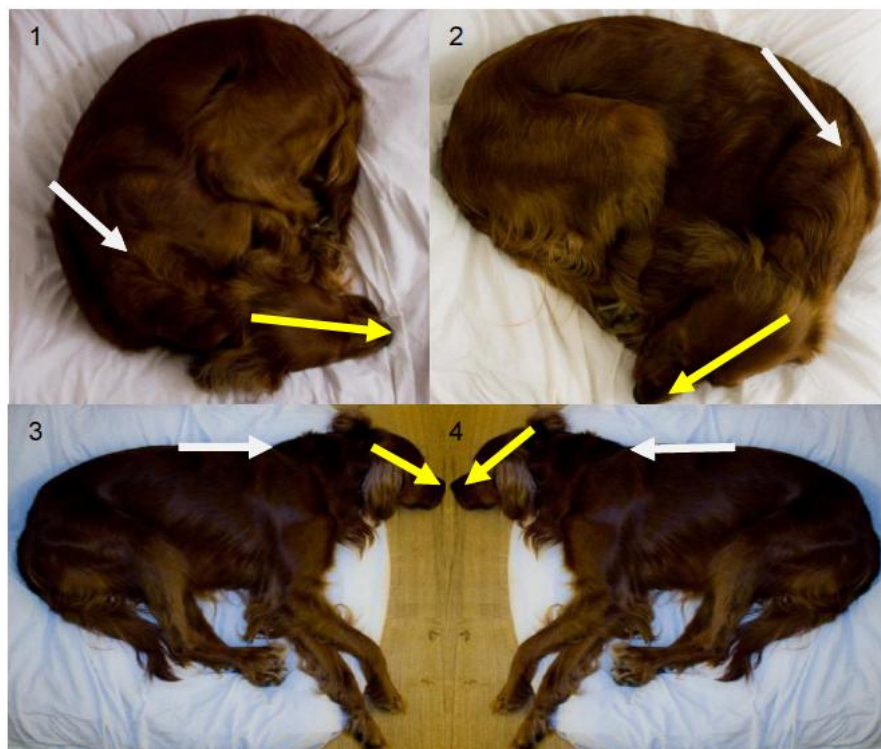
Tabulka č. 1: Seznam měřených jedinců: F – fena, P – pes, věk je udáván v letech, ZN – norování bezkontaktní, MSBLJ – norování kontaktní, ZV – zkoušky vloh, LZ – lesní zkoušky, BZ – barvářské zkoušky, BZH – barvářské zkoušky honičů, HZ – honičské zkoušky, PZ – podzimní zkoušky, SVP – speciální vodní práce, VZ – všestranné zkoušky

K měření byl použit základní kompas pro pevninskou navigaci Silva Field 7. Sledování probíhala v období od 14.10.2011 do 30.1.2013. Jednotlivé údaje se zapisovaly do tabulek, které sloužily jako podklad pro statistické vyhodnocení.

4.2.1 Spánek a odpočinek bez ovlivnění

Psi byli pozorováni v klidových pozicích (doba odpočinku nebo spánku) na svých oblíbených místech v rodinném domě v obci Svárov. Měřil se směr k hlavě na hrudní páteři mezi lopatkami (obr. 8 – bílá šipka) a směr od čela k čenichu podél sagitálního švu (obr. 8 – žlutá šipka). Do tabulky se zaznamenávalo stáří, pohlaví, jméno, datum a hodina měření, lokalita, pozice psa (v klubičku nebo natažený), druh klidové pozice (odpočinek, lehký spánek, tvrdý spánek), lokace místa odpočinku. V případě, že měl pes více míst, kde spal, zaznamenala se lokace tak, aby bylo možno hodnotit jednotlivé lokace zvlášť a srovnávat mezi sebou. Byly pořízeny nákresy místností s vyznačením polohy psiho pelíšku či pelíšků vzhledem k pozici dveří, oken a míst, kde sedávali členové rodiny. Do měření se nezahrnovaly polohy, při kterých byl pes ovlivněn děním kolem sebe (např. opuštění místnosti členem rodiny a s tím spojené natočení psa směrem ke dveřím).

Pro toto měření byli vybráni psi Bertík, Myška a Qwendy. Psi byli sledováni na svých oblíbených místech ve 3 různých místnostech. Měření probíhalo v období od 14.10.2011 do 1.6.2012.



Obr.9: Měření klidové pozice psa – bílá šipka: směr k hlavě na hrudní páteři mezi lopatkami, žlutá šipka: směr od čela k čenichu podél sagitálního švu (zdroj: doc. Ing. Vladimír Hanzal, CSc.)

4.2.2 Vyměšování bez ovlivnění

U každého jedince bylo odděleně sledováno postavení těla při defekaci a urinaci. Psi byli sledováni ve 2 odlišných situacích. První sledování probíhalo na pravidelném místě, kam se pejsci chodí běžně vyměšovat a kde to znají. Jednalo se o zahradu u rodinného domu v obci Svárov. Sledování psi byli pro lepší přehlednost měření vypouštěni po menších skupinkách (složení skupin se měnilo). Druhé sledování zahrnovalo místa pro psy neznámá, kam psi na procházku běžně nechodí. Pro měření byl vybrán les u obce Podkozí a širší okolí vesnice Svárov, kde převažují louky a pole. Měření v těchto lokalitách probíhalo formou vycházek v malých skupinkách, kdy max. velikost skupiny byla 4 psi (opět se složení skupin měnilo). V obou případech byli psi pouštěni z vodítka a pohybovali se volně.

Do tabulky se zaznamenávalo datum a čas, jméno psa, druh potřeby (defekace nebo urinace), směr hlavy psa, místo vykonání potřeby (známé nebo neznámé), lokalita, noha, kterou pes zvedl při urinaci (pouze u samců), směr chodníku, cesty, zdi apod., směr větru a postavení slunce. U psů lze při urinaci předpokládat jiné postavení než u fenek. Proto byla do statistiky zařazena pouze ta měření, při kterých měl pes – samec možnost se postavit k značkovému místu z libovolné strany (nebyl omezen zdí, plotem apod.).

Pro měření byli vybráni psi Cípa, Dalami, Hurvajš, Debi, Škrky, Gudy, Niki, Indy, Puclík, Ťápa, Fany, Grejsy, Hašlerka, Frgy a Kuky. Měření se uskutečnilo v období od 16.5.2012 do 15.7.2012 a od 7.10.2012 do 25.10.2012.

4.2.3 Vyměšování s ovlivněním (vliv ELFMs)

Tato část práce byla inspirována studií Burda et al. (2009) ve které autoři uvádějí, že došlo k narušení pozičního chování skotu a jelení zvěře v blízkosti elektrického vedení vysokého napětí.

Pro sledování chování psů při vyměšování byly vybrány 2 lokality, kde dráty vedení vysokého napětí vedou přibližně v ose východ – západ. První se nacházela v blízkosti středočeské obce Kováry, směr vedení drátů byl 90 ° / 270 °, napětí 110 kV. Druhá lokalita ležela v sousedství osady Hájek v okrese Praha – západ, směr vedení drátů byl 110 ° / 290 °, napětí 400 kV.

Měření probíhalo formou procházky, jejíž trasa vedla přímo pod dráty vysokého napětí. Opět byly tvořeny skupinky po 4 psech (složení se měnilo u každého měření).

Do statistiky byly zařazeny pouze údaje o vyměšování, které se uskutečnilo do vzdálenosti 20 m od osy vedení.

Do tabulky se zaznamenávalo plemeno, pohlaví, věk, hmotnost psa, datum a čas, jméno psa, lokalita, orientace při defekaci a urinaci, noha, kterou pes zvedl při urinaci (pouze u samců), otáčení před potřebou, směr otáčení, otáčení během potřeby, směr chodníku, cesty, zdi apod., směr větru a postavení slunce.

Pro měření byli vybráni psi Vendulka, Debi, Tápa, Fany, Grejsy, Hašlerka a Twinky. Měření se uskutečnilo v období od 9.11.2012 do 25.11.2012.

4.2.4 Vyměšování s ovlivněním (vliv lokálního magnetického pole)

Sledování postavení psů při vyměšování bylo ovlivněno lokálním magnetickým polem generovaným tyčovým magnetem. Magnet byl umístěn na krku psa způsobem zobrazeným na obr.9. Samotné měření probíhalo způsobem popsáním v kapitole 4.2.2..



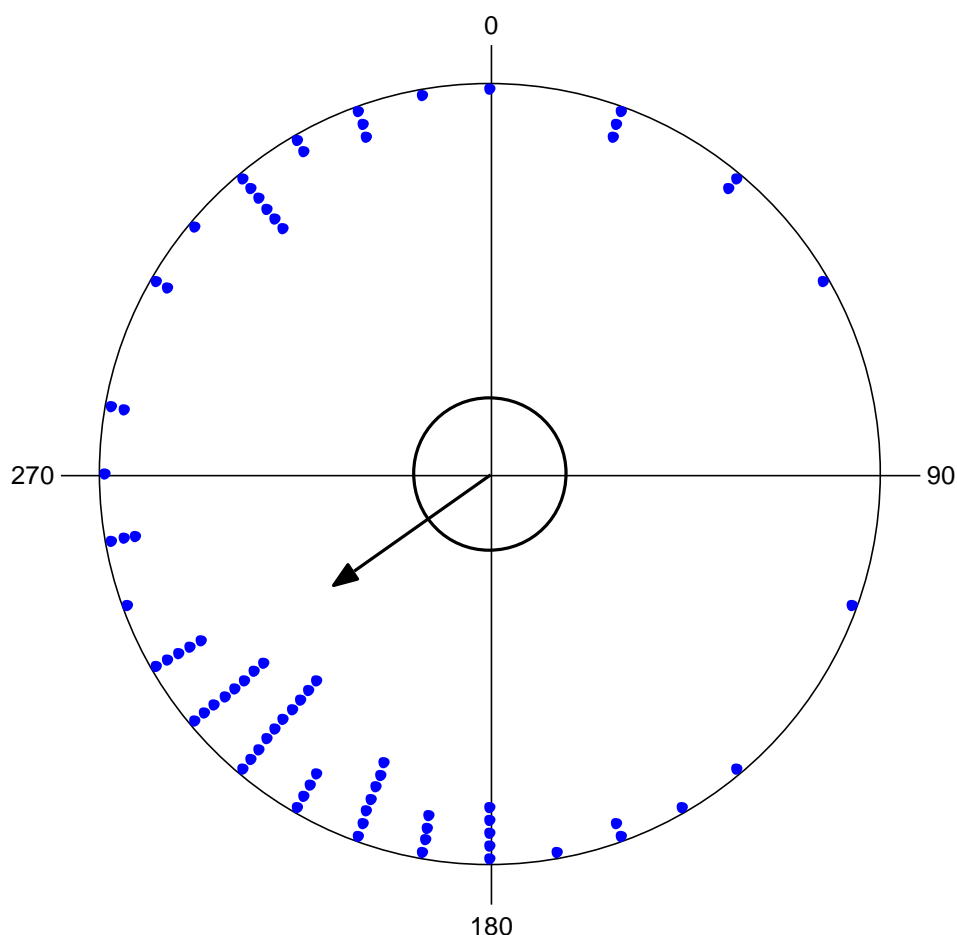
Obr.10: Umístění obojku s magnetem na krku psa (zdroj: autorská fotografie)

Do tabulky se zaznamenávalo pohlaví, věk, hmotnost, datum a čas, jméno psa, lokalita, orientace při defekaci a urinaci, noha, kterou pes zvedl při urinaci (pouze u samců), otáčení před vyměšováním, směr otáčení, otáčení během vyměšování, směr chodníku, cesty, zdi apod., směr větru a postavení slunce. U každého psa se změřila i vzdálenost magnetu od linie očí a od špičky nosní houby.

Pro měření byli vybráni psi Debi, Dalami, Cípa, Hurvajš, Indy, Puclík, Ťápa, Fany, Hašlerka a Kuky. Měření se uskutečnilo v období od 4.1.2013 do 30.1.2013.

4.3 Statistické vyhodnocení

K vyhodnocení dat byl použit statistický program Oriana, pracující na principu kruhových diagramů. Výsledky jsou zobrazeny jako body rozmístěné na kružnici. Každý bod odpovídá poloze jednotlivého zvířete. Šipka znázorňuje výsledný vektor, který zobrazuje statisticky významnou orientaci. Vnitřní kruh znázorňuje hladinu 5 % významnosti Rayleighova testu. Bylo použito angulární vyhodnocení dat, protože bylo možno při měření zjistit přesné údaje o směru těla, které vykazovaly unimodální (na jeden směr) rozložení. Axiální vyhodnocení bylo použito v případě zjištění bimodálního rozložení dat (na dva protilehlé směry).



Obr.11: Příklad kruhového diagramu. Tečky uvnitř větší kružnice odpovídají poloze jednotlivých měřených zvířat. Šipka znázorňuje výsledný vektor, který zobrazuje statisticky významnou orientaci. Vnitřní kruh znázorňuje hladinu 5 % významnosti Rayleighova testu

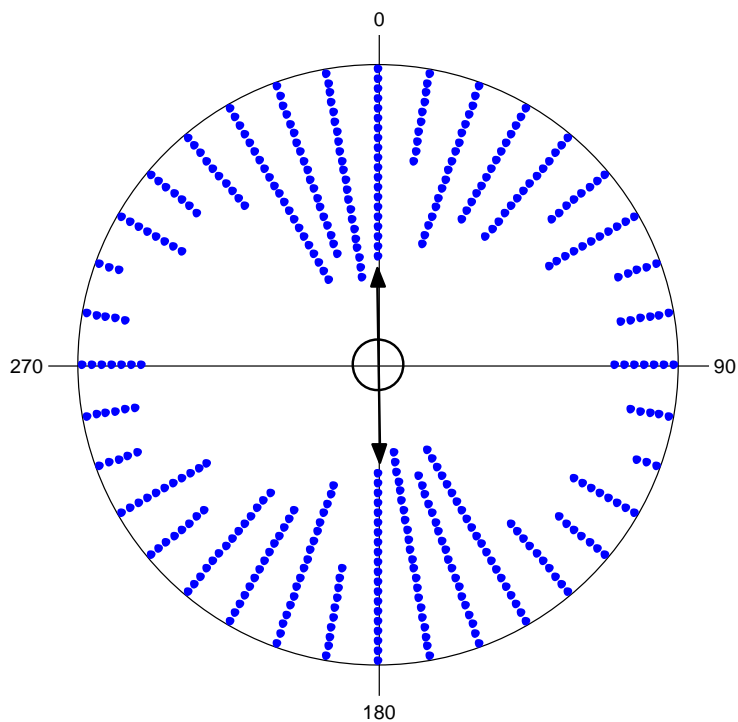
5 Výsledky

5.1 Spánek a odpočinek bez ovlivnění

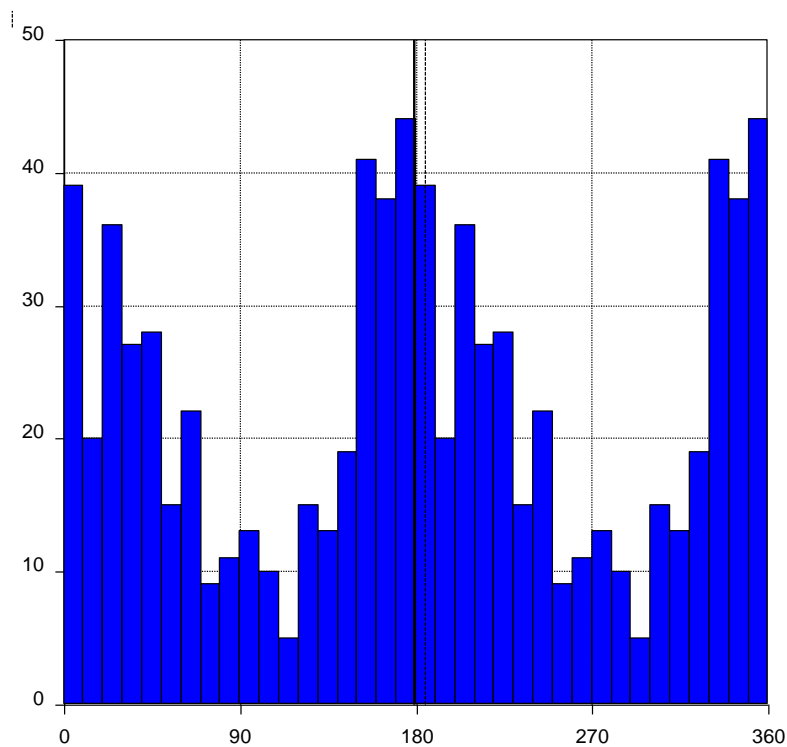
Bylo zpracováno celkem 405 záznamů od 3 psů, ze 3 různých míst sledování. Data nevykazovala statistické rozdíly, proto se s nimi dále nakládalo jako se souhrnnými daty. Z výsledků základní statistiky a grafů je zřejmé, že psi preferovali severojižní směr, výsledný statisticky významný vektor byl $179,605^\circ$.

Data Type	Axial
Number of Observations	405
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (18)
Mean Vector (μ)	$179,605^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,324
Circular Standard Deviation	$43,016^\circ$
95% Confidence Interval (-/+) for μ	$173,679^\circ$
	$185,53^\circ$
99% Confidence Interval (-/+) for μ	$171,818^\circ$
	$187,392^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	42,49
Rayleigh Test (p)	$< 1E-12$
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 2: Údaje základní statistiky vyhodnoceného spánku a odpočinku



Graf č. 1: Axiální rozdělení dat. Šipka zobrazuje výsledný vektor $179,605^\circ$. Délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu.



Graf č. 2: Histogram zobrazující rozložení jednotlivých zjištěných azimutů, silná čára znázorňuje výsledný vektor $179,605^\circ$.

Na základě těchto výsledků, které ukázaly jednoznačnou preferenci pro severojižní směr, bylo rozhodnuto o rozšíření měření o sledování orientace psů při vyměšování. Do nového sledování bylo zahrnuto více psů, celkem 17 jedinců.

Z pohledu magnetorecepce se jedná o úplně nový pohled na vnímání, a možná i podvědomého využívání magnetického pole Země.

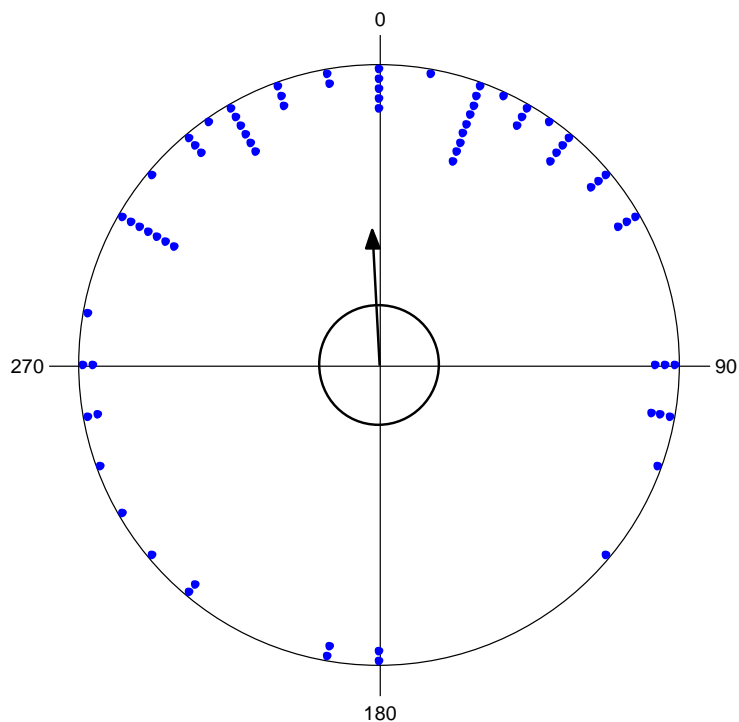
5.2 Vyměšování bez ovlivnění

5.2.1 Urinace

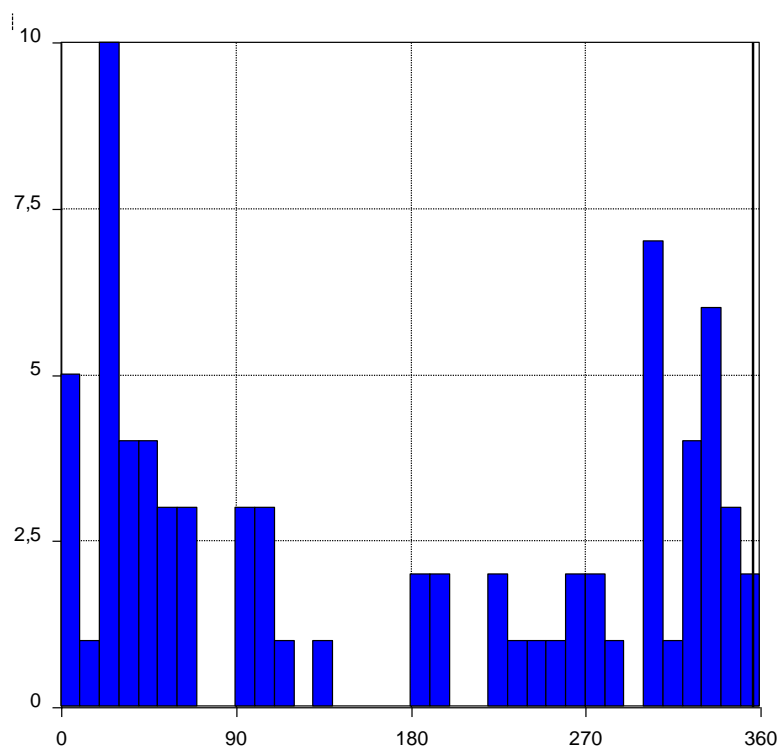
Zpracováno bylo 75 záznamů všech měřených psů dohromady. Z výsledků základní statistiky vyplývá směrová preference k severu. Výsledný statisticky významný vektor byl 356,639 °.

Data Type	Angles
Number of Observations	75
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	356,639°
Length of Mean Vector (r)	0,452
Circular Standard Deviation	72,211°
95% Confidence Interval (-/+) for μ	337,46°
	15,818°
99% Confidence Interval (-/+) for μ	331,436°
	21,843°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	15,319
Rayleigh Test (p)	2,22E-07
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 3: Údaje základní statistiky vyhodnocené urinace



Graf č. 3: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor $356,639^\circ$, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu



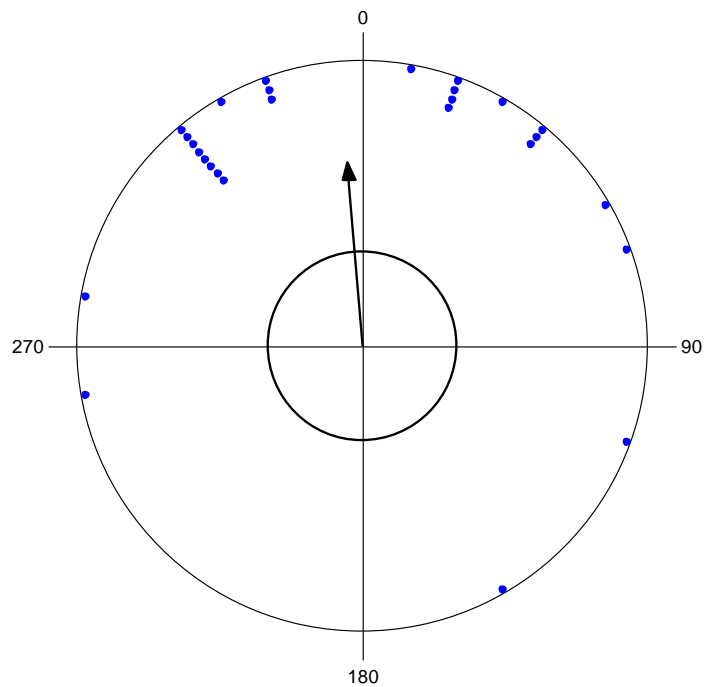
Graf č. 4: Histogram zobrazující rozložení jednotlivých zjištěných azimutů, silná čára znázorňuje výsledný vektor $356,639^\circ$

5.2.2 Defekace

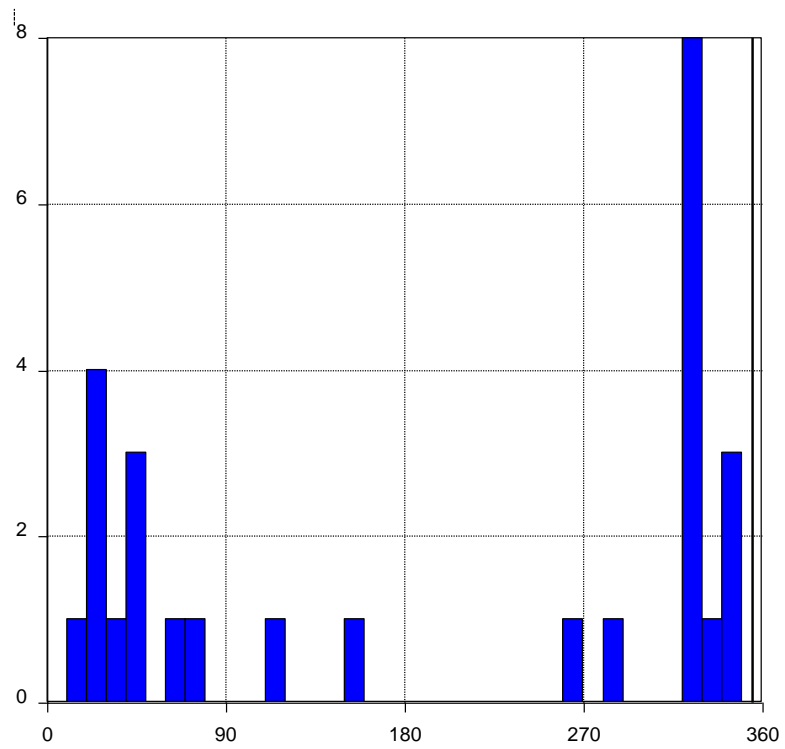
Statisticky bylo zpracováno 27 měření. Z výsledků opět vyplynula směrová preference k severu. Výsledný statisticky významný vektor byl 355,314 °.

Data Type	Angles
Number of Observations	27
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	355,314°
Length of Mean Vector (r)	0,645
Circular Standard Deviation	53,663°
95% Confidence Interval (-/+ for μ)	334,716°
	15,913°
99% Confidence Interval (-/+ for μ)	328,245°
	22,384°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	11,231
Rayleigh Test (p)	3,81E-06
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 4: Údaje základní statistiky vyhodnocené defekace



Graf č. 5: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor 355,314 °, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu



Graf č. 6: Histogram zobrazující rozložení jednotlivých zjištěných azimutů, silná čára znázorňuje výsledný vektor 355,314 °

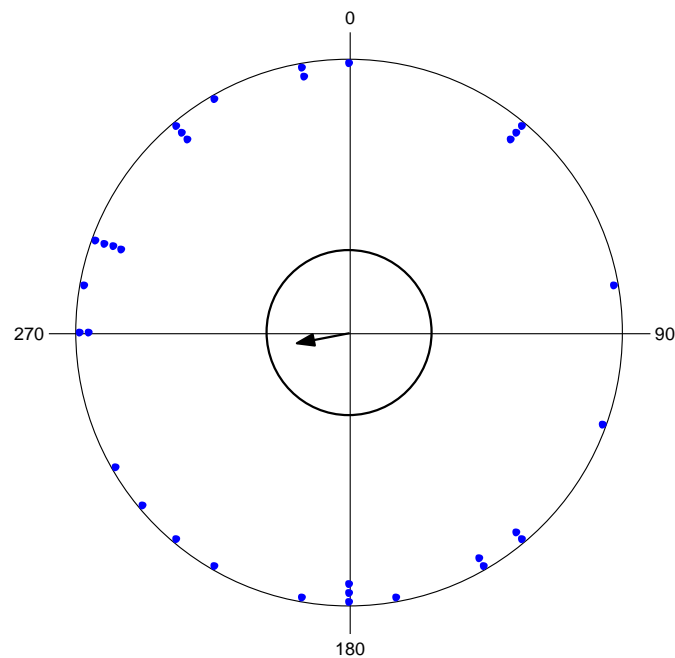
5.3 Vyměšování s ovlivněním (vliv ELFMEs)

5.3.1 Urinace – 110 kV

Zpracováním 32 záznamů vyšel výsledný vektor 258,939 °. Výsledek, vzhledem k malému množství dat, nevyšel statisticky signifikantně. Výsledný vektor však naznačuje posunutí severního rozmístění dat k východozápadnímu směru vedení drátů vysokého napětí.

Data Type	Angles
Number of Observations	32
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	258,939°
Length of Mean Vector (r)	0,196
Circular Standard Deviation	103,438°
95% Confidence Interval (-/+) for μ	188,006°
	329,872°
99% Confidence Interval (-/+) for μ	165,725°
	352,153°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	1,229
Rayleigh Test (p)	0,295
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 5: Údaje základní statistiky vyhodnocené urinace, 110 kV



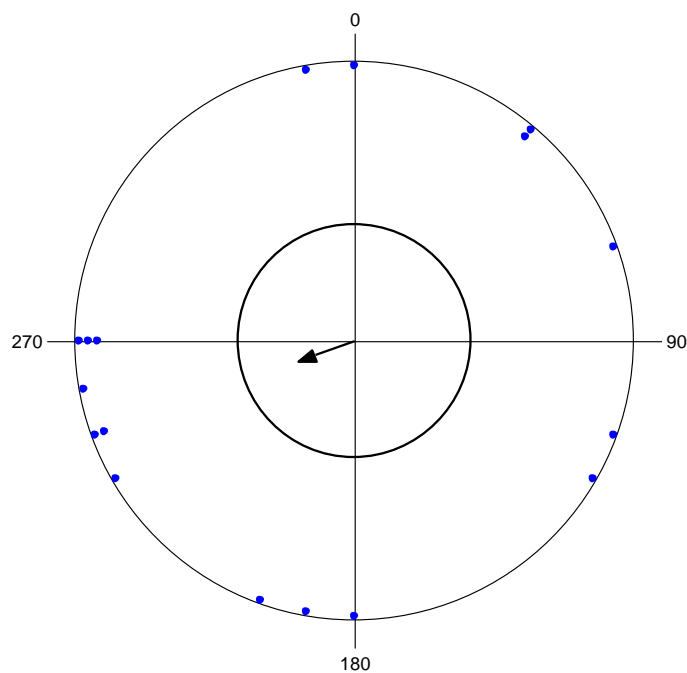
Graf č. 7: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor 258,939 °, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu

5.3.2 Defekace – 110 kV

Po zpracování 17 záznamů vyšel výsledný vektor 249,524 °. Výsledek nevyšel statisticky signifikantně, pravděpodobně z důvodu malého množství dat. Výsledný vektor však naznačuje posunutí severního rozmístění dat k východozápadnímu směru vedení drátů vysokého napětí.

Data Type	Angles
Number of Observations	17
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	249,524°
Length of Mean Vector (r)	0,213
Circular Standard Deviation	100,8°
95% Confidence Interval (-/+ for μ)	160,034°
	339,015°
99% Confidence Interval (-/+ for μ)	131,923°
	7,126°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	0,77
Rayleigh Test (p)	0,47
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 6: Údaje základní statistiky vyhodnocené defekace, 110 kV



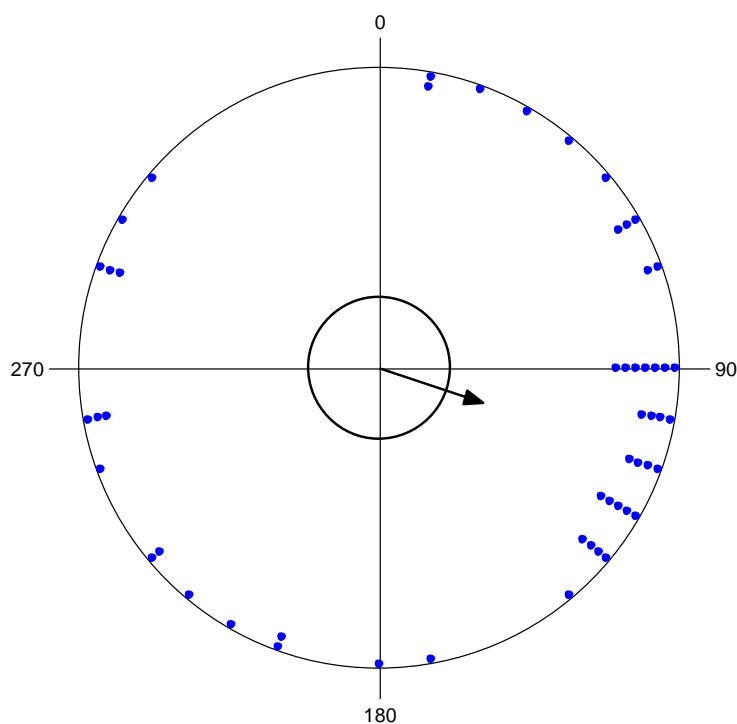
Graf č. 8: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor 249,524 °, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu

5.3.3 Urinace – 400 kV

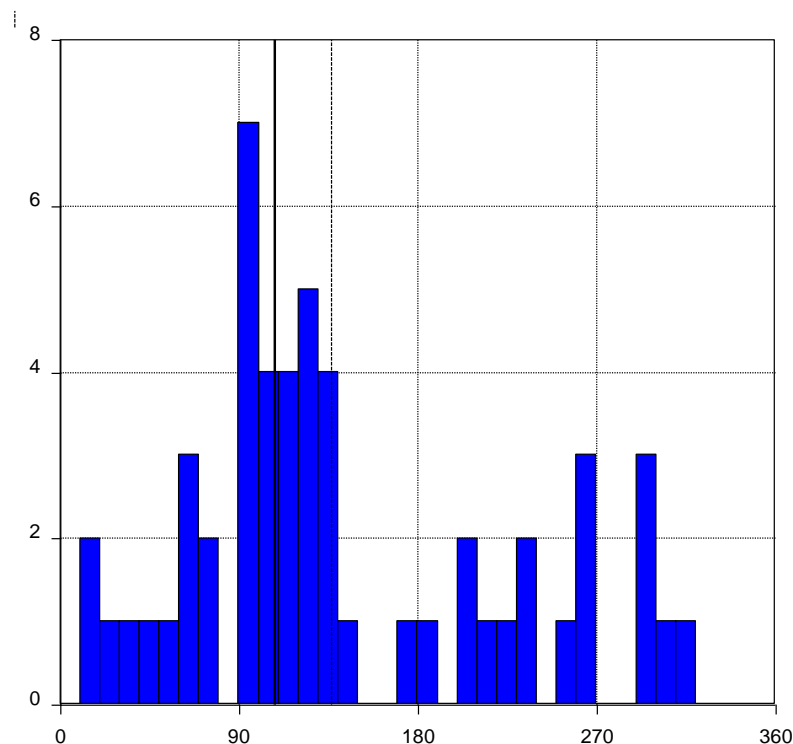
Zpracováno bylo 53 záznamů. Z výsledků základní statistiky vyšla hodnota statisticky významného vektoru 108,193 °. Výsledný vektor znázorňuje posunutí severního rozmístění dat k západovýchodnímu směru vedení drátů vysokého napětí.

Data Type	Angles
Number of Observations	53
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	108,193°
Length of Mean Vector (r)	0,363
Circular Standard Deviation	81,561°
95% Confidence Interval (-/+ for μ)	79,185°
	137,2°
99% Confidence Interval (-/+ for μ)	70,073°
	146,312°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	6,986
Rayleigh Test (p)	9,25E-04
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 7: Údaje základní statistiky vyhodnocené urinace, 400 kV



Graf č. 9: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor 108,193 °, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu



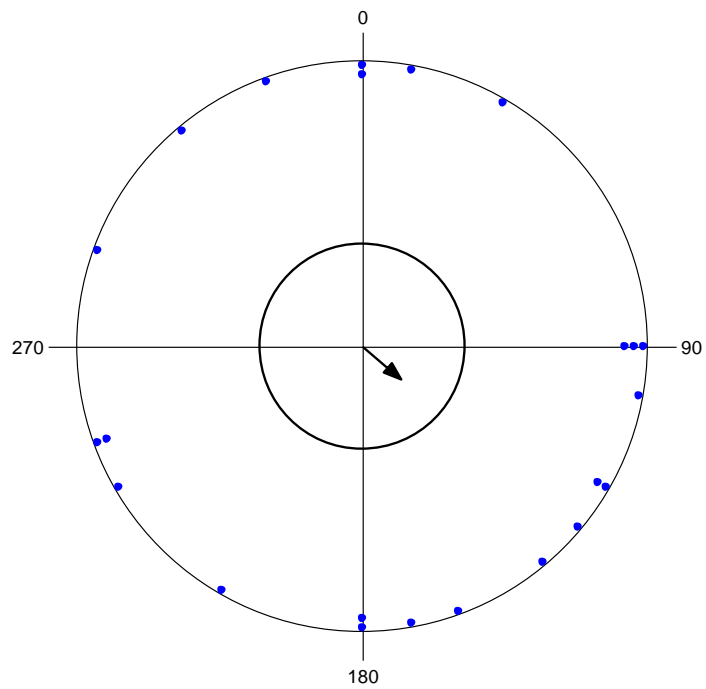
Graf č. 10: Histogram zobrazující rozložení jednotlivých zjištěných azimutů, silná čára znázorňuje výsledný vektor 108,193 °

5.3.4 Defekace – 400 kV

Po zpracování 23 záznamů vyšel výsledný vektor 130,207 °. Výsledek nevyšel statisticky signifikantně, pravděpodobně z důvodu malého množství dat. Výsledný vektor však naznačuje posunutí severního rozmístění dat k západovýchodnímu směru vedení drátů.

Data Type	Angles
Number of Observations	23
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	130,207°
Length of Mean Vector (r)	0,179
Circular Standard Deviation	106,271°
95% Confidence Interval (-/+) for μ	38,464°
	221,949°
99% Confidence Interval (-/+) for μ	9,646°
	250,768°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	0,737
Rayleigh Test (p)	0,483
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č. 8: Údaje základní statistiky vyhodnocené defekace, 400 kV



Graf č. 11: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor $130,207^\circ$, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu

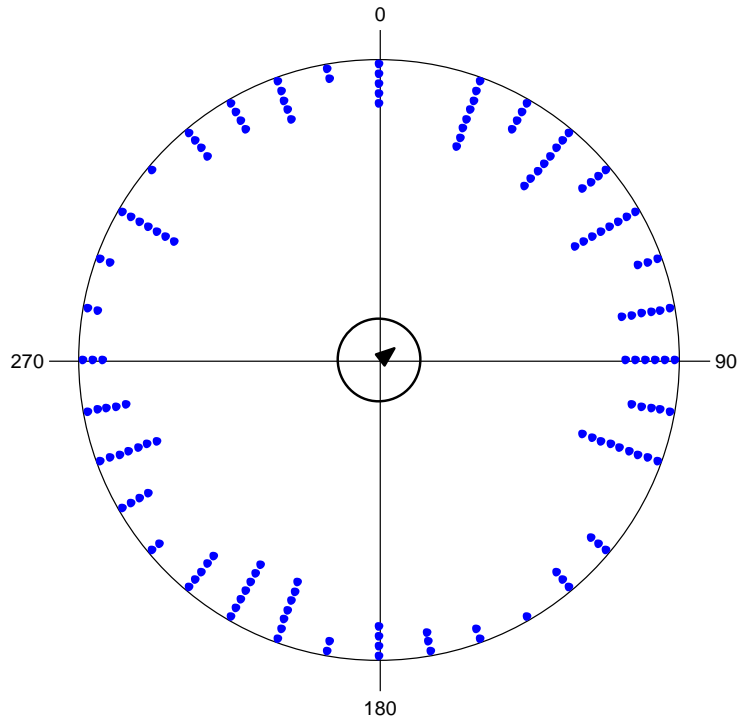
5.4 Vyměšování s ovlivněním (vliv lokálního magnetického pole)

5.4.1 Urinace

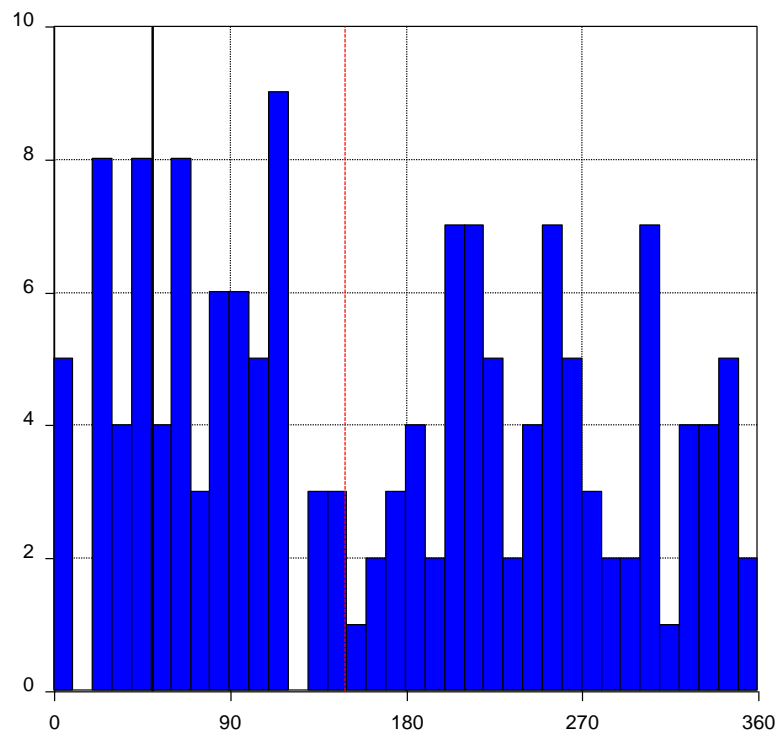
Bylo zpracováno 151 záznamů ze 3 různých lokalit. Z výsledků grafů nevyhází jednoznačná směrová preference. Výsledný vektor $50,719^\circ$ není statisticky signifikantní a data odpovídají náhodnému rozdělení.

Data Type	Angles
Number of Observations	151
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	$50,719^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,065
Circular Standard Deviation	$133,787^\circ$
95% Confidence Interval (-/+) for μ	$312,102^\circ$
	$149,337^\circ$
99% Confidence Interval (-/+) for μ	$281,124^\circ$
	$180,315^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	0,647
Rayleigh Test (p)	0,523
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulka č.9: Údaje základní statistiky vyhodnocené urinace



Graf č. 12: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor $50,719^\circ$, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu



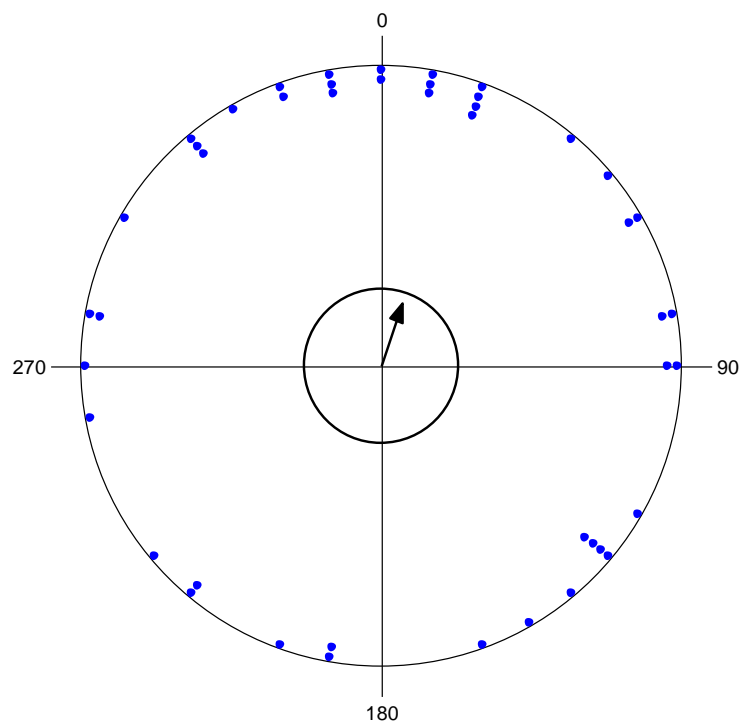
Graf č. 13: Histogram zobrazující rozložení jednotlivých zjištěných azimutů, silná čára znázorňuje výsledný vektor $50,719^\circ$.

5.4.2 Defekace

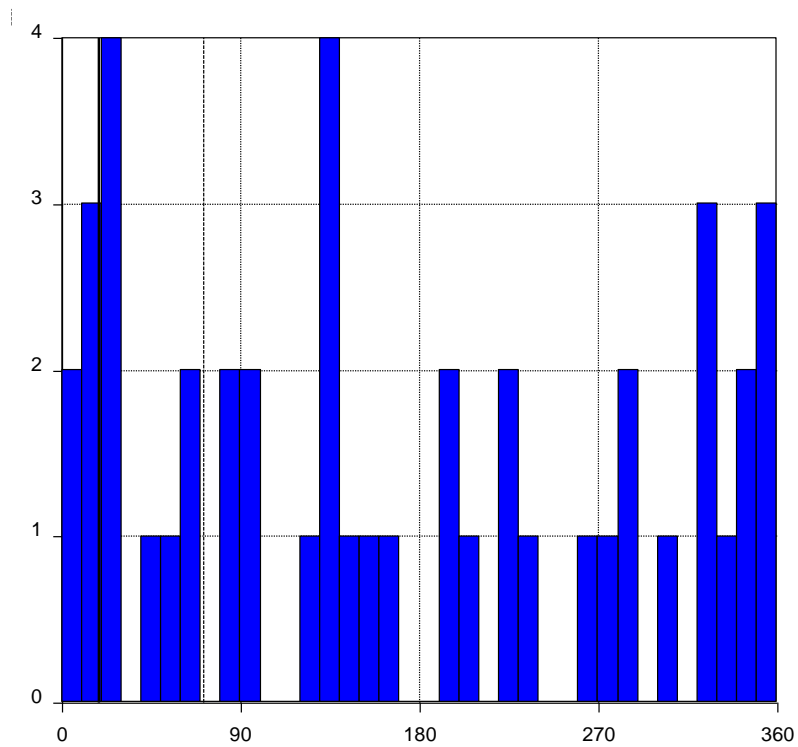
Bylo zpracováno 45 záznamů ze 3 různých lokalit. Z výsledků opět nevyšla jednoznačná směrová preference. Výsledný vektor $18,882^\circ$ není statisticky signifikantní a data opět odpovídají náhodnému rozdělení.

Data Type	Angles
Number of Observations	45
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (36)
Mean Vector (μ)	$18,882^\circ$
Length of Mean Vector (r)	0,221
Circular Standard Deviation	$99,542^\circ$
95% Confidence Interval (-/+) for μ	$325,999^\circ$
	$71,765^\circ$
99% Confidence Interval (-/+) for μ	$309,388^\circ$
	$88,376^\circ$
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	2,2
Rayleigh Test (p)	0,111
Rao's Spacing Test (U)	-----
Rao's Spacing Test (p)	-----

Tabulkač. 10: Údaje základní statistiky vyhodnocené defekace



Graf č. 14: Angulární rozdělení dat, šipka zobrazuje výsledný vektor $18,882^\circ$, délka šipky znázorňuje statistickou signifikanci, vnitřní kruh označuje hranici 5% významnosti Rayleighova testu



Graf č. 15: Histogram zobrazující rozložení jednotlivých zjištěných azimutů, silná čára znázorňuje výsledný vektor 18,882 °.

6 Diskuse

Pozičnímu chování savců, jako jednomu z možných projevů magnetické orientace, věnují vědci pozornost teprve několik posledních let. Poziční chování je definováno jako nejjednodušší směrová odezva na působení magnetického pole Země (Begall et al., 2013). Tento typ chování savců byl již studován u skotu, jelení a srnčí zvěře (Begall et al., 2008; Burda et al., 2009), u lišek (Červený et al., 2011), u afrických přežvýkavců (Hetem et al., 2011) a u koní (Begall et al., 2013). Zatímco u skotu, jelení zvěře, srnčí zvěře a lišek se možný vliv geomagnetického pole na poziční chování podařil prokázat (zvířata vykazovala statisticky signifikantní severojižní směrovou preferenci), u koní tomu tak nebylo. U afrických přežvýkavců se směrová preference také neprokázala, ale Begall et al. (2013) zdůrazňují, že měření byla prováděna za nepříznivých klimatických podmínek, které maximalizovaly možnost ovlivnění jinými vlivy, hlavně slunečním zářením.

V této práci bylo sledováno poziční chování psů s cílem ověřit výsledky prací, které byly dosud publikovány.

Z výsledků měření orientace těla při spánku a odpočinku vyplynula jednoznačná preference pro severojižní směr. Výsledný statisticky významný vektor byl $179,65^\circ$. Měření orientace těla při vyměšování bylo rozděleno na urinaci (močení – malá potřeba) a defekaci (kálení – velká potřeba). Při urinaci zvířata jednoznačně preferovala severní směr, výsledný statisticky významný vektor byl $356,639^\circ$. Podobně vyšlo i měření defekace, kde se opět projevila severní směrová preference s výsledným vektorem $355,314^\circ$.

Tyto výsledky jsou ve shodě s prací Begall et al. (2008), ve které autoři sledovali poziční chování skotu na pastvinách, chování srnčí zvěře při pastvě a odpočinku a orientaci zálehů u jelení zvěře. Ve všech třech případech měla zvířata tendenci vykazovat severojižní orientaci osy těla. U skotu udávají výsledný vektor $6,4^\circ/186,4^\circ$, u jelení zvěře $10,2^\circ/190,2^\circ$, u srnčí $9,1^\circ/189,1^\circ$. Autoři použili axiální vyhodnocení dat, protože ze satelitních snímků zvířat ani ze zálehů zvěře není možné rozeznat hlavu od těla jedince. Proto je hodnocen pouze směr tělní osy.

Burda et al. (2009) si všimli narušení pozičního chování zvířat v blízkosti elektrického vedení vysokého napětí. Zvířata, která se pásala přímo pod vedením nebo do vzdálenosti 150 m od vedení, vykazovala náhodné směřování osy těla. Dále upozornili na skutečnost, že pod vedením ležícím v ose západ – východ se zvířata zarovnávala podél osy tohoto vedení.

Pod vedením ležícím v ose sever – jih se zvířata také zarovnávala ve směru vedení drátů. To ukazuje na možnou interakci mezi magnetickým polem Země a magnetickým polem generovaným elektrickým vedením.

Pro ověření výsledků práce Burdy et al. (2009) byly jezevčáci sledováni v situacích, kdy na ně působilo nízkofrekvenční elektromagnetické pole a lokální magnetické pole. První část měření byla zaměřena na orientaci při vyměšování pod dráty ležícími v ose západ – východ. Měření probíhala ve 2 lokalitách, opět byla rozdělena na urinaci a defekaci. Při urinaci pod vedením o napětí 110 kV psi preferovali západní směr, výsledný vektor byl 258,939 °. Měření defekace vyšlo podobně, opět byla zaznamenána západní směrová preference s výsledným vektorem 249,524 °. Vzhledem k malému množství dat však výsledky nevyšly statisticky signifikantně. Urinace pod vedením o napětí 400 kV ukázala preferenci pro východní směr. Výsledný vektor vyšel statisticky významně, jeho hodnota byla 108,193°. U defekace bylo získáno malé množství dat, proto výsledek nevyšel statisticky signifikantně. Psi preferovali jihovýchodní směr, výsledný vektor byl 130,27 °. Rozdíl mezi preferencí západního směru pod 110 kV dráty a východního směru pod 400 kV dráty mohl být ovlivněn buď směrem proudění elektrického proudu (tato skutečnost nebyla zjišťována), které určuje polaritu elektromagnetického pole nebo zvoleným směrem procházky (pod dráty 110 kV se chodilo směrem na západ a zpět, pod dráty 400 kV obráceně). Tato hypotéza ovšem vyvolává pochybnosti, protože ovlivnění vyměšování směrem chůze se u dřívějšího sledování nepotvrdilo.

Ve druhé části měření byli psi sledováni pod vlivem lokálního magnetického pole. Při urinaci ani při defekaci nebyla zjištěna žádná významná směrová preference. Chování psů lze popsat jako „zmatené“, jak lze vyčíst z grafů č. 12 a č. 14. Dalo by se usuzovat, že i malé lokální magnetické pole může způsobit dezorientaci a narušené vnímání magnetického pole Země.

Všechny tyto výsledky podporují závěry prací Begall et al. (2008), Burda et al. (2009), Červený et al. (2011) a Hart et al. (2012), které uvádějí, že poziční chování zvířat by mohlo být projevem magnetické orientace.

O biologickém významu pozičního chování je možno zatím pouze spekulovat. Udržení určitého směru může zvířatům poskytnout důležitou informaci pro prostorovou orientaci a synchronizovat směr jejich pohybu, jak uvádí Begall et al. (2008) a Begall et al. (2011). U lišek by směrová preference mohla zvyšovat přesnost útoků při lovu drobných

hlodavců (Červený et al., 2011). Poziční chování by také mohlo být evolučním pozůstatkem po předcích, kteří migrovali na dlouhé vzdálenosti (Begall et al., 2013). Symetrické postavení těla se siločárami geomagnetického pole by mohlo ovlivňovat některé fyziologické procesy v organismu (Wiltschko et Wiltschko, 1995).

Vědci se zatím nevzdali ani pátrání po receptorech. Johnsen et Lohmann (2008) uvádějí, že magnetoreceptory se mohou nacházet na jakémkoliv místě v těle. U pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) byly v čichovém epitelu popsány a izolovány buňky, které by mohly být potencionálními magnetoreceptory (Eder et al., 2012).

Magnet umístěný na obojku psa generoval vlastní magnetické pole, které pravděpodobně způsobilo „zneviditelnění“ velmi slabého geomagnetického pole pro receptory psa. Vliv magnetu sahal do 50 cm, což je vzdálenost, která ovlivňovala kompas. Nebylo měřeno, do jaké vzdálenosti magnet ovlivňoval psy. U trpasličích a králíčích jezevčků nemá umístění magnetu vliv na vnímání magnetického pole, protože vzhledem k tělesným rozměrům vzdálenost 50 cm ovlivní celé tělo. Je možno uvažovat o hypotéze, zda by umístění magnetu na jiném místě těla mohlo pomoci v lokalizaci receptorů. V každém případě by bylo nutno změřit přesný dosah magnetického pole použitého magnetu a použít zvíře vhodné velikosti.

7 Závěr

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv geomagnetismu na jezevčíky. Bylo sledováno a měřeno poziční chování jezevčíků při různých činnostech. Měření probíhala v přirozených podmínkách i v podmínkách uměle ovlivněných rušivými vlivy.

Z výsledků vyplývá, že:

- poziční chování a směrová preference jezevčíků v CHS Valentinka při odpočinku, spánku a vyměšování potvrzuje dosud známé poznatky o pozičním chování skotu, jelení zvěře, srnčí zvěře a kaprů.
- vliv nízkofrekvenčního magnetického pole generovaného vedením vysokého napětí měl na jezevčíky stejný vliv jako na skot, který se pásal pod vlivem tohoto pole. Toto zjištění potvrzuje domněnku o možné interakci mezi magnetickým polem Země a magnetickým polem generovaným elektrickým vedením.
- poziční chování jezevčíků při vyměšování pod vlivem lokálního magnetického pole vykazovalo prvky zmatení, kdy nedošlo k preferenci žádného převládajícího směru. Práce tak poskytla další důkaz pro teorii, že poziční chování zvířat je projevem magnetické orientace.

Ze zjištěných výsledků je patrné, že magnetické pole Země by mohlo ovlivňovat poziční chování savců a některé fyziologické procesy probíhající v organismu. Vhodně nastavené behaviorální pokusy by nám mohly pomoci v pátrání po tajemství magnetorecepce a k ještě většímu pochopení života psů a ostatních savců. Fenomén zvaný „magnetic alignment“ nám tak otevírá cestu k dalším výzkumům.

8 Seznam literatury

- Begall, S., Cervený, J., Neef, J., Vojtech, O., Burda, H. 2008. Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 105 (36). 13451–13455. doi:10.1073/pnas.0803650105.
- Begall, S., Burda, H., Cervený, J., Gerter, O., Neef-Weisse, J., Nemeč, P. 2011. Further support for the alignment of cattle along magnetic field lines: reply to Hert et al.. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*. 197 (12). 1127–1133. doi: 10.1007/s00359-011-0674-1.
- Begall, S., Malkemper, E. P., Cervený, J., Nemeč, P., Burda, H. 2013. Magnetic alignment in mammals and other animals. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*. 78 (1). 10-20. ISSN 1616–5047, 10.1016/j.mambio.2012.05.005.
- Brázdil, R. 1988. SPN. Úvod do studia planety Země, SPN
- Buehlmann, C., Hansson, B. S., Knaden, M. 2012. Desert Ants Learn Vibration and Magnetic Landmarks. *PLoS ONE*. 7 (3). e33117. doi:10.1371/journal.pone.0033117.
- Burda, H., Marhold, S., Westenberger, T., Wiltschko, R., Wiltschko, W. 1990. Magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae). *Experientia*. 46 (5). 528-530. doi: 10.1007/BF01954256
- Burda, H., Begall, S., Červený, J., Neef, J., Nemeč, P. 2009. Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106 (14). 5708–5713. doi: 10.1073/pnas.0811194106
- Červený, J., Begall, S., Koubek, P., Nováková, P., Burda, H. 2011. Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biology Letters*. 7 (3). 355–357. doi: 10.1098/rsbl.2010.1145
- ČEZ. Elektromagnetická indukce [online]. Simopt s.r.o.. 1999 [cit. 23.3.2013]. Dostupné z <http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/elektromag_induk.html>.
- Eder, S. H. K., Cadiou, H., Muhamad, A., McNaughton, P. A., Kirschvink, J. L., Winklhofer, M. 2012. Magnetic characterization of isolated candidate vertebrate magnetoreceptor

- cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109 (30). 12022–12027. doi:10.1073/pnas.1205653109.
- FCI. Breeds Nomenclature [online]. Belgium. Fédération Cynologique Internationale. 13.3.2001 [cit. 1.4.2013]. Dostupné z <<http://ww.fci.be/nomenclature.aspx>>.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. 2000. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky, část 3: Elektřina a magnetismus*. Vutium. Brno. 310 s. ISBN: 80-214-1868-0.
- 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 (12). e51100. doi:10.1371/journal.pone.0051100
- Heřt, J., Jelínek, L., Pekárek, L., Pavlíček, A. 2011. No alignment of cattle along geomagnetic field lines found. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*. 197 (6). 677–682. doi: 10.1007/s00359-011-0628-7.
- Hetem, R. S., Maartin Strauss, W., Heusinkveld, B. G., de Bie, S., Prins, H. H.T., van Wieren, S. E. 2011. Energy advantages of orientation to solar radiation in three African ruminants. *Journal of Thermal Biology*. 36 (7). 452-460. doi:10.1016/j.jtherbio.2011.07.012.
- Holland, R.A., Kirschvink, J. L., Doak, T. G., Wikelski, M. 2008. Bats Use Magnetite to Detect the Earth's Magnetic Field. *PLoS ONE*. 3(2). e1676. doi:10.1371/journal.pone.0001676.
- Chew, G. L., Brown, G. E. 1989. Orientation of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in normal and null magnetic fields. *Canadian Journal of Zoology*. 67. 641-643. doi:10.1139/z89-092.
- Johnsen, S., Lohmann, K. J. 2005. The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews Neuroscience*. 6. 703–712. doi:10.1038/nrn1745.
- Johnsen, S., Lohmann, K. J. 2008. Magnetoreception in animals. *Physics Today*. 61 (3). 29.
- Light, P., Salmon, M., Lohmann, K. J. 1993. Geomagnetic orientation of loggerhead sea turtles: evidence for an inclination compass. *The Journal of Experimental Biology*. 182. 1-9.

- Lohmann, K. J., Lohmann, C. M. F. 2006. Sea turtles, lobsters, and oceanic magnetic maps. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 39 (1). 49 – 64. doi:10.1080/10236240600563230
- Lohmann, K. J., Lohmann, C. M. F., Putman, N. F. 2007. Magnetic maps in animals: nature's GPS. *The Journal of Experimental Biology*. 210. 3697-3705. doi:10.1242/jeb.001313.
- Luhr, F. J. (ed.). 2004. *Země*. Euromedia Group. Praha. 520 s. ISBN: 80-242-1225-0.
- Kirschvink, J. L. 2000. Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 90 (2). 312–323.
- Kirschvink, J. L., Winklhofer, M., Walker, M. M. 2010. Biophysics of magnetic orientation: strengthening the interface between theory and experimental design. *Journal of the Royal Society Interface*. 7 (2). 179–191.
- König, H., Erlacher, P. 2001. *Neviditelná hrozba?: elektromagnetická pole kolem nás*. HEL. Ostrava. 120 s. ISBN 80-86167-15-1.
- Němec, P., Vácha, M. 2007. Mechanismy magnetorecepce, jak živočichové vnímají geomagnetické pole Země. *Vesmír*. 86. 284–289.
- O'Neill, P. 2013. Magnetoreception and baroreception in birds. *Development, Growth & Differentiation*. 55 (1). 188–197. doi: 10.1111/dgd.12025.
- Phillips, J. B., Borland, S. C., Freake, M. J., Brassart, J., Kirschvink, J. L. 2002. 'Fixed-axis' magnetic orientation by an amphibian: non-shoreward-directed compass orientation, misdirected homing or positioning a magnetite-based map detector in a consistent alignment relative to the magnetic field? *The Journal of Experimental Biology*. 205. 3903–3914.
- Phillips, J. B., Muheim, R., Jorge, P. E. 2010. A behavioral perspective on the biophysics of the light-dependent magnetic compass: a link between directional and spatial perception?. *The Journal of Experimental Biology*. 213. 3247–3255. doi: 10.1242/jeb.020792.
- Ritz, T., Ahmad, M., Mouritsen, H., Wiltschko, R., Wiltschko, W. 2010. Photoreceptor-based magnetoreception: optimal design of receptor molecules, cells, and neuronal processing. *Journal of the Royal Society Interface*. 7 (2). 135–146. doi:10.1098/rsif.2009.0456.focus.

- Shcherbakov, D., Winklhofer, M., Petersen, N., Steidle, J., Hilbig, R., Blum, M. 2005. Magnetosensation in zebrafish. *Current biology*. 15 (5). 161-162. doi:10.1016/j.cub.2005.02.039.
- Schlegel, P. A. 2007. Spontaneous preferences for magnetic compass direction in the American red-spotted newt, *Notophthalmus viridescens* (Salamandridae, Urodela). *Journal of Ethology*. 25 (2). 177–184. doi: 10.1007/s10164-006-0016-x.
- Song, X., Richards, P. 1996. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core. *Nature*. 382. 221-224. doi:10.1038/382221a0
- Takebe, A., Furutani, T., Wada, T., Koinuma, M., Kubo, Y., Okano, K., Okano, T. 2012. Zebrafish respond to the geomagnetic field by bimodal and group-dependent orientation. *Scientific Reports*. 2 (727). doi: 10.1038/srep00727.
- Vanderstraeten, J., Burda, H. 2012. Does magnetoreception mediate biological effects of power-frequency magnetic fields?. *Science of The Total Environment*. 417-417. 299-304. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.08.071
- Vácha, M., Kvíčalová, M., Puzová, T. 2010. American cockroaches prefer four cardinal geomagnetic positions at rest. *Behaviour*. 147. 425–440. doi:10.1163/000579509X12580965484148
- Wiltschko, R., Wiltschko, W. 2012. Magnetoreception. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 739. 126–141. doi: 10.1007/978-1-4614-1704-0_8
- Wiltschko, W., Wiltschko, R. 2005. Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*. 191 (8). 675–693. doi: 10.1007/s00359-005-0627-7.
- Winklhofer, W., Kirschvink, J. L. 2010. A quantitative assessment of torque-transducer models for magnetoreception. *Journal of the Royal Society Interface*. 7 (2). 273–289. doi:10.1098/rsif.2009.0435.focus
- Wu, L. Q., Dickman, J. D. 2012. Neural Correlates of a Magnetic Sense. *Science*. 336 (6084). 1054–1057. doi: 10.1126/science.1216567.