

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská



Bakalářská práce

**Vliv změn magnetického pole na chování kapra
obecného**

Autor: Daniel Švrčula

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

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daniel Švrčula

Lesnictví

Název práce

Vliv změn magnetického pole na chování kapra obecného

Název anglicky

Effect of changes in the magnetic field on the behavior of common carp

Cíle práce

Zjistit vliv magnetického pole na chování kaprů obecných. Pomocí jednoduchých experimentů systematicky narušovat a měnit magnetické pole působící na kapry umístěné v elektromagnetické cívice a sledovat jejich reakce.

Metodika

Z dostupné literatury bude vypracována literární rešerše o vlivu Zemského magnetismu na živočichy. Posouzení vlivu magnetického pole Země bude provedeno u kaprů obecných, kteří budou umístěni v elektromagnetické cívice. Pro zjištění správnosti interpretace výsledků budou experimenty prováděny v přirozeném magnetickém poli a v poli uměle upraveném. Zjištění budou srovnána s výsledky publikovanými ve vědeckých časopisech.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Magnetorecepce, fotopast, alignment, kapr obecný

Doporučené zdroje informací

- Burda H., Vácha M., Němec P. 2007: Kompas a mapa; Vesmír, s. 224 – 228
- Hart V., Kušta T., Němec P., Bláhová V., Ježek M., Nováková P., Begall S., Červený J., Hanzal V., Malkemper E.P., Štípek K., Vole C., Burda H. 2012: Magnetic alignment in carps: Evidence from the Czech Christmas fish market. PLOS ONE, PONE-D-12-23466R1.
- Hellinger J., Hoffmann K.P. 2009: Magnetic field perception in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. J Comp Physiol A 195:873–879
- Jacobs L.F., Menzel R. 2014: Navigation outside of the box: what the lab can learn from the field and what the field can learn from the lab. Movement Ecology, 2:3. doi:10.1186/2051-3933-2-3
- Phillips J. B. 1996: Magnetic navigation. J. Theor. Biol. 180, s. 309 319.
- Vácha M., Němec P. 2007: Mechanizmy magnetorecepce; Vesmír, s. 284 – 289
- Wiltschko R., Wiltschko W. 1995: Magnetic orientation in animals. Berlin, Germany: Springer.
- Wiltschko W., Wiltschko R., 2002: Magnetic compass orientation in birds and its physiological basis. Springer-Verlag
- Wiltschko W., Wiltschko R., 2005: Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. J Comp Physiol A. 191, s. 675 693

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Elektronicky schváleno dne 15. 9. 2015

Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 10. 04. 2016

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv změn magnetického pole na chování kapra obecného vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vlastimila Harta, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Kostelci nad Černými lesy dne 14. 4. 2016

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu své práce Ing. Vlastimilu Hartovi, Ph.D. za vedení, užitečné a cenné informace a podporu v průběhu vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Hlavním tématem je vliv změn magnetického pole Země na chování kapra obecného se zaměřením na rybníkářství, jako součást přidružené lesní výroby. Schopnost živočichů vnímat magnetické pole byla nesčetněkrát prokázána, ale stále není jasné, jakým způsobem zvířata vnímají a zpracovávají informace, které mu geomagnetické pole poskytuje. Teoretická část práce se zaměřuje na magnetorecepci a popisuje její jednotlivé mechanismy a zjištěné poznatky, dále se zaměřuje na příklady využití magnetorecepce k přímému prospěchu obratlovců. Charakteristiku kapra obecného a rybníkářství a na příklady hospodaření s kaprem obecným. Praktická část se zabývá vyhodnocením vlivu magnetického pole Země na kapra obecného. Hlavní pozornost je věnována pozičnímu chování, jakožto k jednomu z projevů magnetorecepce. K vyhodnocení dat byl využitý statistický program Oriana 4.0., která pracuje na principu kruhových diagramů. Výsledky práce podpořili teorii o pozičním chování živočichů a vlivu magnetického pole Země na jejich chování. Výsledkem je zjištění, že kapři zarovnávají svá těla v severo-jihní ose, ovšem pokud nastane situace, kdy dochází k neklidu magnetického pole Země, označovaném jako magnetická bouře, tak dochází ke změnám pozičního chování a při magnetickém neklidu kapři nevykazují žádnou směrovou preferenci. Tento výsledek dokazuje, že kapři reagují na změny magnetického pole Země.

Klíčová slova: magnetorecepce, fotopast, alignment, kapr obecný

Abstract

The main topic is the effect of changes in Earth's magnetic field on the behavior of common carp, with a focus on fish farming, as part of associated forest production. The ability of animals to perceive the magnetic field has been demonstrated countless times, but it is still not clear how animals perceive and process information that it provides the geomagnetic field. The theoretical part focuses on magnetoreception describes the various mechanisms and discovered knowledge. It also focuses on examples of the use of magnetoreception for the direct benefit of vertebrates. Characteristics of common carp and pond management, and examples of the management of common carp. The practical part is focused on the evaluation of the influence of Earth's magnetic field on common carp. Main attention is given to the positional behavior, as one of the manifestations of magnetoreception. For the evaluation of the data was used statistical software Oriana 4.0., which works on the principle of pie charts. The results support the theory of positional animal behavior and the influence of magnetic field on their behavior. The result is, that carps align their bodies in a north-south axis, but if a situation arises where there is unrest in the Earth's magnetic field, known as a magnetic storm, when is magnetic storm there are changes in the positional behavior. Carp did not show any directional preference. This result proves that carps respond to the changes of Earth's magnetic field.

Key words: magnetoreception, fotopast, alignment, common carp

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíl práce	13
3. Literární rešerše	14
3.1. Magnetické pole Země.....	14
3.2. Magnetorecepce	16
3.2.1. Magnetický kompas	17
3.2.2. Inklinační kompas	18
3.2.3. Polaritní kompas	19
3.2.4. Magnetická mapa.....	19
3.3. Mechanismy magnetorepcepcí	21
3.3.1. Elektromagnetická indukce	23
3.3.2. Chemický radikálo-párový model	24
3.3.3. Součinnost feromagnetických částic a mechanoreceptorů	25
3.3.4. Alignment.....	29
3.4. Příklady využití magnetorepce k přímému prospěchu obratlovců ..	30
3.4.1 Savci	30
3.4.1.1. Odpočinek a příjem potravy u jelenovitých a skotu.....	30
3.4.1.2. Únikové reakce srnčí zvěře	30
3.4.1.3. Liška obecná	31
3.4.1.4. Psi.....	32
3.4.1.5. Netopýři	32
3.4.2 Ptáci.....	33
3.4.2.1. Kachna divoká	34
3.4.3. Ryby.....	34
3.4.3.1. Vorvaň obrovský	35
3.4.3.2. Losos	36
3.4.3.3. Pstruh	36
3.4.3.4. Dánio pruhované	37
3.4.3.5. Kapr obecný	37
3.5. Sledovaný druh Kapr obecný (Cyprinus carpio L.).....	38
3.5.1. Zoologické zařazení	38
3.5.2. Areál rozšíření a biologie kapra obecného	38

3.5.3. Rybníkářství a chov kapra	40
3.5.4. Příklady hospodaření s kaprem obecným.....	41
4. Metodika	43
5. Výsledky	48
5.1. Výsledky bez rozdělení dle magnetického počasí.....	49
5.2. Výsledky rozdělené dle stavu magnetického počasí	50
5.2.1. Magnetický klid – změna 0-1%	50
5.2.2. Magnetický neklid – změna 1-2%	52
5.2.3. Magnetický neklid – změna 2-3%	54
5.2.4. Magnetický neklid – změna 3-5%	55
5.2.5. Magnetický neklid – změna 5+%	57
6. Diskuze.....	59
7. Závěr	62
8. Seznam použité literatury	63

Seznam obrázků

Obrázek 1: Geomagnetické pole Země	16
Obrázek 2: Příklad využití kompasu při lokaci různých typů kurzů.	18
Obrázek 3: Důkaz o magnetické mapě mořských želv	21
Obrázek 4: Součinnost feromagnetických částic a mechanoreceptorů	27
Obrázek 5: Zobrazuje vyhodnocenou fotografii v aplikaci Microsoft PowerPoint	44
Obrázek 6: Příklad kruhového diagramu.	46
Obrázek 7: Denní magnetogram z doby sledování.	47
Obrázek 8: Znázornění průměrné orientace všech vyhodnocených kádí	49
Obrázek 9 : Znázorňuje preferenci průměrů vyhodnocených kádí	51
Obrázek 10: Preference při změně magnetické aktivity v rozpětí 1-2% ...	52
Obrázek 11: Preference při změně magnetické aktivity v rozpětí 2-3% ...	54
Obrázek 12: Preference při změně magnetické aktivity v rozpětí 3-5% ...	56
Obrázek 13: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 5+%.57	

Seznam tabulek

Tabulka 1: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci všech vyhodnocených kádí.....	50
Tabulka 2: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém klidu.	51
Tabulka 3: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 1-2%.	53
Tabulka 4: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 2-3%.	55

Tabulka 5: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí
změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 3-5%.

.....56

Tabulka 6 : Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí
změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 5+%.58

1. Úvod

V lesním hospodářství tvoří hlavní zdroj zisku prodané dříví, ovšem to není pouze jediným zdrojem zisku, protože majitelé a uživatelé lesů se vždy snažili mít co největší zisk a proto provozovali další ekonomické aktivity. Tyto aktivity nejsou přímou součástí lesní těžby, avšak nelze zpochybnit jejich vliv na ekonomiku lesního hospodářství. Těmito aktivitami se rozumí přidružená lesní výroba, do které patří sběr hub, těžba pryskyřice a také živočišné produkty jako včelařství, myslivost a rybníkářství.

Rybníkářství má v Českých zemích téměř tisíciletou tradici a kapr je naší hlavní hospodářskou rybou. Je velmi častý jev, že rybníkářství tvoří nedílnou součást zisku lesních podniků, jako je tomu například u Školního lesního podniku v Kostelci nad Černými lesy. Zároveň rybníky respektive malé vodní nádrže byly a jsou součástí lesních ekosystémů, dříve byly budovány vodní nádrže v horských oblastech, které byly a stále jsou polyfunkční, ať už se jednalo o funkci retenční, zásobní nebo rybochovnou a dříve sloužily i pro plavení dříví.

U ryb je potřeba důkladně znát jejich potřeby, abychom byli schopni plně využít jejich produkční potenciál, jedná se zejména o welfare. Welfare je stav naplnění materiálních i nemateriálních podmínek, které jsou předpokladem zdraví organismu, kdy je zvíře chováno v souladu s jeho životním prostředím (Staněk 2009). Jednou z možností, jak prohloubit naše znalosti o potřebách ryb je studium magnetorecepce, která může ukázat nový rozměr poznání. Když budeme plně schopni dosáhnout ideálních podmínek pro chov ryb, tak zároveň dospějeme i k plnému využití produkčního potenciálu.

2. Cíl práce

Cílem této práce je shrnutí poznatků o vnímání magnetického pole živočichy a popsání konkrétních příkladů využívání magnetorecepce pro prospěch obratlovců. Práci dále zaměřit na rybníkářství se zaměřením na kapra obecného a popsání jeho schopnosti reagovat na změny magnetického pole Země.

3. Literární rešerše

3.1. Magnetické pole Země

Magnetické pole Země je všudypřítomný jev (Wiltschko et al. 2011) a existuje déle nežli 3 miliardy let (Krylov et al. 2015). Je součástí životního prostředí a slouží jako ochranná vrstva před kosmickým zářením od slunce. (Omler, Pintér 1975). Již ve starověku si lidé poprvé všimli účinků magnetického pole, což dokazují první zmínky o magnetickém poli Země, které pocházejí údajně z období před 4000 lety. Staří Číňané navíc magnetismu přisuzovali léčivé účinky a jako první objevili také kompas s magnetickou střílkou (Brázdil et al. 1988; Holá 2012).

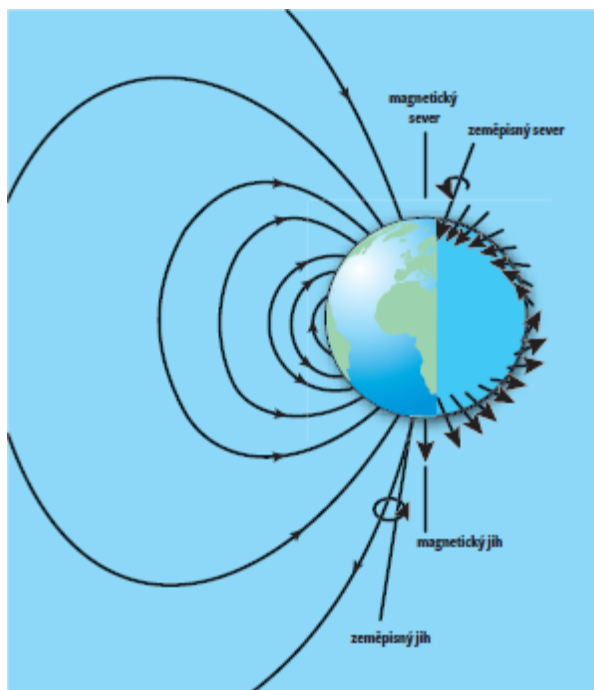
Magnetické pole Země se skládá z hlavního magnetického pole, které vzniká z vnitřních podzemních zdrojů a vnějšího magnetického pole generovaného solárními pozemskými interakcemi (Krylov et al. 2015). Wiltschko (1995) uvádí, že zdrojem magnetického pole je pohyb elektricky vodících hmot ve vnějším jádře. Těmito hmotami se rozumí železito-hlinité tekuté jádro, které se otáčí rychleji než pevná zemská kůra (Wiltschko, Wiltschko 1995). Víme, že Země mnohokrát měnila svou polaritu, intervaly mezi inverzemi (změnami polarity) se řádově pohybovaly od desítek tisíc do desítek milionů let. Poslední inverze proběhla před 720 tisíci lety (Bochníček, Hejda 2013). Síla indukce geomagnetického pole se mění od rovníku k pólům od 25 do 65 μ T (jednotky magnetické indukce) a směr geomagnetického pole se složitě mění v prostoru (Krylov et al. 2015).

Zemské magnetické pole je dipólové, dipól je umístěn přibližně ve středu Země. Magnetické póly neleží ve stejné ose, jako geografické póly, protože osa magnetického pole mění svůj úhel vůči ose geografické a tyto osy jsou od sebe odchýleny o 11 stupňů. Severní magnetický pól není stejný jako geografický, tato odchylka se nazývá magnetická deklinace. Magnetické pole není uspořádáno podle tvaru Země, ale je utvářeno

slunečním větrem, proto je ve směru ke slunci zplošťováno a ve směru od slunce je rozvolněné na mnohonásobek vzdálenosti (Brázdil et al. 1988).

Magnetický pól neustále mění svou polohu a tento pohyb má zrychlující tendenci, což nejspíš plyne z blížící se změny polarity. Přepólování planety není v historii Země nic výjimečného, protože intervaly mezi inverzemi se pohybovaly mezi desítkami tisíc až desítky miliónů let a právě poslední přepólování planety proběhlo před 720 tisíci lety. (Bochníček, Hejda 2013). Prostorové rozdělení magnetického pole záleží na deklinaci, inklinaci a celkové intenzitě. Tyto parametry vykazují pravidelnost, ale ne takovou jaká by se mohla očekávat (Wiltschko, Wiltschko 1995).

Graficky je uvedena tato situace na obrázku č. 1, kde je znázorněna Země jako magnetický dipól. Jsou zde vyznačeny indukční čáry magnetického pole. Maximální inklinace neboli sklon je na magnetických pólech, a naopak nulová inklinace je na rovníku. Indukční čáry směřující od Země, jsou na jižní polokouli, kde je inklinace záporná. Na severní polokouli, kde indukční čáry směřují k Zemi, je inklinace kladná (Vácha, Němec 2006).



Obrázek 1: Geomagnetické pole Země (Vácha, Němec 2006).

3.2. Magnetorecepce

Magnetorecepce je schopnost živočichů využívat informaci z magnetického pole Země při orientaci v prostoru (Wiltschko, Wiltschko 2006). Rozumí se tím aktivní proces, kdy si organismus dokáže, díky své schopnosti vnímat magnetické pole, tuto informaci uvědomit a poté ji adekvátně využít (Wiltschko, Wiltschko 1995). Poprvé byly tyto procesy zaznamenány již ve 2. polovině 19. století a první výsledky dokazující magneticky podmíněné chování pocházejí z 60. let 20. století (Wiltschko, Wiltschko 2006).

Magnetorecepce se stala v dnešní době jedním z nejzkoumanějších témat smyslové fyziologie a ne nadarmo se považuje za šestý smysl zvířat (Johnsen, Lohmann 2008). Ačkoliv je magnetorecepce jedním z nejzkoumanějších témat smyslové fyziologie, je systematické zkoumání tohoto fenoménu dnešní doby teprve na svém počátku. V současné době je poměrně dostatečně známo, jakým způsobem dokážou někteří živočichové využívat magnetické informace, ale přesto je velmi málo

informací o fyziologických a neurobiologických aspektech magnetorecepce (Lohmann 2008, Wiltschko, Wiltschko 2006).

Magnetické pole může poskytovat dva druhy navigačních informací, které, jak dnes již víme, živočichové využívají. Jedná se o magnetický vektor a využití inklinace, nebo intenzity magnetického pole. Magnetický vektor předává informace o směru tzv. magnetický kompas (Johnsen, Lohmann 2005). Využití inklinace (směru) předává informace o pozici. Při určení navigačních informací jsou některé druhy živočichů schopny využít oba typy (Wiltschko, Wiltschko 2006).

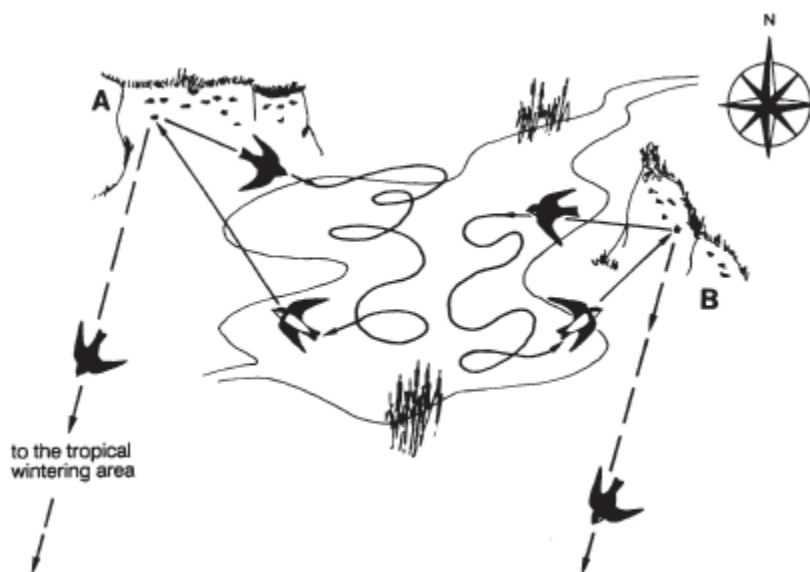
Magnetorecepce byla dříve vnímána jen jako doplněk k navigaci podle hvězd, slunce a jiných faktorů. Ovšem díky mnoha výzkumům se dnes již ví, že magnetická navigace je pro některé živočichy primárním nástrojem orientace (Gould 2010).

3.2.1. Magnetický kompas

Zemský magnetismus prostřednictvím magnetických kompasů využívají lidé v orientaci v mlze, na moři, či za tmy již po staletí. Používání klasického kompasu je ale v dnešní době zastaralé, lze se pohybovat podle družicového navigačního systému, který určí místo v dvojrozměrné síti souřadnic na povrchu Země a dokáže nás nasměrovat k cíli. Člověk vybavený kompasem ale i živočich s kompasovým smyslem dokáže stanovit úhel (azimut) mezi severo-jihní magnetickou osou a směrem své trasy. V případě, že při pohybu udrží azimut konstantní, tak má tvor jistotu, že se neodchýlí od přímého směru. Síť souřadnic představuje základ pro určení polohy. Je potřeba mít dva na sebe kolmé gradienty, které klesají nebo stoupají s geografickou šířkou a délkou (Vácha, Němec 2007).

Díky výzkumnému úsilí v posledních letech je využití magnetického pole pomocí kompasu u zvířat dobře objasněno, například poprvé byl tento jev popsán ve spojení s migračním chováním ptáků. Bylo dokázáno, že jsou schopni využívat svůj magnetický kompas při různých životních situacích, a to tím způsobem, že vnímají magnetické pole a podle toho určí svoji aktuální polohu a cíl své další cesty. (Wiltschko, Wiltschko 1995).

Poprvé bylo zjištěno a popsáno, že v sobě má zvíře magnetický kompas u Červenky obecné (*Erithacus rubecula*). Dále byl magnetický kompas prokázán u více druhů ptactva, na základě jejich spontánních směrových pohybů během migrace například u Zebřičky pestré a u Kura domácího na základě metody směrového tréninku (Wiltschko et al. 2011).



Obrázek 2: Příklad využití kompasu při lokaci různých typů kurzů.

Obrázek číslo 2 ukazuje Břehuli říční z různých kolonií létající různými směry (plná čára) za dosažením nedalekého jezera. Východní kurz využívá kolonie A a západní kurz využívá kolonie B. Kurz jejich návratu je závislý na lokaci místa, kam se mají vrátit zpět. Při podzimní migraci pak Břehule říční z obou kolonií letí jižním směrem, který je při migraci pro Břehule říční přirozený - na tropická zimoviště - přerušovaná čára (Wiltschko, Wiltschko 2006).

3.2.2. Inklináční kompas

Magnetický vektor je možno určit pomocí inklináčního kompasu, avšak nelze přímo určit jeho polaritu, ale živočichové vybavení inklináčním kompasem jsou schopni rozlišit severní a jižní polokouli pomocí úhlu siločar. Jsou schopni určit, kam směřují siločáry. Pokud siločáry směřují

směrem dolů, tak si je schopen živočich pomocí inklinálního kompasu odvodit, že směřují k pólům a jestliže směrem nahoru, tak směřují k rovníku (Wiltschko, Wiltschko 2005).

Když byla u ptáků experimentálně obrácena horizontální složka pole o 180° stupňů, tak reagovali letem na opačnou stranu. To samé nastalo v případě, kdy zůstala horizontální složka stejně, ale pro změnu byla obrácena inklinace (Vácha, Němec 2006). Inklinální kompas využívají například některé druhy ptáků či mořské želvy (Johnsen, Lohmann 2005).

3.2.3. Polaritní kompas

Pomocí polaritního kompasu lze přímo rozeznat polaritu magnetického vektoru a tím pádem i směr na sever a směr na jih. Zvířata (lososi, podzemní hlodavci), která mají polaritní kompas, by neměly reagovat na obrácení nebo vynulování inklinace (Vácha, Němec 2007). Při zjišťování, jaký druh kompasu zvíře používá, se využívá právě toto obrácení nebo vynulování inklinace (Wiltschko, Wiltschko 2005).

Některá zvířata například mloci mají jak inklinální kompas, tak polaritní kompas (Johnsen, Lohmann 2005).

3.2.4. Magnetická mapa

Magnetická intenzita byla zkoumána, jako součást navigační mapy holubů od konce 19. století. (Viguier 1882 in Wiltschko, Wiltschko 2005). Bylo zjištěno, že se změnou intenzity magnetického pole zvířata poznají, jakým směrem se pohybují a dokáží tak určit svou polohu v prostředí a také místo, kam směřují (Wiltschko, Wiltschko 2005).

Samostatný kompas je často nedostatečný k navádění zvířat na specifické lokality nebo k tomu řídit je na dlouhých a složitých migračních trasách. Například mořské želvy migrující oceánem, mohou být odchýleny kvůli mořským proudům z kurzu a to se týká také i migrujících ptáků, kteří

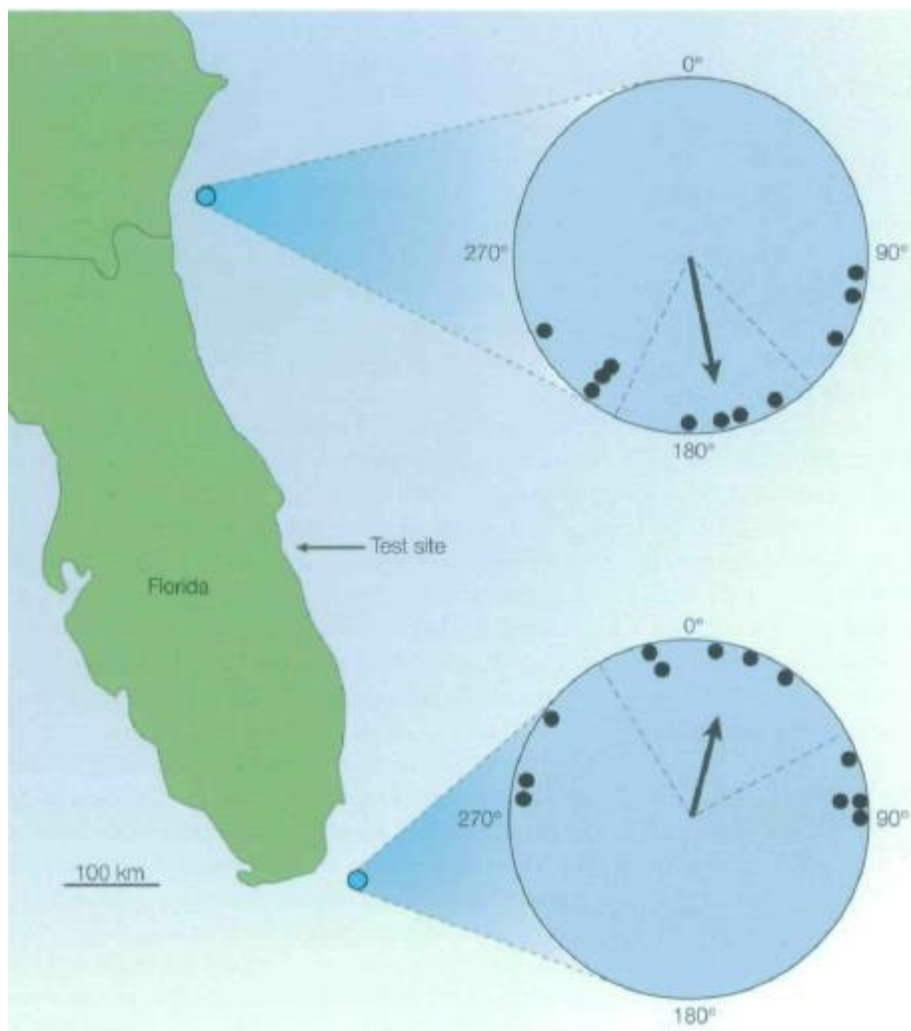
se mohou odchýlit od původních kurzů například kvůli silným větrným bouřím. Z těchto důvodů bývá jejich navigace rozšířena o schopnost určit polohu vzhledem k cíli. V dnešní době lidé běžně používají GPS (Global Positioning System), který lidem určí jejich geografickou polohu a ukazuje směr k cíli. Některé parametry, jako je úhel inklinace, celková intenzita pole a její vertikální a horizontální složky, tvoří výchozí informace pro magnetickou mapu (Johnsen, Lohmann 2005).

Migrující želvy mezi Amerikou a Evropou přinesly první empirický důkaz mapového smyslu. Během cesty, na určitých bodech, jako by narazily na magnetické majáky. I čerstvě vylíhlé želvy mění směr pohybu, i přes to, že nikdy předtím nebyly v oceánu, z čehož plyne, že toho chování lze považovat za vrozené (Vácha, Němec 2007).

Jak je zmíněno, mezi druhy využívající magnetické mapy patří mořské želvy, dále pak ptáci, langusty a obojživelníci (Lohmann et al. 2007).

Na obrázku č. 3 je znázorněn důkaz existence magnetických map u mořských želv. Vzhledem k tomu, že nedospělé želvy si zřizují krmná místa v pobřežních oblastech a vrací se zpátky na tato místa při změně polohy, byly některé mladé želvy chyceny v jejich krmných místech v pobřežních oblastech nedaleko Melbourne. Testovací místa jsou uvedena na mapě obr. č. 3. Každá želva byla připoutána na elektronický sledovací systém a umístěna v bazénu s vodou, který byl obklopen magnetickým systémem cívky, k napodobení magnetického pole, které existuje ve dvou vzdálených místech, na obr. č. 3 jsou tato místa označena modrými tečkami. Černé tečky umístěné v kruzích reprezentují hlavní směr každé želvy. Šipka ve středu každého kruhu na obr. č. 3 indikuje hlavní úhel skupiny. Tečkované čáry ukazují 95% interval spolehlivosti pro střední úhel. Želvy vystavené magnetickému poli, které existuje 330 km severně od jejich krmných oblastí, se orientovaly na jih, zatímco želvy v testovaném umělém poli, které existuje na rovnocenné ekvivalentní vzdálenosti k jihu, plavaly na sever. Želvy tak reagovaly na magnetické

pole při určování směru, který by mohl vést do jejich krmných oblastí, které by měly být v místech, kde magnetické pole existuje. Výsledky ukazují, že želvy mají typ magnetické mapy, která usnadňuje orientaci k navigaci do specifických geografických oblastí (Lohmann et al. 2007).



Obrázek 3: Důkaz o magnetické mapě mořských želv (Lohmann et al. 2007)

3.3. Mechanismy magnetorecepcí

Magnetorecepcí se rozumí schopnost živočichů vnímat geomagnetické pole a pomocí informací, které získají se orientovat v prostoru. Geomagnetické pole tvoří siločáry, které poskytují živočichům určité směrové informace. Na tyto informace živočichové reagují pomocí

nervové soustavy a pak je používají pro svou orientaci v prostředí (Wiltschko, Wiltschko 1995).

Vlivy magnetických a elektromagnetických polí na biologické systémy se intenzivně zkoumají. I tak je smyslová fyziologie a biofyzika stále neprobádaná a víme toho velmi málo o citlivosti živočichů k přirozenému geomagnetickému poli. Je to způsobeno hlavně tím, že nevíme, kde magnetoreceptor hledat (Němec, Vácha 2007). Vzhledem k tomu, že u lidí je možnost, že lidské vnímání magnetického pole je potlačeno, tak nevíme, kde se mohou naše magnetoreceptory nacházet a proto se nemůžeme inspirovat lidskou anatomí (Johnsen, Lohmann 2007).

V dnešní době máme dostatek dat z různých výzkumů, které nám dokládají, že živočichové mají schopnost vnímat magnetické pole země a není to ojedinělá záležitost, popsána byla u různých druhů od hmyzu, ptáků, savců až po ryby. Prvotní skepse vůči tomuto tématu byla nejspíš překonána (Wiltschko, Wiltschko 2005).

Je potřeba znát receptor, který vnímá geomagnetické pole, aby došlo k plnému přijetí nového smyslu. Z počátku se magnetoreceptor hledal v oblasti hlavy, avšak magnetoreceptory mohou být velmi malé a roztroušené různě v tkáních, jelikož nám chybí receptor, tak jsou velmi omezené možnosti jak studovat převodní mechanismus. Teoretické studie jsou zatím dále, než ty empirické a dnes máme tři všeobecné přijímané modely a to elektromagnetická indukce, chemický radikálo-párový model, součinnost feromagnetických částic a mechanoreceptorů. Není stále jasné, jaký model receptoru je ten pravý a která hypotéza je správná, nicméně v posledních letech začíná převládat názor, že mohou být různé kvality magnetického pole vnímány různými recepčními mechanismy současně. U některých obratlovců by na sídlo kompasové orientace nejspíš kandidovalo oko a magnetit v okolí nozder na nástroj magnetometrie nutné pro mapový smysl. Na zjištění, jaký model je správný, si budeme muset počkat (Němec, Vácha 2007).

3.3.1. Elektromagnetická indukce

Tento model je pozitivně přijímán vědci a také je nejvíce zkoumaným modelem. Tento model představuje vnímání geomagnetického pole pomocí elektrosenzitivních receptorů (Krylov et al. 2014).

U paryb je model vysvětlující vnímání magnetoreceptcí založen na elektromagnetické indukci. Hypotéza je taková, že jsou změny elektromagnetického napětí vnímány jejich pohybem v geomagnetickém poli (Němec, Vácha 2007). Paryby mají velmi citlivé receptory a mohou vnímat slabé vnější elektrické pole biotického a abiotického původu (Hofmann 2011).

Elektroreceptory, které má paryba na svém těle jsou Lorenziniho ampule, které se podle výzkumů nacházejí na hlavách paryb. (Johnsen, Lohmann 2008). Lorenziniho ampule jsou specializované kanálky vyplněné aminopolysacharidy, které fungují jako pohybující se vodič. Mořská voda má funkci vodivého média (Vácha, Němec 2007) a na dně kanálků jsou umístěny elektroreceptory, pracující jako velmi citlivé voltmetry (Prah citlivosti = 1nV/cm). Tento model je velmi jednoduchý, jestliže nebudeme brát v potaz pohyb vodního sloupce (Němec, Vácha 2007).

Kalminj navrhl teorii používání ampulárních elektroreceptorů pro orientaci v geomagnetickém poli. (Krylov et. al. 2014). V ampulách vzniká při vodorovném pohybu dorzo-ventrálně napěťový gradient. Velikost napěťového gradientu je přímo závislá na rychlosti pohybu a na úhlu mezi magnetickým vektorem a směrem plavání (Němec, Vácha 2007). Změny, které tím vznikají, zaznamenávají elektroreceptory a vytvářejí tak informace o směru magnetického pole Země (Johnsen, Lohman 2008).

Indukované napětí je nulové, jestliže žralok (paryba) plave na sever nebo na jih, pokud plave na východ nebo západ, je napětí maximální (s opačnými znaménky). Avšak existují dva neodlišitelné směry, čímž vzniká drobný problém, protože při severovýchodním a jihovýchodním směrem pohybu vzniká stejné receptorové napětí. Zvíře se vychýlí ze směru plavby

a díky tomu rozliší oba směry a porovná změnu své orientace se změnou receptorového napětí. Jenže způsob pohybu rybovitých obratlovců a působením vodních mas v reálu značně komplikuje situaci (Němec, Vácha 2007).

Elektroreceptory mají kromě paryb i jiné ryby. Například rypounovití (*Mormyridae*) mají také velmi citlivé ampulární receptory. Stejné schopnosti mohou být prokázány u starověkých taxonů ryb, jako jsou chiméry (*Petromyzonidae*), (Krylov et al. 2014).

Ač byl tento model navržen pro paryby, je nutné si uvědomit, že kromě výše uvedených mají elektroreceptory i obojživelníci a dokonce i ptakořitní savci. Teoreticky je možné, že toto chování je základem jejich kompasového smyslu (Němec, Vácha 2007).

Zatím však jasný důkaz o schopnosti zvířat využívat elektromagnetickou indukci k určení polohy pomocí magnetického pole není (Johnsen, Lohmann 2005).

3.3.2. Chemický radikálo-párový model

Druhý mechanismus magnetorecepce zahrnuje chemické reakce, které jsou způsobeny silou zemských magnetických polí. Na první pohled se může zdát velmi nepravděpodobné, že tak slabé pole, jako má Země, může vůbec ovlivnit nějaké chemické reakce, natož u zvířat (Johnsen, Lohmann 2005).

Energie, která je potřebná k přenosu elektronu z jednoho orbitalu do druhého, je o mnoho řádů vyšší než energie geomagnetického pole. Kinetická energie biomolekul je za fyziologických teplot o 11 řádů vyšší. Můžeme tedy předpokládat, že vliv tak slabého pole může být pohybem molekul vyrušen. I slabé magnetické pole může měnit některé chemické reakce, protože může ovlivňovat pravděpodobnost vzniku různých orientovaných spinových stavů elektronů. Přesněji řečeno se jedná o

chemické reakce, při kterých se tvoří radikálové páry (Vácha, Němec 2007).

Nejčastěji vznikají radikálové páry u organismů ve ftopigmentech, model poukazuje na úzké sepětí mezi magnetorecepcí a fotorecepcí. (Němec, Vácha 2007) Bylo to demonstrováno na holubech, kteří byli transportováni za úplné tmy 65 km od jejich domovského okrsku a nebyli schopni najít směr, odkud byli vypuštěni. Nicméně, holubi se po převozu za dobrých světelných podmínek dokázali velmi dobře zorientovat (Wiltschko, Wiltschko 1981).

Za předpokladu, že v epifýze nebo v sítnici jsou skutečně specializované receptory, jejichž magnetické senzitivní radikálové páry jsou generovány ftopigmenty. Za takových podmínek se může stát „viditelným“, protože magnetické pole Země může ovlivnit účinnost přeměny světla na membránový potenciál (Vácha, Němec 2007).

Výzkumy o chemické magnetorecepci se začínají stále častěji objevovat a stávají se rozvíjející se oblastí vědy. U tohoto mechanismu existuje stále mnoho nedostatků a větší množství hypotéz (Krylov et. al. 2015).

Skutečné důkazy chemické reakce způsobené změnou intenzity síly magnetického pole nejsou známy. Některé reakce, které jsou způsobeny radikálními páry, jsou vystaveny síle pole o 1miliTesly, ale tato intenzita je stále 20krát vyšší než magnetické pole Země (Johnsen, Lohmann 2005).

3.3.3. Součinnost feromagnetických částic a mechanoreceptorů

Tento model předpokládá, že v tkáních živočichů existují feromagnetické částice (nebo celé řetízky částic), které se chovají jako miniaturní magnety (Vácha, Němec 2007). Je známo, že existují v těle

živočichů zmagnetizované sloučeniny železa, které mohou detekovat magnetické pole (Lauwers et al. 2013).

Jedná se o malé krystalky biogenního magnetitu (Fe_3O_4 , velikost cca 50nm) s jednou doménou spontánní magnetizace (jednodoménový magnetit), (Vácha, Němec 2007).

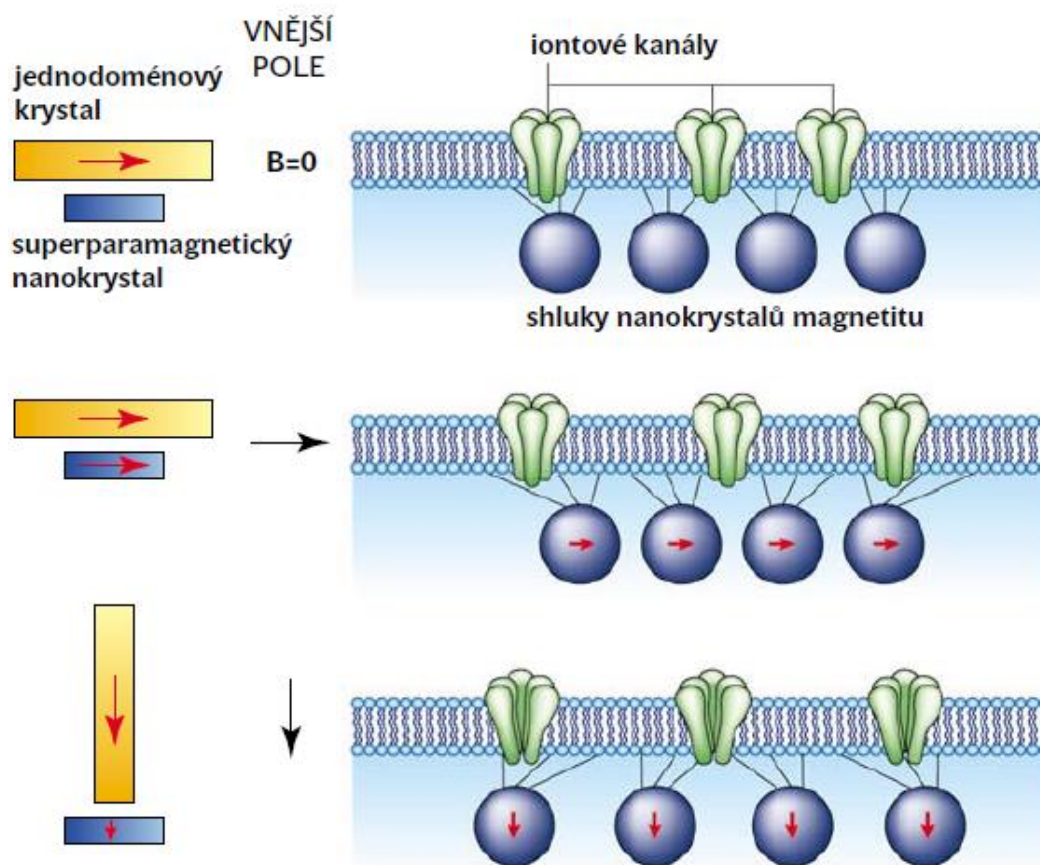
Magnetit je syntetizován živými organismy. Poprvé byl objeven u bakterií a jednobuněčných řas, které směřovaly svůj pohyb podle magnetických siločar. Objev, že krystaly magnetitu jsou základem schopnosti magnetorecepce vedl ke studiu, zda mají magnetit i jiní živočichové. Magnetit byl následně detekován u včel, ptáků, lososů, mořských želv a dalších mnoha zvířat, o kterých je známo, že se orientují podle magnetického zemského pole. (Lohmann, Johnsen 2005).

Krystalky magnetitu se ve vnějším poli natáčejí tak, že se jejich magnetický moment přiklání ke směru indukčních čar pole. Tyto krystalky se natáčejí spontánně do směru geomagnetického pole a mohou fungovat, jako pasivní magnetomechanické převodníky.

Existuje několik způsobů, jak převést tuto magneticky vyvolanou mechanickou sílu v receptorový potenciál. (Němec, Vácha 2007)

1. Krystalky mohou tlakem působit na sekundární receptory, vláskové buňky, volná nervová zakončení nebo kožní mechanoreceptory. Iontové kanálky mohou být hypoteticky otevírány či zavírány krystalkami magnetitu uvnitř buňky.
2. Hlavní roli převodníku hrají mnohem menší nanokrystaly o velikosti 2,5-5 nm. Tyto malé krystaly se nemohou fyzicky natáčet do směru geomagnetického pole, protože nemají stálý magnetický moment. Ve vnějším magnetickém poli je v těchto malých krystalech indukován magnetický moment, neboť shluky těchto nanokrystalů mají superparamagnetické schopnosti a orientace magnetického momentu je vždy shodná s orientací vnějšího pole. Za předpokladu, že v plasmatické membráně neuronu by byly takové shluky nanokrystalů

zakotveny, tak se budou vzájemně odpuzovat, nebo přitahovat v závislosti na směru vnějšího pole. Tento děj povede k deformacím membrány a možná i k otvírání, nebo zavírání iontových mechanosenzitivních kanálků, viz obr. č. 4.



Obrázek 4: Součinnost feromagnetických částic a mechanoreceptorů

Na obrázku číslo 4 jsou znázorněny jednotlivé rozdílné vlastnosti jednodoménových a superparamagnetických nanokrystalů. V levé části obrázku jsou u krystalů magnetitu znázorněny rozdílné magnetické vlastnosti. I přes nepřítomnost vnějšího magnetického pole mají jednodoménové krystaly stálý magnetický moment (naznačeno šipkami). Natáčejí se fyzicky do směru pole v případě, že je vnější pole přítomno. Oproti tomu u superparamagnetických nanokrystalů chybí magnetický moment v nepřítomnosti vnějšího pole. Aniž by krystaly fyzicky rotovaly, je ve vnějším poli indukován magnetický moment, jehož orientace sleduje

směr vnějšího pole. Pravá část obrázku znázorňuje hypotetický model, ukazující převodní mechanismus, založený na interakci shluků superparamagnetických krystalů. Shluky nanokrystalů se vzájemně přitahují a membrána se mírně stlačuje, když je vnější pole orientováno paralelně s plasmatickou membránou (uprostřed). Membrána se napíná a shluky nanokrystalů se vzájemně odpuzují při změně orientace vnějšího pole o 90° (dole). Výsledkem těchto interakcí může být roztáhnutí membrány a otevření iontových kanálků. Tento model byl inspirován objevením superparamagnetických krystalů v nervovém zakončení u holubů (Němec, Vácha 2007).

Podle současných výzkumů se ukazuje, že shluky nanokrystalů se samy uspořádají v jednoduchý, nebo dvojitý řetízek v koloidních roztocích ve vnějším poli. Tento řetízek se chová jako střílka kompasu. Za předpokladu, že je řetízek přítomen ve volném nervovém zakončení a bude na něj působit jak torzní síla, tak i velikost a směr této síly, bude závislý na aktuální orientaci nervů vůči geomagnetickému poli. Ohyb se může převádět v receptorový potenciál a následovně v nervový signál, protože nervové zakončení je citlivé k mechanické stimulaci (Němec, Vácha, 2007).

Aby magnetické krystaly fungovaly jako magnetoreceptory u zvířat musí být nejspíš magnetit v kontaktu s nervovým systémem. I když takovýto vztah byl navržen před více než 20 lety, tak přímých anatomických důkazů je stále málo. Nejsilnější důkazy vyplývají ze studií se pstruhy a s holuby (Lohmann, Johnsen 2005).

U ryb se nachází magnetitový řetízek s jednou doménou nejspíš v tkáni, která je umístěna v čichové sliznici v blízkosti bazální laminy čichového epitelu (Kirschvink et al., 1985, Mann et al., 1988 in Krylov et al. 2015). U ptáků se magnetitový řetízek nachází také v čichové sliznici (Beason and Nichols, 1984, Beason and Brennen 1986 in Krylov et al. 2015).

Tento model receptorů založeného na magnetitu, na rozdíl od ostatních modelů, nepotřebuje ke své funkci světlo a díky řadě úspěšně provedených pokusů, které byly provedeny ve tmě, nasvědčuje tomu, že právě magnetitový model je ten správný. Někteří hlodavci, mořské želvy, či ryby jsou schopny se bezchybně orientovat ve tmě. Také se zdá, že jediný receptor, který je schopný rozlišit polaritu horizontální složky magnetického pole je založený na jednodomém magnetitu (Němec, Vácha 2007).

3.3.4. Alignment

Směrová orientace těla během odpočinku, pohybu, nebo ostatních aktivity zvířat není pravděpodobně náhodná. Můžeme očekávat, že jedinec by zaujímal pozici, která za daných podmínek šetří energii (je více pohodlná) a poskytuje další výhody. Rozlišujeme různé formy alignmentu, například:

Thermoalignment – orientace těla rovnoběžně, nebo kolmo ke zdroji tepla, většinou podle slunce, aby slunci vystavili co největší část těla.

Rheoalignment – reakce na proud vody, kdy například ryby otáčejí v potoce hlavy proti proudu, aby byl menší hydrodynamický odpor a ryba měla lepší přístup ke kyslíku a k potravě, přinášené proudem.

Photoalignment – směrová orientace k nebo od světelného zdroje.

Anemoalignment - směřování těla po anebo proti větru.

Magnetický alignment – spontánní orientace těla podél linií magnetického pole. Magnetický alignment (zarovnání) představuje nejjednodušší odpověď na geomagnetické pole. Na rozdíl od magnetického kompasu magnetický alignment není cíleně řízen a představuje spontánní fixní směrovou reakci, protože zvířata mají tendenci zarovnávat svá těla podél nebo kolmo k linii magnetického pole. Magnetický alignment vede k bimodální orientaci, avšak je zde stále víc důkazů pro fixovanou unimodální (jednovrcholovou) orientaci a nemusí se nutně shodovat s magnetickými směry. Magnetický alignment byl

prokázán u mnoha druhů zvířat, jako je hmyz, obojživelníci, ryby a savci. Alignment může být u zvířat prokázán během odpočinku a pohybu (během pastvy, lovu, krmení a jiné), (Begall, S. et al. 2013).

3.4. Příklady využití magnetorepce k přímému prospěchu obratlovců

3.4.1 Savci

3.4.1.1. Odpočinek a příjem potravy u jelenovitých a skotu

Velmi zajímavý výzkum uskutečnili autoři Begall et al. (2008). Ti zjistili, že skot, jeleni a srnčí zvěř, preferují při pastvě a při odpočinku zarovnání svých těl v severojižní ose. Při výzkumu byly použity neinvazivní metody, jako například analýza satelitních snímků, pozorování dalekohledem, anebo sledování zálehů ve sněhu. Výzkum byl proveden na 2 974 jedincích a na 241 lokalitách. Při vyhodnocování se odstranila ovlivněná data, u kterých došlo k využití jiného alignmentu, například thermoalignment a gravialignment. Z výsledků se ukázalo, že zarovnání osy těla do severo-j jižní osy preferovalo 70-80% jedinců.

Toto zjištění otevřelo nové obzory pro studium magnetorecepce obecně a potencionální význam pro aplikaci v oblasti etologie (chov, welfare) a pro vysvětlení bezprostředních neurologických mechanismů. Profesor Hynek Burda (2015) chování těchto živočichů vysvětluje tak, že zarovnání těl do severojižní osy, přináší těmto živočichům určitou výhodu, nebo důležitou informaci. Příkladem může být společná synchronizace jedinců, kteří se pohybují ve větších stádech, nebo prosté welfare.

3.4.1.2. Únikové reakce srnčí zvěře

Synchronizace společného pohybu zvířat jsou dobře popsány na matematických modelech, kdy pouze 7 jedinců dokáže změnit směr jakkoli velké skupiny (viz např. Couzin et al. 2005). Práce Obleser et al. (2016) se ale zaměřila na zjištění reakcí živočichů, při náhlém vyrušení. Bylo měřeno

postavení volně se pasoucích jedinců a směr jejich útěku při hrozbě nebezpečí, stejně jako směr, odkud hrozba přišla. Během 188 vyplašení na otevřených plochách, měla srnčí zvěř tendenci unikat na sever, či na jih, ale jenom v případech, kdy byla vyplašena ve směru otočeném o 180°. V případě, že zvěř byla plašena z východu, či ze západu, nevolila únik tak, aby maximalizovala vzdálenost od nebezpečí, jako v předchozím případě, ale směr jejího úniku byl spíše náhodný. Vzhledem k tomu, že všechny faktory, které mohly mít vliv na směr úniku (postavení slunce, směr větru, přímý směr od nebezpečí, blízkost úkrytu, atd.) byly náhodně rozděleny v prostoru a čase, tak neměly na směr úniku žádný vliv. Jediným společným znakem se tedy zdá být magnetické pole. Autoři došli k závěru, že únik v severo-jihní ose pomůže synchronizovat pohyby a soudržnost skupiny a také pomáhat při prostorovém mapování prostoru.

3.4.1.3. Liška obecná

Liška obecná (*Vulpes vulpes*) při lovu drobných živočichů vykazuje specifické chování, které se nazývá myškování. Liška při myškování číhá a pak vysoko vyskočí a překvapí tak svou kořist. Zdá se, že při tomto lovu tvoří sluch primární smysl pro precizní lokalizaci kořisti v narostlé vegetaci nebo při sněhové pokrývce. Lišky se během lovu velmi soustředí a na lovu mají tendenci směřovat své skoky zhruba severovýchodním směrem. Když lišky loví ve vysoké vegetaci a při sněhové pokrývce, tak skoky jsou seskupeny směrem na sever, zatímco skoky v jiných směrech jsou značně neúčinné. Zjišťovalo se, zda byl směr útoků závislý na jiných faktorech, jako je denní doba, ročním obdobím, mlze nebo směru větru, ale nebyl. Předpokládá se, že poloha lišky před útokem reprezentuje jistý způsob alignmentu a zlepšuje přesnost loveckých útoků. Z toho plyne, že liška může využívat geomagnetické pole Země k lovu drobných živočichů a zároveň zvýšení jeho úspěšnosti (Červený et al. 2011).

3.4.1.4. Psi

Výzkum byl vedený za účelem zjistit, zda se zarovnávají do stejného směru, nebo osy. Měřil se úhel postavení těla u 70 psů 37 různých druhů během defekace (1,893) a urinace (5,582) během více než 2 let. Data se poté důkladně zanalyzovala a byla vytříděna podle druhu pohlaví a druhu vyměšování. Nejdříve se zdálo, že se psi nealignmentují, ovšem nakonec se ukázalo, že to bylo způsobeno nepatrnými výkyvy magnetického pole, poté se data vytřídila dle magnetického počasí pomocí denních magnetogramů. Úžasným výsledkem bylo zjištění, že změna magnetického počasí má vliv na osu vyměšování. Při klidném magnetickém počasí byla urinace a defekace orientována v severo-jihní ose, zatímco při neklidném magnetickém počasí nevykazovaly žádnou preferenci (Hart et al. 2013b).

3.4.1.5. Netopýři

U netopýřů je známo, že díky echolokaci (vysílaný zvuk se od předmětu odrazí zpět do místa vysílání, kde je zpětně zachycen) se dokáží skvěle orientovat v noci, ale pouze na krátkou vzdálenost, ale málo se vědělo o tom, jak se orientují na dlouhé vzdálenosti. Několik výzkumů se zaměřilo na tuto tematiku, jako například Tsoar et al. (2011), kteří využívali GPS telemetrii při sledování přesunů kaloně egyptského (*Rousettus aegyptiacus*) z domovské jeskyně ke vzdáleným ovocným stromům. Kaloni se vždy transportovali přímou trasou, rychle a s velkou přesností, každý ke svému oblíbenému stromu, navíc často po stejné dráze několik dní za sebou. Tým provedl pokus s převozem Kaloně do vzdálenějších oblastí a sledoval jejich reakce. V případě, že kaloni byli odvezeni 44 km na jih, tak se vrátili přímou cestou buď do své domovské jeskyně, nebo na svůj strom. V dalším pokusu přemístili kaloně 84 km na jih a vypustili je uvnitř hlubokého přírodního kráteru. Kaloni byli zpočátku dezorientovaní, ale nakonec opouštěli kráter ve směru k domovu a opět se úspěšně vrátili. Kaloni, kteří byli vypuštěni od okraje kráteru, letěli

k domovu přímou cestou. Toto chování kaloňů naznačuje, že k navigaci použity především viditelné orientační body. Tyto výsledky tedy přinesly důkaz o rozsahu kognitivních map, které umožňují orientaci v rámci vizuálně známé oblasti, a také se prokázala schopnost návratu domů z neznámé oblasti.

Holland et al. (2006) se také zaměřili na studium využívání magnetorecepce u netopýrů a zjistili, že chování netopýrů může být změněno tím, že se uměle vytvoří magnetické pole, což ukazuje, že netopýři při přeletech na delší vzdálenosti využívají magnetický kompas při homingu. Netopýr tedy při přeletech na delší vzdálenosti využívá magnetorecepce, která mu pomáhá při orientaci v prostoru.

3.4.2 Ptáci

Prvně byl vliv magnetického pole popsán u stěhovavých ptáků, díky jejich spontánnímu chování během migrace. Nutkání migrujících jedinců přesouvat se do migračního směru je tak silné, že i ptactvo chované v zajetí míří do příslušného směru v klecích. Když byla testována v geomagnetickém poli Červenka obecná, ale i jiné druhy migrujícího ptactva, tak testy ukázaly silnou preferenci směru jejich sezonní migrace. Při testování v experimentálním magnetickém poli stejné intenzity, ale s otočeným magnetickým severem o určitý úhel pomocí Helmholtzovy cívky, ptáci změnili svoje směrové preference, které se shodovaly se změněným magnetickým severem. To jasně dokazuje, že Červenka obecná využívá magnetické pole pro orientaci svých pohybů v prostoru. Nicméně vliv magnetického pole na migraci byl prokázán i u mnoha dalších druhů ptactva, jako například u holubů (Wiltschko, Wiltschko 2005).

3.4.2.1. Kachna divoká

Přistávání ptáků na vodu je náročná činnost na vizuální kontrolu rychlosti, vzdálenosti k cíli a sklonu sestupu. Ptáci, kteří letí v hejnech, musí držet stejný směr při přistávání na vodě, aby nedošlo ke kolizi. Například směr větru může poskytnout společnou informaci pro přistání. Při bezvětří ale ptáci musí využít jiného společného vodítka, které bude společné pro všechny.

V práci Hart et al. (2013a) se autoři pokusili zjistit, jestli může magnetické pole Země podat jednotnou informaci pro všechny jedince v hejnu. Zaznamenaly se a zanalyzovaly směry přistání 3,338 hejn u 14 druhů vodních ptáků v 8 zemích. Výsledky ukázaly, že preferovaný směr přistání, nezávisle na směru odkud ptáci přiletěli, je podél osy sever-jih. Bralo se v potaz také roční období, čas dne (pozice slunce), počasí (slunno/mlha), lehký vítr, lokalita, šířka a magnetické deklinace u 2,431 hejn divokých kachen (*Anas platyrhynchos*) a nenašel se žádný systematický vliv těchto faktorů na upřednostněný směr přistání. Vzhledem k absenci jakéhokoli jiného společného ukazatele, kterým se určuje směr přistání, se zdá být magnetický alignment nejpravděpodobnějším, ne-li jediným vysvětlením pro způsob přistávání kachen na vodní hladinu při bezvětří. Z toho vyplývá, že magnetické pole Země může pomáhat ptákům při dosedání na vodní hladinu a zabraňovat kolizi.

3.4.3. Ryby

Mezi rybami se výzkumy zaměřily hlavně na dvě skupiny, které spojují migrace na dlouhé vzdálenosti a těmi skupinami jsou úhoři a lososi, avšak jejich chování při migraci jsou značně odlišná, protože úhoři jsou katadromním druhem ryb, což znamená, že migrují ze sladké vody do mořské vody za účelem rozmnožování. Zatímco lososi jsou anadromním druhem, který migruje z mořské vody do sladké za účelem rozmnožování. Předpokládá se, že tyto druhy mají velmi dobře vyvinuté orientační schopnosti, proto jsou hlavními kandidáty při hledání vlivu magnetického

pole na zvířata. První náznaky, že ryby jsou schopny využívat magnetické pole pro směrovou orientaci pocházející z experimentů s úhořem žlutým. Pokusy byly prováděny ve velkých vodních arénách, které byly sestaveny jako bludiště. Každý jeden úhoř byl do arény vpuštěn samostatně a mohl si vybrat ze šesti různých směrů, kterými se mohl vydat a opustit centrální šestiúhelník. Chování bylo bimodální (mělo dva směry s největší četností). Na dvou testovacích místech ve východní Evropě, byl testován úhoř říční a vybíral si spontánně východně-západní směr. Když bylo magnetické pole změněno, tyto tendence zmizely, což naznačuje, že výběr směru byl založen na magnetických informacích. Vnímání magnetického pole by mělo pomáhat při určení směru migrace a získávání informací o poloze, které úhoř využívá během migrace (Wiltschko, Wiltschko 1995).

3.4.3.1. Vorvaň obrovský

V posledních desetiletích vedl rostoucí počet vyvržených jedinců samců vorvaňů obrovských (*Physeter macrocephalus*) kolem Severního moře ke zvýšení zájmu veřejnosti. Lidé si mysleli, že je to způsobeno zejména antropogenními vlivy, jako je kontaminace nebo intenzivní hluk. Avšak je možné, že také přirozené přírodní efekty mohou způsobit dezorientaci u zvířat. Při těchto domněnkách se rozhodli Vanselow, Ricklefs (2005) porovnat dokumentované vyvrhnutí vorvaňů na břeh mezi lety 1712 až 2003 se sluneční aktivitou, zejména se sluneční periodicitou. Výsledkem bylo zjištění, že 90% z 97 dokumentovaných uvíznutí v Severním moři, došlo právě v době, kdy aktivita slunce byla nižší než průměrná hodnota za posledních 11 let, přičemž pouze 10% vyvrhnutí nastalo, když tento cyklus byl delší. Vztah se stává ještě významnějším (94%, n=70) pokud jsou data brána v kratším časovém období během roku od listopadu do března, což je migrační období samců vorvaňů. Podle Chí-kvadrát testů je na hladině pravděpodobnosti 1% chyby výsledkem, že vyvrhnutí vorvaňů je spjato se sluneční aktivitou. Jako alternativní vysvětlení Vanselow a Ricklefs navrhují, že změny

magnetického pole Země, které vznikají kvůli proměnlivým tokům energie ze Slunce k Zemi, mohou způsobit dočasnou dezorientaci migrujících živočichů, která vede například u Vorvaňů k vyvržení z moře.

3.4.3.2. Losos

U lososů (*Salmo salar*) je situace více příznivá, protože data o nich jsou během jejich migračních cest lépe dostupná a lze je získat na velkých množstvích vzorků, kdy čerstvě vylíhlý potěr, ve stáří několika dnů nebo hodin migruje do jezer, nebo později ve stáří jednoho roku po proudu řek směrem do oceánu (Wiltschko, Wiltschko 1995).

Quinn (1980) byl první, kdo demonstroval magnetický kompas u lososů, který se reprodukuje v řekách Tichomořského pobřeží Severní Ameriky. Mezi 20-30 mládřaty bylo vypuštěno během prvních dnů po vylíhnutí doprostřed symetrické nádrže se 4 až 8 možnými výstupními cestami, kterými potěr mohl opustit nádrž. Počítalo se, kolikrát se vydaly jakým směrem, tato data byla zanalyzována a vyhodnocena, avšak směrové tendence nebyly příliš výrazné, Když se ale testoval větší počet jedinců, tak výsledky byly jasnější. Když byl magnetický sever přetočen na geografický západ, změnil potěr své směrové preference. Losos tedy využívá magnetického pole při svých migračních cestách, které mu napomáhá při orientaci v prostoru.

3.4.3.3. Pstruh

U larev a potěru pstruha (*Salmo trutta*) se zkoumal vliv konstantního magnetického pole na směr plavání, který byl zkoumán v experimentálním zařízení, skládající se z komory vybavené magnety. Experimenty ukazovaly úzký vztah mezi směrem vybraným potěrem a larvami a přítomností a absencí feritových magnetů generující konstantní magnetické pole. Získaná data ukazují, že během rané ontogeneze u nově vylíhlých jedinců, kdy se již nejedná o embryo, ale larvu, na citlivost

na magnetické pole. Tato citlivost se zdá být související s exorecepční systémem, který se vyvíjí v dané době. Mají tedy nejspíš magnetoreceptory reagující na magnetitové částice (Formicki 2005).

3.4.3.4. Dánio pruhované

Některé vlastnosti Dánia pruhovaného z něj dělají jeden z nejlepších modelů pro studium magnetorecepce u obratlovců, mohlo by být vhodné pro molekulární analýzu magnetorecepce obratlovců. Takebe et al. (2012) během studií zjistili, že Dánio pruhované je vhodný model organismu pro genetickou manipulaci, v reakci na schopnost vnímat, tak slabé magnetické pole, jako je to geomagnetické pole. Bez jakéhokoliv tréninku bylo Dánio vypuštěno jednotlivě do kruhové arény, která byla umístěna v umělém magnetickém poli a byla zaznamenávána jeho směrová preference. Jednotlivci 5 skupin z celkových 7 zkoumaných skupin, skupiny složené převážně z potomků předem určených dvojic, ukázaly dvousměrnou orientaci bez ohledu na příbuzenský vztah. Preferované směry se nezdály být závislé na pohlaví, věku nebo okolních přírodních podmínkách. Z výsledků vyplývá, že směrová (alignment) preference je geneticky definována. Současné poznatky mohou usnadnit budoucí studie na molekulární mechanismy, které způsobují magnetorepcepci a zároveň nám více objasnit, kde je vlastně námi hledaný receptor. Dánio může využívat magnetorepcepci při migraci za ztížených podmínek, kdy nelze použít jiné smysly například čichové ústrojí.

3.4.3.5. Kapr obecný

Tým doktora Harta se rozhodl zjistit, zda kapři zarovávají svá těla po směru magnetických siločar. Výzkum proběhl během prodeje vánočních kaprů na vánočních trzích. Bylo pozorováno poziční chování kapra v kádích na celkovém počtu 14 537 jedinců a v 80 kádích na 25 lokalitách během 817 měření. Během měření byly podrobně

zaznamenané rušivé faktory, jako jsou například pouliční lampy. Výsledkem bylo, že kapři směřovali buď k severu, nebo k jihu. Čímž se potvrdilo, že jsou kapři schopni zarovnávat svá těla podél severo-jihní osy. Tyto jejich preference mohou využívat při synchronizaci pohybu jedinců ve skupinách, vyhýbání kolizí a koordinovanému úniku před predátory (Hart et al., 2012).

3.5. Sledovaný druh Kapr obecný (*Cyprinus carpio* L.)

3.5.1. Zoologické zařazení

Kapr obecný (*Cyprinus carpio* L.) patří dle zoologické taxonomie do čeledi kaprovití (*Cyprinidae*), řádu máloostní (*Cypriniformes*), podtřídy kostnatí (*Neopterygii*), třídy paprskoploutví (*Actinopterygii*), nadtřídy čelistnatci (*Gnathostoma*), podkmen obratlovci (*Vertebrata*), kmene strunatci (*Chordata*), podříše mnohobuněční (*Metazoa*), říše živočichové (*Animalia*) (Hanel, Lusk 2005).

3.5.2. Areál rozšíření a biologie kapra obecného

Původním areálem rozšíření kapra obecného je povodí řek Dunaje, Černého a Kaspického moře, v Asii povodí Tichého oceánu a řek východní Asie, zejména Číny (Kostomarov 1958). V dnešní době u nás divocí kapři nejspíš nežijí, neboť v povodích Labe a Odry je vysazován uměle, nebo se dostal do říčních vod z rybníčních chovů. Jedná se tedy u nás o druh nepůvodní (ČRS 2015).

Kapr žije většinou v mírně tekoucí a stojaté vodě, zejména se mu daří v bohatých vodách s mělkým dnem a prosluněnými místy. Vzhledem k oblíbenosti chovu kapra je dnes kapr rozšířen ve všech typech stojatých vod, včetně velkých nádrží a také ve větších tocích mimopstruhových pásů (ČRS 2015).

Kapr obecný je ryba s protáhnutým robustním tělem, které je z boků stlačené a je pokryto celé nebo zčásti šupinami. Hlava je krátká, tupá a ústa jsou směřována dolů. Pohyblivé a vysunovatelné pysky vytvářejí rypec. Má 4 vousky na horním pysku. Z hlediska ošupení domestikovaných kaprů rozlišujeme 4 druhy a to šupinatého, lysého, řádkového a hladkého. Zbarvení kapra je závislé na okolním prostředí, obsahu tuku v jeho těle a na jeho genetickém základu (ČSR 2015).

Rozmnožování kaprů se nazývá tření. Kapři se při teplotě vody, již kolem 16 stupňů mohou začít třít, ale optimální teplota pro tření se pohybuje v rozmezí od 18-24 stupňů. Tření kaprů probíhá v mělké vodě v období přelomu května a června (Bursell 1999). Kapr je fytofilní ryba, což znamená, že se vytírá na zatopené vegetaci a toto tření je hromadné. Plůdek se po vylíhnutí živí fytoplanktonem a zooplanktonem. V pozdějším stádiu se mezi potravou mladých kaprů objevují i larvy, vodní hmyz, měkkýši a části řas a rostlin. Kapři se sdružují do hejn během vegetačního období a není výjimkou, že se přidají i starší kapři. Během teplých a slunných dní kapři s oblibou plavou při hladině mezi měkkými porosty a vplouvají do mělčin. Za špatného počasí se zdržují více u dna. Samci neboli mlíčňáci dospívají ve 3-4 roce a samičky (jiknačky) dospívají ve 4-5 roce života. Kapr může dosahovat délky až 1,2 metrů a hmotnosti 40 kg a dožívá se 20-30 let (ČRS 2015).

V našich vodách se kapr vyznačuje poměrně velkým přírůstem, a to zejména díky vhodným klimatickým podmínkám. Schopnost dosahovat velkých přírůstů závisí na mnoha faktorech, jako jsou například dědičné vlastnosti, množství a kvalita přirozené potravy a také předloženého krmiva a věkové struktury, která ať už pozitivně nebo negativně ovlivňují vývoj kapra. Neméně důležitá je samozřejmě také technika chovu, krmení a teplota vody (Čítek a kol. 1993).

3.5.3. Rybníkářství a chov kapra

Rybníky řadíme do skupiny stojatých vod, jedná se u uměle vypustitelné zemní nádrže, různě velké a nestejně hluboké (Nováček, 2000).

Chov kapra u nás má tisíciletou tradici. Jedná se o produkčně-hospodářský druh ryby v České Republice. Nejčastěji je prodáván tržní kapr ve věku 3 let. V ČR se celkově chov ryb zaměřuje právě největší měrou na kapra. Kapr má výhodu v tom, že jeho hmotnostní přírůst je poměrně velký za celkově krátkou dobu. Další neopomenutelným faktem pro chov kapra je, že kapr dokáže snášet nižší obsah kyslíku ve vodě, což je výhodné zejména při transportu na delší vzdálenosti a jeho další distribuci (ČRS 2015).

Rybníkářství je u nás provozováno na vysoké a evropsky uznávané úrovni. Podle zákona jsou v LH subjekty, které mají právo v revírech na území své působnosti vykonávat rybářské právo (Simanov 1995).

První zmínky o domestikaci kapra obecného pocházejí z období Říma, kdy ho Římané začali lovit, jako neznámou rybu na počátku 1. století našeho letopočtu. U nás existují první záznamy o rybníkářství okolo roku 1263. Vůbec mezi první rybníky patří Hnačov, Žár a Opatský rybník, který má písemně doložené datum založení a tím je právě rok 1263. Tyto první rybníky vznikly především díky činnosti cisterciánskému řádu. Lze předpokládat, že s těmito prvními výstavbami rybníků v Českých Zemích nejspíš začal i chov kapra. Další fáze výstavby rybníků proběhla během doby Lucemburské (1316-1378), kdy již rybníky sloužily výhradně k chovu kaprů. Během času se zavedla dodnes používaná třístupňová metoda chovů kaprů.

Rybníkáři začali rybníky rozdělovat do 3 kategorií podle stáří chovaných ryb, a to na:

1. rybníky třecí pro potěr
2. výtazníky k chovu násady

3. rybníky pro tržní rybu.

Není zcela jisté, kdy se tato metoda začala využívat, ale nejspíš to bylo v době Lucemburské a zcela úplně se tato metoda zaběhla po husitských válkách, kdy nastal rozkvět rybníkářství, neboť během husitských válek klesl počet obyvatel Českých zemí, a to uvolnilo velké prostory pro stavbu rybníků. Stavba rybníků nezabrala tolik práce, možností výstavby bylo mnoho a perspektiva odbytu kaprů v sousedních zemích velká. Živý kapr se stal ceněným vývozním zbožím (ČRS 2015).

Důkazem toho je Karel IV., který se o rybníkářství zmiňuje ve svém majestátu, kde vybízel šlechtu k budování rybníků, aby byla hojnost ryb a půda se co nejvíce využívala a aby se pod rybníky zřizovaly mlýny apod. (Hule 2000).

Na konci zlaté éry českého rybníkářství se na našem území vyskytovalo okolo 70 000 rybníků. V této době byl také postaven největší český rybník Rožmberk, který byl dostaven roku 1589. Poté přišla Rudolfínská éra a začal úpadek našeho rybníkářství, který trval více než 200 let. Až 19. století přineslo opět změny a to především díky vzniku železnic a možnosti distribuce živých ryb na větším území. Ve 20. století bylo rybníkářství ovlivněno 1. světovou a 2. světovou válkou a produkce ryb výrazně klesla. Po 2. světové válce se produkce ryb opět postupně dostala na předválečnou úroveň. Od té doby se rybníkářství konsolidovalo (ČRS 2015) a dnes se produkce ryb u nás pohybuje okolo 20 tisíc tun ročně a z toho kapr tvoří 17 000 tun, což je cca 90% produkce ryb v České Republice (Rybníkářství Třeboň a.s.).

3.5.4. Příklady hospodaření s kaprem obecným

Na dále uvedených příkladech bude demonstrováno, jaký vliv má chov kapra na ekonomiku vybraných podniků.

Na příkladech lze vidět, ekonomickou stránku kapra obecného. Rybníkářství a chov kapra je přidružená lesní výroba.

Výroční zpráva za rok 2014

Městské hospodářství Vodňany, spol. s r.o.

nám. Svobody 3 Vodňany 389 01

Podle výroční zprávy Městského hospodářství Vodňany se ukázalo, kolik podílu tržeb může tvořit prodej ryb. Ze zpráv o hospodaření vyplynulo, že ve sledovaném roce 2014 tržby za kapra obecného dosáhly 4 808 764 Kč z celkových 5 013 252 Kč. Dalších 33 184 Kč bylo získáno prodejem kapra na sádkách. Z celkových tržeb městského hospodářství tvoří příjem z rybníkářství 23,31%.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Školní lesní podnik v Kostelci nad Černými lesy.

Školní lesní podnik dále ŠLP, je pod správou České zemědělské univerzity v Praze. Pod vedení ŠLP spadá několik středisek (8). Zde předkládám data od střediska rybářství a myslivosti. Za rok 2015 bylo střediskem prodáno 16 614,95 kg tržního kapra za 75 Kč/kg, což tvoří výnos 1 246 121,25 Kč. Z celkového počtu tržní ryby kapr tvoří 95,20% tržeb z ryb. Dále se prodává násada kapra za 45 Kč/kg a celkem se prodalo 19 860 kg násady kapra s výnosem 993 000 Kč. Kapr tvoří většinový podíl výnosů za prodej ryb a to 90%.

Kapr obecný je hlavní hospodářským druhem ryby na ŠLP. Dohromady činí výnosy za prodej tržního kapra a násady kapra 2 239 121 Kč (Bukáček 2016).

4. Metodika

Magnetický alignment je spontánní postavení těla v ose s liniemi magnetického pole, když ostatní vlivy na postavení těla jsou negativní (směr větru, pozice slunce atd.). Alignment byl prokázán u mnoha druhů zvířat při různých životních činnostech a potřebách, jako například pasoucí se a odpočívající jeleni, lovící lišky a mnoho dalších (Hart et al. 2013).

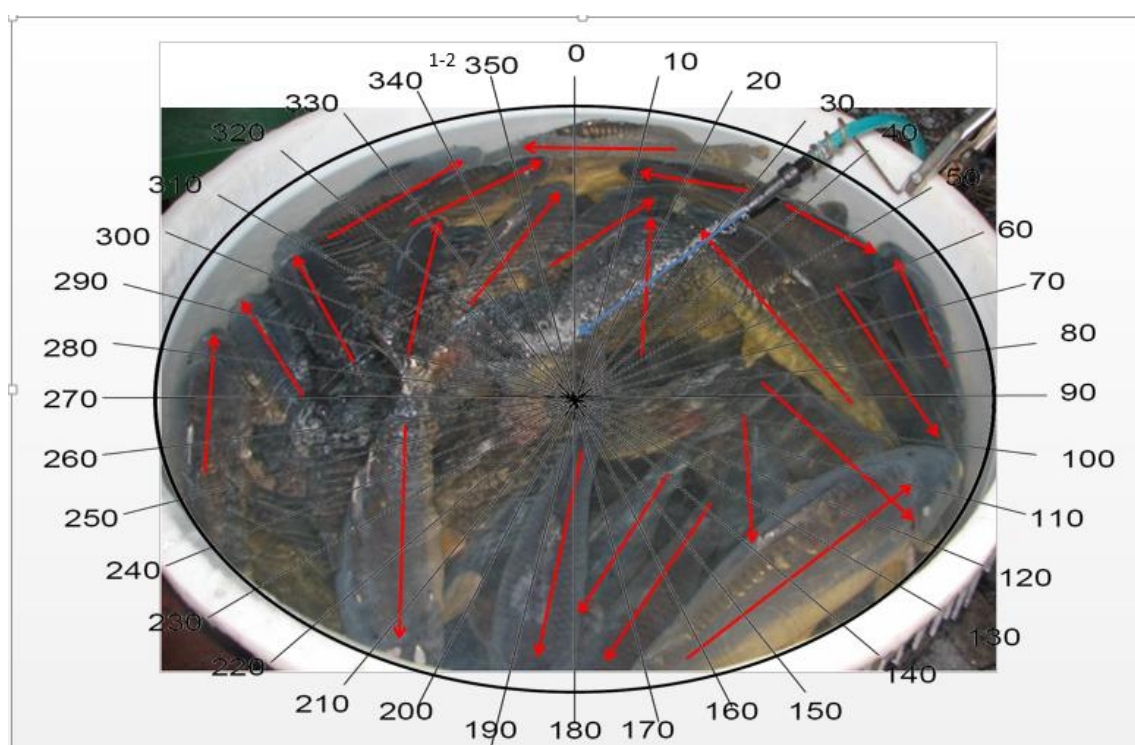
Magnetický alignment by mohl být vhodný vzor pro hledání magnetosenstivity napříč taxony zvířat. Má předpoklad nám pomoci pochopit mechanismy magnetorecepce a dalších funkcí magnetického smyslu (Hart et al. 2013).

Tato práce navazuje na výzkum bakalářské práce Davida Prince - Přidružená lesní výroba se zaměřením na rybníkářství a chov kapra obecného (2012), který zjistil, že kapři jsou schopni se alignmentovat podle osy magnetického pole, jak je již uvedeno. Chtěli ověřit hypotézu, která vznikla při výzkumech Vanselow a Ricklefse 2005 a Harta et al. 2012. Tato hypotéza poukazuje na vliv výkyvů magnetického pole na chování zvířat a úkolem bylo zjistit, zda kapři také při svém spontánním chování reagují na změny intezity magnetického pole.

Samostatné získávání dat probíhalo na 38 lokalitách v Praze a jejím okolí a v dalších několika městech v jižních Čechách a na severozápadě Čech mezi 18. a 24. prosincem roku 2011. Pracovalo se s 900 fotografiemi z celkem 119 kádí. V průměru byly na každé lokalitě 3 kádě s kapry a každá káď byla přehodnocena v průměru 7-8krát, v různých časech během 18. až 24. prosince. Kádě byly všechny stejné, byly vyrobeny z tvrdého plastu, většinou bílé, modré nebo světle hnědé barvy s hloubkou 60cm a vnitřním průměrem 120 cm.

Při každém testu bylo provedeno vyfocení ryb v kádi, ryby v kádi byly foceny z výšky, sever byl určen pomocí kompasu a na kádi byl vyznačen tak, aby značení bylo znatelné pouze na fotografii. Fotografování probíhalo vždy 2x během krátkého časového úseku. První fotka byla pořízena, když ryby byly 30minut v klidu, většina těchto

záznamů se prováděla během noci, protože již byl klid. Druhá fotka byla pořízena vždy po vyrušení ryb. Jestliže byl zapnut přívod vody a vzduchování, tak druhá fotka byla pořízena po vypnutí přívodu vody a vzduchování, zamíchání ryb a vyčkání přibližně 5 minut. Mimo jiné po celou dobu testování byla zaznamenávána teplota vzduchu, směr přívodu a odvodu vody, směr pouličního osvětlení a všech dalších možných rušivých faktorů. Na některých místech se pomocí magnetometru měřily i parametry magnetického pole. Měřil se úhlový vektor podélné osy těla všech měřitelných kaprů na fotografii u celkem 17,991 zkoumaných jedinců. V průměru bylo změřeno 20 kaprů na jedné fotografii. Tyto fotografie byly vyhodnoceny pomocí využití aplikace Microsoft PowerPoint ve 4 fázích (obr. 5).



Obrázek 5: Zobrazuje vyhodnocenou fotografii v aplikaci Microsoft PowerPoint

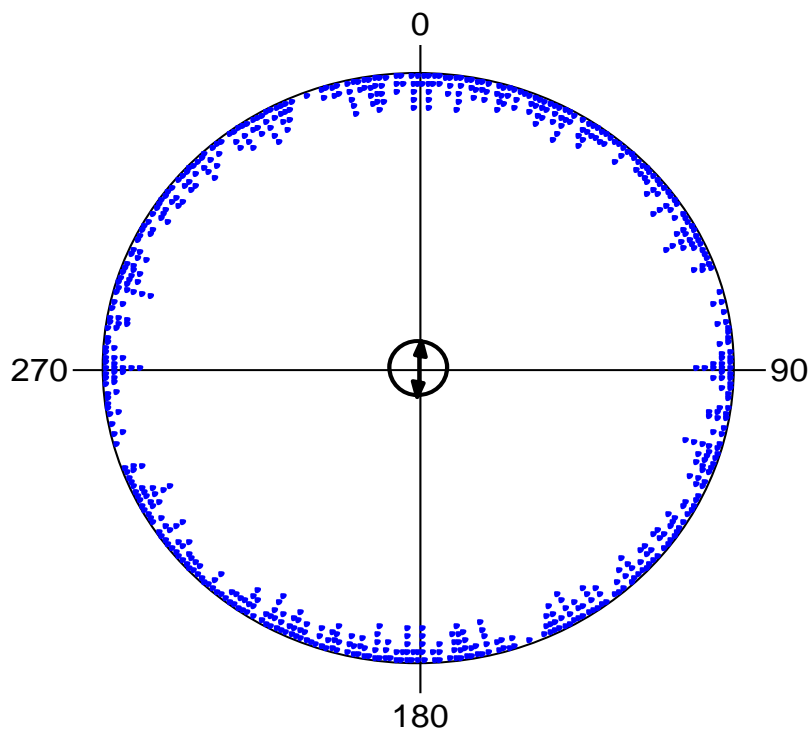
1. Byly vytvořeny šipky u všech viditelných ryb podél mediálních os (jednoznačné označení hřbetní ploutví) u všech ryb, které byly rozpoznatelné a viditelné na fotografii.

2. Základní fotka byla odstraněna a na pozadí snímku se umístil kruh – rozdělený do 36 radiálních desetistupňových segmentů-rozeta dle šipek.
3. Otočení rozety v souladu s orientací kádě na fotografii – 0stupňů směřuje ke geomagnetickému severu.
4. Směr šipek byl zaznamenáván s přesností pěti stupňů.

Statistická analýza získaných hodnot byla vypracována pomocí programu Oriana 4.0 (Kovach Computing Services). Program Oriana 4.0 Kovach Computing services je statistický software sloužící k analýze dat. V tomto programu byla zpracována naměřená data. Program nám ze všech našich lokalit vytvořil statistická vyhodnocení směrových dat (Kovach 1993).

Zde jsou uvedené základní statistické údaje, které tento program generuje. Základním statistickým údajem je kruhový průměr (circular mean), délka průměrného vektoru (length of mean vector), kruhová směrodatná odchylka 95% a 99% hranice spolehlivosti. Program obsahuje mnoho jednovýběrových testů (simple distribution tests), mezi které se řadí test jednotnosti – Rayleighův test (Rayleigh's test of unimodality) a test roztečí – Raoův test (Rao's spacing test), (Kovach 1993).

Vektorové hodnoty nebyly počítány pro každou rybu, protože je nelze považovat za samostatné subjekty a proto byly hodnoty vypočítány pro každou fotografii, vanu a lokalitu.



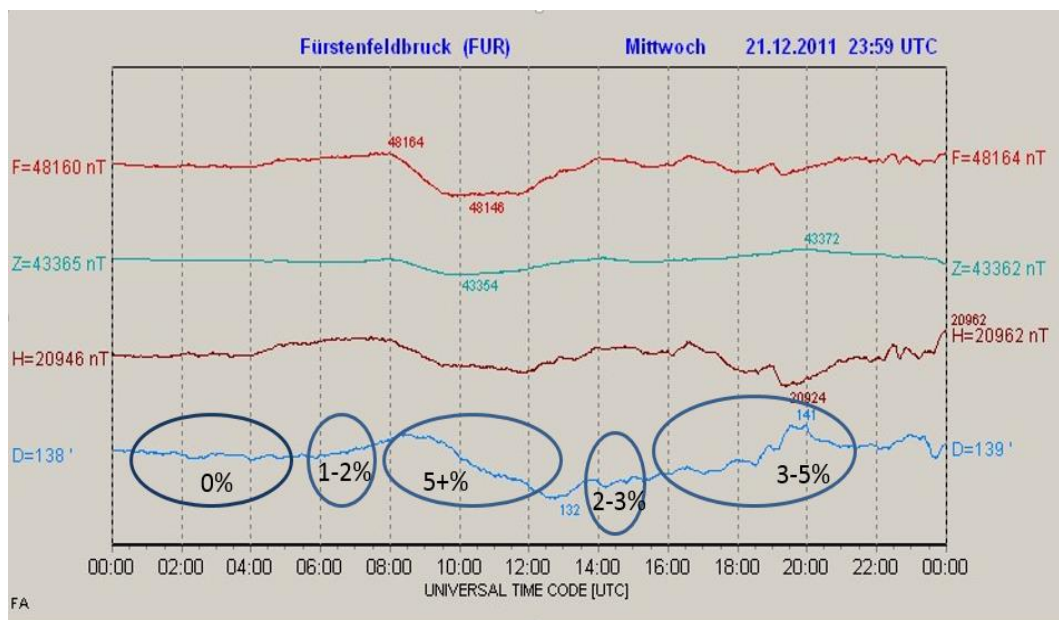
Obrázek 6: Příklad kruhového diagramu.

Na obrázku číslo 6 je příklad kruhového diagramu. Tečky uvnitř vnější kružnice znázorňují jednotlivé průměry směrů těl os kaprů ve změřených kádích. Šipky znázorňují výsledný vektor, který vykazuje statisticky významnou orientaci, ovšem pouze v případě, že překračují vnitřní kružnici. Vnitřní kruh vykazuje hladinu 5% významnosti Rayleighova testu.

Tato získaná data byla dále podle vzoru výzkumu Harta et al. (2013b) porovnána s geomagnetickými podmínkami vládoucími během testování. Korelační hodnoty intenzity zemského magnetického pole a směr pro všechny jednotlivé časy byly získány z nahrávek geomagnetické laboratoře Furstenfeldbruck (Mnichov, Německo), dostupné z <http://www.geophysik.uni-muenchen.de/observatory/geomagnetism>.

Pracovalo se s deklinací Zemského magnetického pole a ke každému měření se přiřazoval aktuální stav deklinace, který charakterizoval stav magnetického počasí. Poté byly porovnávány směrové preference zkoumaných jedinců při výkyvech deklinace

magnetického pole Země, a vyhodnotilo se, zda tyto změny mají vliv na alignmentování kaprů.



Obrázek 7: Denní magnetogram z doby sledování.

Na obrázku 7 je denní magnetogram z doby sledování, získaný z Observatoře Furstenfeldbruck (Mnichov, Německo): F=celková intenzita, Z=vertikální intenzita, H= horizontální intenzita, D= deklinace Zemského magnetického pole. Vyznačené čáry v grafu odpovídají stupnici hodnocení stavu magnetického pole.

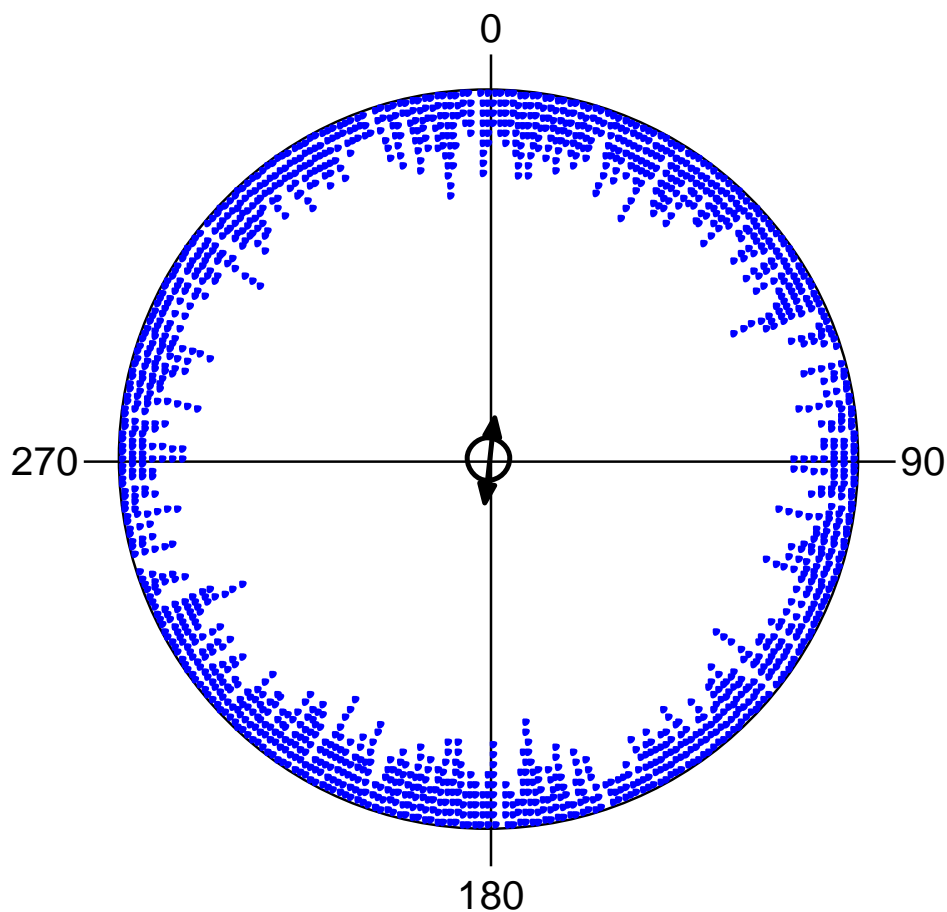
5. Výsledky

Data získaná z vyhodnocení každé kádě, byla dále vyhodnocena v programu Oriana 4.0. Každá kád' byla brána jako samostatná jednotka a bylo uvažováno, že všechny ryby v každé kádi směřovaly převážně jedním směrem. Jednotné postavení jedinců ve skupině předpokládali i autoři Begall et al. (2008), kteří vyhodnocovali pastvící se skot. Metodika vyhodnocení této práce se stala vzorem pro prvotní vyhodnocení dat kaprů v kádích. Ryby změřené v každé kádi tedy byly vyhodnoceny agulárně (úhlově) a byl tak získán soubor 808 úhlů odpovídající každé změřené kádi. Následně byl soubor úhlových dat vyhodnocen axiálně (osově). Důvodem pro osové vyhodnocení byla skutečnost, že data vykazovala bimodální rozdělení, na které nebylo možné úhlové vyhodnocení použít. Ryby v každé kádi tedy vyrovnaly svá těla převážně vždy jedním směrem, ale v průměru za všechny kádě se jednalo o převládající osu sever-jih.

Následně byla data roztříděna a vyhodnocena dle magnetického počasí a ukázalo se, že relativní změna deklinace je nejlepším ukazatelem pro sledování ovlivnění magnetického alignmentu. Když byly porovnány situace, kdy byl magnetický klid, tak se ryby alignmentovaly, ale v případě magnetického neklidu se ryby nealignmentovaly. Rozdělení intenzity magnetického neklidu bylo provedeno matematicky, tedy procentuální změnou křivky na magnetogramu.

5.1. Výsledky bez rozdělení dle magnetického počasí

Výsledky ukázaly, že se kapři alignmentují a že vliv změn v magnetickém poli Země není patrný, respektive, že jej kapři nevnímají. Vyhodnoceno bylo 808 kádí a průměrný vektor je $7,92^\circ/187,92^\circ$



Obrázek 8: Znázornění průměrné orientace všech vyhodnocených kádí

Na obrázku číslo 8. je znázorněna průměrné orientace všech vyhodnocených kádí, bez ohledu na stav magnetického pole. Ryby, respektive průměrné vektory ryb v jednotlivých kádích, vykazují zarovnání v severo-jížní ose.

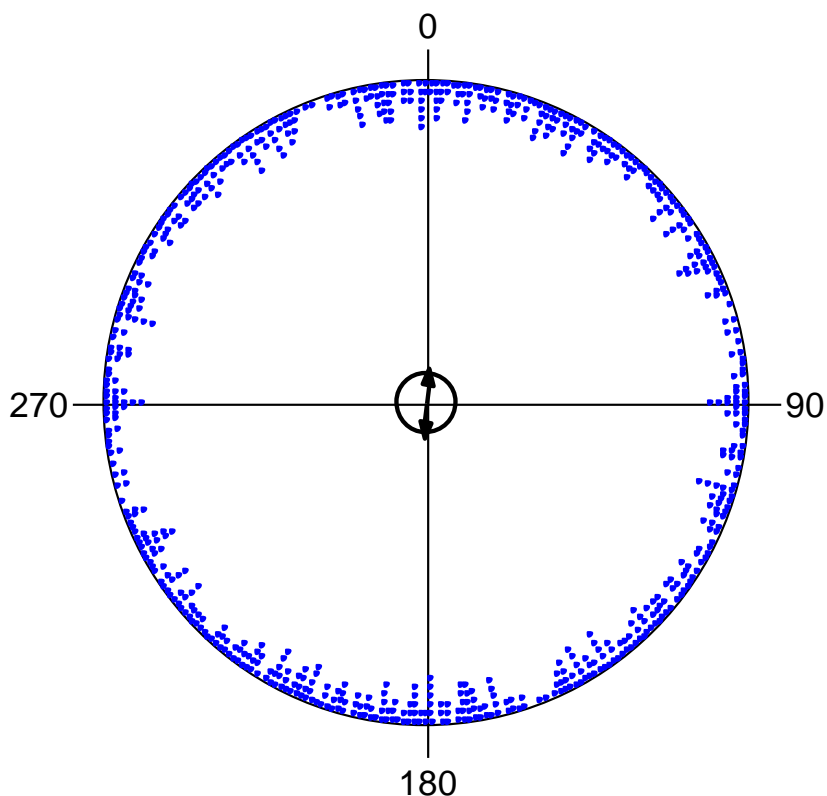
Tabulka 1: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci všech vyhodnocených kádí.

Data Type	Axial
Number of Observations	808
Mean Vector (μ)	7,92°
Length of Mean Vector (r)	0,113
Concentration	0,228
Circular Variance	0,443
Circular Standard Deviation	59,79°
Rayleigh Test (Z)	10,368
Rayleigh Test (p)	3,14E-05
Rao's Spacing Test (U)	128,141
Rao's Spacing Test (p)	0.95 > p > 0.90

5.2. Výsledky rozdělené dle stavu magnetického počasí

5.2.1. Magnetický klid – změna 0-1%

Při vyhodnocení se ukázalo, že magnetickým klidem může být brána i situace s nízkou aktivitou. Výsledky ukázaly, že se kapři změřeni v době magnetického klidu alignmentují v severojižní ose. Pro vyhodnocení bylo použito 357 kádí a výsledný průměrný vektor je 2,9°/182,9°.



Obrázek 9 : Znázorňuje preferenci průměrů vyhodnocených kádí

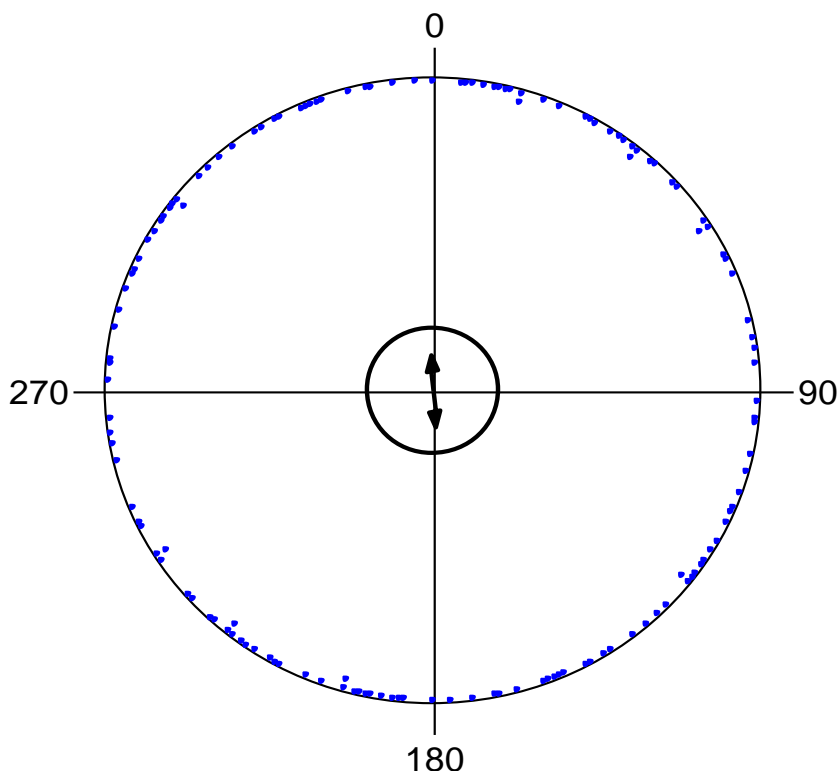
Obrázek číslo 9 znázorňuje preferenci průměrů vyhodnocených kádí. V době, kdy bylo magnetické pole klidné nebo maximálně se změnou do 1% ryby vykazovaly zarovnání průměrů os svých těl do severo-j jižní osy.

Tabulka 2: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém klidu.

Data Type	Axial
Number of Observations	357
Mean Vector (μ)	2,922°
Length of Mean Vector (r)	0,106
Concentration	0,212
Circular Variance	0,447
Circular Standard Deviation	60,749°
Rayleigh Test (Z)	3,979
Rayleigh Test (p)	0,019
Rao's Spacing Test (U)	124,7
Rao's Spacing Test (p)	0.95 > p > 0.90

5.2.2. Magnetický neklid – změna 1-2%

Výsledky měření za magnetického neklidu, v rozpětí změny 1-2%, ukázaly, že se změřené kapří, respektive vyhodnocené průměry změřených kádí, nepřiblížily statistické signifikanci a výsledek je tedy preference jednoho společného směru, nebo osy. Pro vyhodnocení bylo použito 71 kádí.



Obrázek 10: Preference při změně magnetické aktivity v rozpětí 1-2%

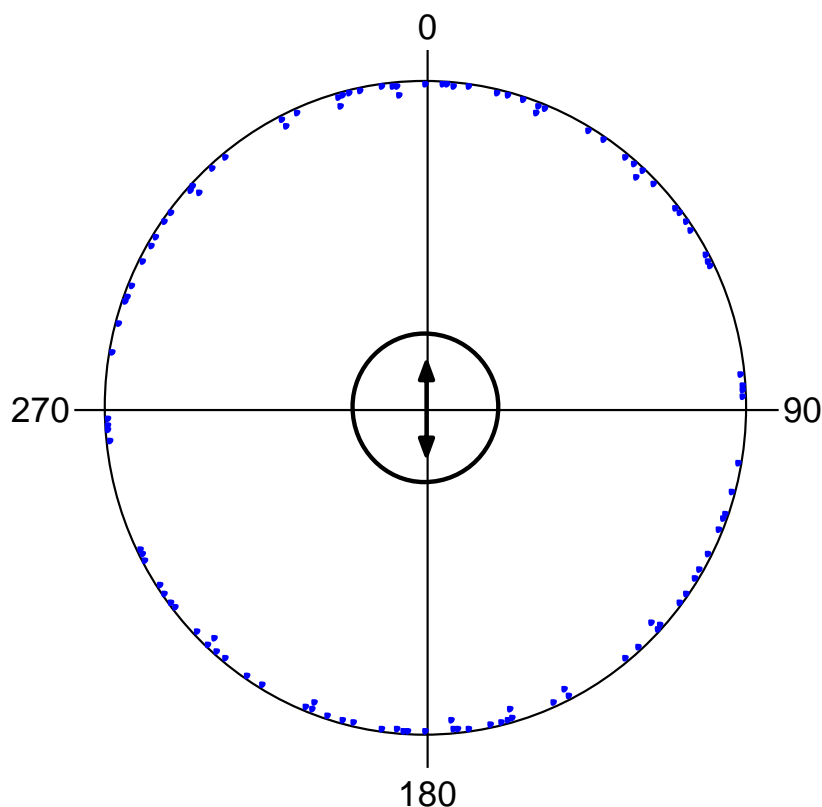
Na obrázku číslo 10 je znázorněn stav, kdy průměry vyhodnocených kádí nevykazují žádnou statistickou signifikanci. Kádě, změřené v době magnetické aktivity vyjádřené změnou v rozpětí 1-2%, nevykazovaly žádnou směrovou preferenci.

Tabulka 3: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 1-2%.

Data Type	Axial
Number of Observations	71
Mean Vector (μ)	177,725°
Length of Mean Vector (r)	0,113
Concentration	0,228
Circular Variance	0,443
Circular Standard Deviation	59,795°
Rayleigh Test (Z)	0,91
Rayleigh Test (p)	0,402
Rao's Spacing Test (U)	104,037
Rao's Spacing Test (p)	> 0.99

5.2.3. Magnetický neklid – změna 2-3%

Výsledky měření za magnetického neklidu, v rozpětí změny 2-3%, ukázaly, že se změřené kapří, respektive vyhodnocené průměry změřených kádí, nepřiblížily statistické signifikanci a výsledek je tedy bez preference jednoho společného směru, nebo osy. Pro vyhodnocení bylo použito 56 kádí.



Obrázek 11: Preference při změně magnetické aktivity v rozpětí 2-3%

Na obrázku č. 11 graf znázorňuje stav, kdy průměry vyhodnocených kádí nevykazují žádnou statistickou signifikanci. Kádě, změřené v době magnetické aktivity vyjádřené změnou v rozpětí 2-3%, nevykazovaly žádnou směrovou preferenci.

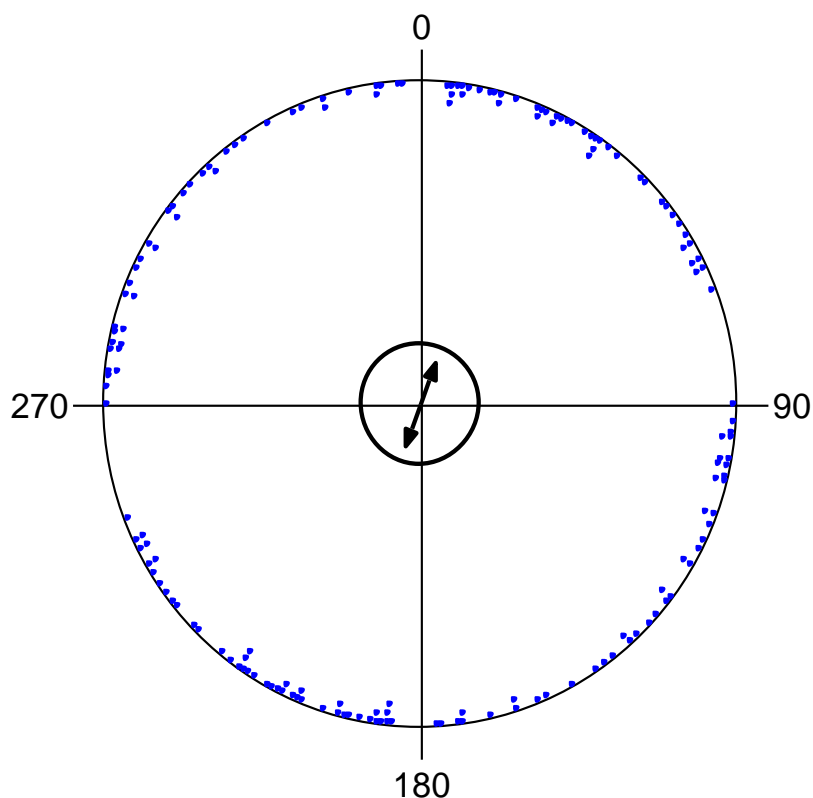
Tabulka 4: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 2-3%.

Data Type	Axial
Number of Observations	56
Mean Vector (μ)	0,25°
Length of Mean Vector (r)	0,142
Concentration	0,288
Circular Variance	0,492
Circular Standard Deviation	56,558°
Rayleigh Test (Z)	1,137
Rayleigh Test (p)	0,321
Rao's Spacing Test (U)	125,306
Rao's Spacing Test (p)	0.90 > p > 0.50

T

5.2.4. Magnetický neklid – změna 3-5%

Výsledky měření za magnetického neklidu, v rozpětí změny 3-5%, ukázaly, že se změřených kapří, respektive vyhodnocené průměry změřených kádí, nepřiblížily statistické signifikanci a výsledek je tedy bez preference jednoho společného směru, nebo osy. Pro vyhodnocení bylo použito 56 kádí.



Obrázek 12: Preference při změně magnetické aktivity v rozpětí 3-5%

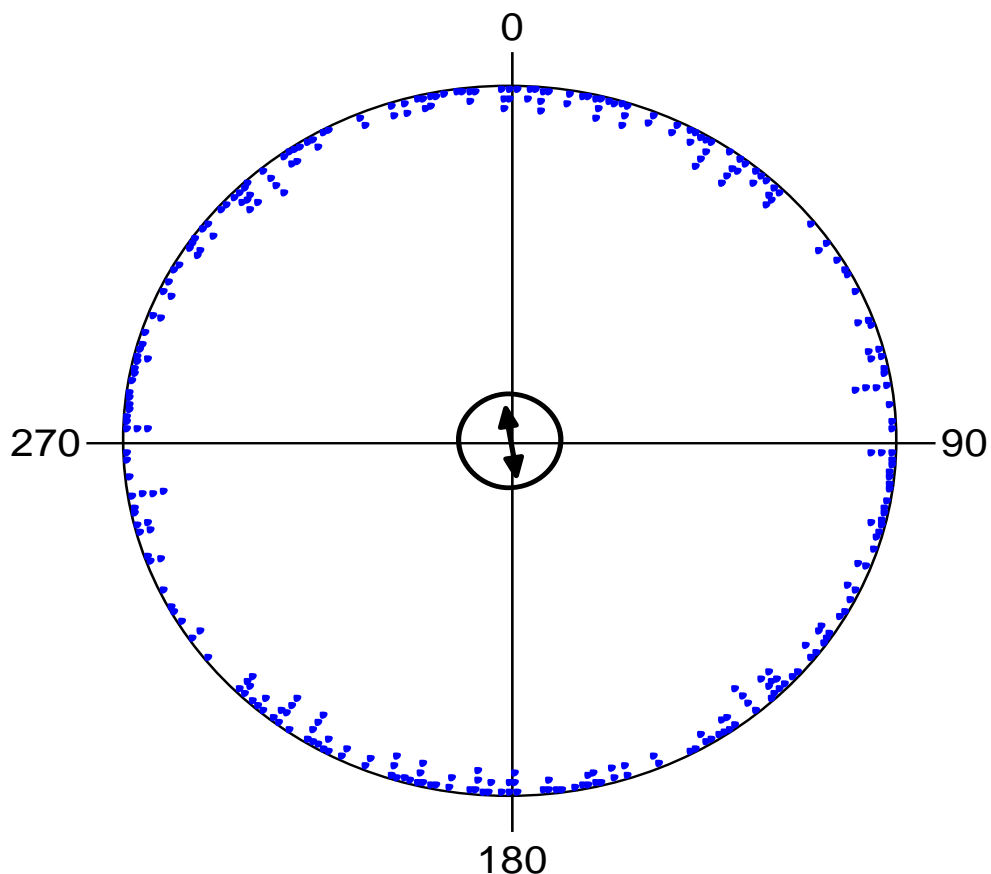
Na obrázku číslo 12 graf znázorňuje stav, kdy průměry vyhodnocených kádí nevykazují žádnou statistickou signifikanci. Kádě, změřené v době magnetické aktivity vyjádřené změnou v rozpětí 3-5%, nevykazovaly žádnou směrovou preferenci.

Tabulka 5: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 3-5%.

Data Type	Axial
Number of Observations	86
Mean Vector (μ)	19,207°
Length of Mean Vector (r)	0,136
Concentration	0,274
Circular Variance	0,432
Circular Standard Deviation	57,274°
Rayleigh Test (Z)	1,58
Rayleigh Test (p)	0,206
Rao's Spacing Test (U)	140,278
Rao's Spacing Test (p)	0.50 > p > 0.10

5.2.5. Magnetický neklid – změna 5+%

Výsledky měření za magnetického neklidu, v rozpětí změny 5+%, ukázaly, že se změřené kápě, respektive vyhodnocené průměry změřených kádí neměly žádnou směrovou preferenci.



Obrázek 13: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 5+%.

Na obrázku číslo 13 je znázorněn stav, kdy průměry vyhodnocených kádí nevykazují žádnou statistickou signifikanci. Kádě, změřené v době magnetické aktivity vyjádřené změnou v rozpětí 5+%, nevykazovaly žádnou směrovou preferenci.

Tabulka 6: Výsledky základní statistiky pro průměrnou orientaci kádí změřených při magnetickém neklidu vyjádřeném změnou v rozpětí 5+%.

Data Type	Axial
Number of Observations	156
Mean Vector (μ)	174,774°
Length of Mean Vector (r)	0,096
Concentration	0,192
Circular Variance	0,452
Circular Standard Deviation	62,064°
Rayleigh Test (Z)	1,428
Rayleigh Test (p)	0,24
Rao's Spacing Test (U)	136,779
Rao's Spacing Test (p)	0.50 > p > 0.10

6. Diskuze

Bakalářská práce je zaměřená na zjištění změn magnetického pole na kapra obecného. Je důležité v této souvislosti zmínit, že rybníkářství a chov kapra obecného vytváří důležité hospodářské výnosy a proto je nutné tuto oblast a další výzkumy, které se jí týkají chápat jako důležitou součást celého komplexu lesního hospodářství.

Popsaný výzkum, měl za úkol zjistit, zda kapr obecný reaguje nějakým způsobem na změny magnetického pole. V této oblasti se již několik výzkumů zabývalo pozičním chováním živočichů, které je jedním z projevů magnetorecepce. U mnoha živočichů bylo také poziční chování na základě magnetorecepce prokázáno. Výsledky prokazující směrové preference byly potvrzeny například u pasoucího se a odpočívajícího jelena obecného (*Cervus elaphus*) a srnce obecného (*Capreolus capreolus*) (Begall et al. 2008), lišek (*Vulpes vulpes*), které lovily hlodavce myškováním ve vysoké vegetaci nebo hlubokém sněhu. (Červený et al. 2011), skotu domácího (*Bos primigenius f. taurus*), (Burda et al. 2009), u vodního ptactva přistávajícího na hladině a při defekaci a urinaci psů (Hart et al. 2013b) a v neposlední řadě u kaprů obecných (*Cyprinus carpio*) (Hart et al. 2012).

V uvedených výzkumech se prokázalo poziční chování na základě magnetorecepce. Ve zmíněném výzkumu o defekaci a urinaci psů se tým doktora Harta zaměřil na situace, kdy nedocházelo k alignmentu a autoři si tak nebyli jistí, co stojí za těmito výsledky a poté se rozhodli, že naměřená data porovnájí s magnetickou situací změřenou a zaznamenanou na magnetogramech a zjistili, že při větších výkyvech v magnetickém poli Země označované jako magnetické bouře, psi nevykazovali schopnost magnetického alignmentu. Dalším důkazem o vlivu změn magnetického pole na živočichy byl výzkum Vanselow, Ricklefs 2005, kteří zkoumali vliv magnetických bouří na vyvrhnutí Vorvaňů na pobřeží Severního moře, kdy zjistili, že okolo 90% vyvrhnutí nastalo, když nastal magnetický neklid. Dalším příkladem může být výzkum Burdy et al. (2009), kteří zaznamenali,

že docházelo k narušení pozičního chování zvířat v blízkosti elektrického vedení vysokého napětí. Zvířata při pastvě přímo pod vedením nebo ve vzdálenosti do 150 m od vedení, vykazovala náhodné směřování osy těla. Skot ležící pod vedením v ose západ-východ alignmentoval svá těla podél osy tohoto vedení a skot ležící pod vedením v ose sever-jih se také alignmentovali ve směru vedení drátů, což indikuje možnou spojitost mezi magnetickým polem Země a magnetickým polem generovaným elektrickým proudem.

Tian et al. (2014) se pokusili zjistit, zda také netopýři reagují na změny magnetického pole Země při jejich chování. Výzkum probíhal v uměle vytvořeném magnetickém poli, výsledkem práce bylo zjištění, že netopýři jsou schopni reagovat na změny magnetického pole Země a reagují i na změny pole slabšího, než je to skutečné.

Výsledky výzkumů o reakcích zvířat na změny magnetického pole vysvětlují, proč v některých momentech nedochází k zarovnání os těl zvířat. Změny parametrů magnetického pole Země se zdají být nejlepším vysvětlením těchto situací. Je to přímé podložení a prokázání, že zvířata vnímají magnetické pole Země a z něj získané informace využívají pro vlastní prospěch.

O významu pozičního chování lze zatím pouze spekulovat, ale udržení určitého směru by mělo zvířatům poskytnout důležitou informaci pro prostorovou orientaci a pomoci při synchronizaci směru jejich pohybu, jak uvádí Begall et al. (2008), u lišek ke zvýšení efektivity lovu drobných hlodavců (Červený et al. 2011). Mimo jiné může být poziční chování pozůstatkem evoluce, kdy předci zvířat migrovaly na dlouhé vzdálenosti (Begall et al. 2013).

Hart et al. (2012) zjistil, že kapři zarovnávají svá těla v severo-jížní ose, ale už dále nerozebírali, zda by na zarovnání os těl mohly mít vliv změny magnetického pole, jak potvrdilo několik jiných výzkumů. Výsledky této studie sice prokázaly, že kapři zarovnávali osy svých těl v severojižní ose, ale při rozdělení dat dle konkrétní magnetické situace se ukázalo na

zajímavý jev. Na výsledcích bakalářské práce lze vidět, že ve chvílích měření, kdy bylo magnetické pole klidné (obrázek č. 9) tak se kapři alignmentovali s severo-jihní preferencí, ovšem v době kdy magnetické pole bylo narušeno aktivitou slunce, tak tato preference vymizela (obrázky č. 10-13). Což ukazuje, že fluktuace magnetického pole Země má evidentní vliv na poziční chování kapra obecného. Tímto výsledkem se potvrdila reakce ryb na změny magnetického pole Země. Hart et al. (2013b) uvádí, že výkyvy v magnetickém poli Země mají vliv na poziční chování zvířat, a demonstrovali to na změnách v pozičním chování psů. Dospěli ke stejnému závěru, jako vyhodnocení bakalářské práce.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda kapr obecný vnímá změny v magnetickém poli Země. Již mnoho výzkumů se zabývalo pozičním chováním různých druhů živočichů, které potvrdily hypotézy o reakci živočichů na magnetické pole a jejich schopnost magnetorecepce. Méně výzkumů se však zabývalo zjištěním, zdali zvířata vnímají změny v magnetickém poli Země a jaká na ně mají tyto změny vliv. Výsledky bakalářské práce potvrdily, že kapr obecný reaguje na změny v magnetickém poli Země. Tento výsledek podložil hypotézu, že kapři vnímají magnetické pole Země a z nějakého důvodu jsou rušeni ve chvílích magnetického neklidu a v těchto chvílích svůj magnetický kompas vypínají, nebo nejsou schopni jej používat.

Práce autorů Vanselow a Ricklefs (2005) dokládá, že vliv magnetického počasí může hrát zásadní roli v životě živočichů žijících ve vodním prostředí a vypnutí vlastního kompasu řízeného magnetickým polem Země může mít až fatální důsledky. Proto je zapotřebí se podrobně zabývat otázkou role magnetorecepce v běžném životě nejenom u živočichů, kteří jsou pro člověka zajímaví z pohledu ekonomiky.

Tato práce bude významným přínosem pro další studium, zaměřené na pochopení významu magnetorecepce u kapra obecného, ryb a ostatních živočišných druhů. Význam magnetorecepce může mít dalekosáhlý vliv, ovšem stále musíme pracovat na dílčích výzkumných cílech a úkolech, abychom dosáhli komplexního porozumění tohoto fenoménu dnešní doby, a zároveň jsme byli schopni tyto poznatky využívat v praxi a v budoucnu z nich profitovat.

Kapr obecný je pevnou součástí českého rybníkářství a jeho ekonomická funkce má vliv na hospodaření několika lesních podniků, kde rybníkářství a produkce ryb je hlavní složkou přidružené lesní výroby. Komplexní porozumění životním potřebám kapra obecného by nám mělo pomoci při snaze o využití jeho maximálního produkčního potenciálu.

8. Seznam použité literatury

ADÁMEK, Zdeněk et al. *Rybářství a rybolov*. Vydání třetí. Praha: Český rybářský svaz, 2015. 384 stran. ISBN 978-80-905280-4-8.

BEGALL, S. ; ČERVENÝ, J; NEEF, J; VOJTĚCH, O; BURDA, H. Magnetic Alignment in Grazing and Resting Cattle and Deer. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. 2008, roč. 105, č. 36, s. 13451-13455.

BEGALL, S.; MALKEMPER, E. P.; ČERVENÝ, J.; NĚMEC, P.; BURDA, H. Magnetic Alignment in Mammals and Other Animals. *Mammal. Biology*. 2013, roč. 78, č. 1, s. 10-20.

BOCHNÍČEK, J.; HEJDA, P. Magnetické pole Země a kosmické počasí. *Geofyzikální ústav Akademie věd ČR* [online]. [cit. 2013-10-18]. Dostupný z WWW: <
http://www.ig.cas.cz/userdata/files/popular/Magneticke_pole.pdf>.

BRÁZDIL, Rudolf et al. *Úvod do studia planety Země*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988. 365 s.

BURDA, H. *Smyslová ekologie obratlovců*. Přednášky pro studenty Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze. [V Praze: ČZU], 2015.

BURDA, H.; BEGALL, S. ČERVENÝ J.; NEEF, J.; NĚMEC, P. Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009, 106(14). 5708-5713. doi:10.1098/pnas.0811194106.

BURSELL, Jens. *Lov kapitálních ryb*. Překlad Zlatko Hála. 1. vyd. Nové Město nad Metují: Agentura Fox, 2001. 227 s. ISBN 80-86248-13-5.

COUZIN, I.D.; KRAUSE, J.; FRANKS, N.R. et al. Effective leadership and decision-making in animal groups on the move. *Nature*. 2005, Vol. 433, Issue 7025, Pages 513-516.

ČERVENÝ, J.; BEGALL, S.; KOUBEK, P.; NOVÁKOVÁ, P.; BURDA, H. Directional Preference May Enhance Hunting Accuracy in Foraging Foxes. *Biology Letters*. 2011, roč. 7, č. 3, s. 355-357.

ČIHAŘ, Jiří. *O rybách a rybaření*. 1. vyd. Praha: Práce, 1983. 250 s.

ČÍTEK, Jindřich, KRUPAUER, Vladimír a KUBŮ, František. *Rybníkářství*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993. 281 s. ISBN 80-85427-41-9.

FORMICKI, K.; SADOWSKI, M.; TANSKI, A.; KORZELECKA-ORKISZ, A.; WINNICKI, A. Behaviour of Trout (*Salmo trutta* L.) Larvae and Fry in a Constant Magnetic Field. *Journal of Applied Ichthyology*. 2004, roč. 20, č. 4, s. 290–294.

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

HANEL, Lubomír a LUSK, Stanislav. *Ryby a mihule České republiky: rošíření a ochrana = Fishes and lampreys of the Czech Republic: distribution and conservation*. Vyd. 1. Vlašim: Český svaz ochránců přírody Vlašim, 2005. 447 s. ISBN 80-86327-49-3.

HART, V.; KUŠTA, T.; NĚMEC, P.; BLÁHOVÁ, V.; JEŽEK, M.; NOVÁKOVÁ, P.; BEGALL, S.; ČERVENÝ, J.; HANZAL, V.; MALKEMPER, E.P.; ŠTÍPEK, K.; VOLE, C.; BURDA, H. Magnetic Aligment in Caprs: Evidence from the Czech Christmas Fish Market. *Plos One*. 2012, roč. 7, č. 12, s. 1-7.

HART, V.; MALKEMPER, E. P.; KUŠTA, T.; BEGALL, S.; NOVÁKOVÁ, P.; HANZAL, V.; PLESKAČ, L.; JEŽEK, M.; POLICHT, R.; HUSINEC, V.; ČERVENÝ, J.; BURDA, H. Directional Compass Preference for landing in Water Birds. *Frontiers in Zoology*. 2013, roč. 10, č. 1, s. 1-10.

HART, V.; NOVÁKOVÁ, P.; MALKEMPER, E. P.; BEGALL, S.; HANZAL, V.; JEŽEK, M.; KUŠTA, T.; NĚMCOVÁ, V.; ADÁMKOVÁ, J.; BENEDIKTOVÁ, K.; ČERVENÝ, J.; BURDA, H. Dogs are Sensitive to Small Variations of the Earth's Magnetic Field. *Frontiers in Zoology*. 2013, roč. 10, č. 80.

HOFMANN, M.H. Physiology of ampullary electrosensory systems. In *Encyclopedia of Fish Physiology from Genome to Environment*. San Diego : Acad. Press, 2011, pp. 359–365.

HOLÁ, M. *Interakce architektury a geomagnetického pole*. Disertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. 157 s.

HOLLAND, R. A.; THORUP, K.; VONHOF, M. J.; COCHRAN, W. W.; WIKELSKI, M. Bat Orientation Using Earth's Magnetic Field. *Nature*. 2006, roč. 444, č. 7, s. 702.

JOHNSEN, S.; LOHMANN, K. Magnetoreception in Animals. *Physics Today*. 2008, roč. 29, č. 3, s. 29–35.

JOHNSEN, S.; LOHMANN, K. The Physics and Neurobiology of Magnetoreception. *Nature Reviews Neuroscience*. 2005, roč. 6, s. 703–712.

KOSTOMAROV, Boris. *Rybářství: Učební příručka pro zootechnické fak. vys. škol zemědělských*. 1. vyd. Praha: SZN, 1958. 353, [3] s.

Kowach Computing Services – Oriana [online]. United Kingdom : Kowach Computing Services, 1993 [cit. 20.3.2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.kovcomp.co.uk/oriana/oribroc.html>>.

Kowach Computing Services – Oriana [online]. United Kingdom : Kowach Computing Services, 2016 [cit. 5.4.2016]. Dostupné z WWW: journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0123205

KRYLOV, V.V.; OSIPOVA E. A.; IZYUMOV Y.U. G. Orientational Behavior of Animals with the Geomagnetic Field and Mechanisms of Magnetoreception. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015, Vol. 51, No. 7, pp. 752–765. ISSN 0001_4338.

LOHMANN, K. J; LOHMANN, C. M. F. PUTMAN, N. Magnetic Maps in Animals: Nature's GPS. *The Journal of Experimental Biology*. 2007, roč. 210, s. 3697-3705.

NĚMEC, Pavel a Martin VÁCHA. Mechanizmy magnetorecepce. *Vesmír*. 2007, roč. 86, č. 5, s. 284 -289. ISSN 1214 -4029.

OLMER, J.; PINTÉR, Š. Sluneční vítr. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 1975, roč. 20, č. 2, s. 84–90.

QUINN, T. P.; MERRILL, R. T.; BRANNON, E. L. Magnetic Field Detection in Sockeye Salmon. *Journal of Experimental Zoology*. 1981, roč. 217, č. 1, s. 137–142.

Rybářství Třeboň [online]. Třeboň: Rybářství Třeboň, 2010 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.trebon.rybarstvi.cz/>

STANĚK, S. Welfare obecně. *Zootecnika.cz* [online]. 2009 [5. 4. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.zootecnika.cz/clanky/zaklady-chovatelstvi/obecna-zootecnika/welfare/welfare-obecne-.html>

Středisko rybářství a myslivosti ČZU v Praze, Školní lesní podnik v Kostelci nad Černými lesy. Roční výnosy ryb za rok 2015. Zpracoval Bukáček, J.

TAKEBE, A.; FURUTANI, T.; WADA, T.; KOINUMA, M.; KUBO, Y.; OKANO, K.; OKANO, T. Zebrafish Respond to the Geomagnetic Field by Bimodal and Group-Dependent Orientation. *Scientific Reports*. 2012, roč. 2, s. 727.

TAKEZAWA, H.; ICHIMURA, Y.; YOKOTE, N.; MOHRI, N. Change in Surface Magnetic Flux Density in EDM of Permanent Magnets-Influence of

Internal Temperature and Shape on Machined Magnets : proceedings of the seventeenth cirp conference on electro physical and chemical machining(ISEM).*ScienceDirect* [online]. 2013, vol. 6, pp. 112-116 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z WWW:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113001224>

TSOAR, A.; NATHANA, R.; BARTAN, Y.; VYSSOTSKI, A.; DELL'OMO, G.; ULANOVSKY, N. Large-scale navigational map in a mammal. *Current Issue* [online].2011, vol. 108, no. 37, s. 718-724.

VÁCHA, Martin ; NĚMEC P. Kompas a mapa. Orientace v geomagnetickém poli. *Vesmír*. 2007, roč. 86, č. 4, s. 224 -228. ISSN 1214-4029.

VANSELOW, K.H.; RICKLEFTS, K. Are solar activity and sperm whale *Physeter macrocephalus* strandings around the North Sea related? *Journal of Sea Research*. 2005, Vol. 53, Issue 4, s. 319-327.

Výroční zpráva za rok 2014: Městské hospodářství Vodňany. In: Městské hospodářství Vodňany [online]. Vodňany: Městské hospodářství Vodňany, 2014 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z:
https://www.email.cz/download/k/wYN58pUE4y4uXDnKa7DHFH6gYDASriDWMtRDtPBZ83tzDBvm0eSYoBMmIWifMiF0Gj6tgIY/vyrocní_zprava_za_rok_2014__final%20ryby.pdf

WILTSCHKO, R.; DENZAU, S.; GEHRING, D.; THALAU, P.; WILTSCHKO, W. Magnetic Orientation of Migratory Robins, *Erithacus rubecula*, under Long-Eavelength Light. *Journal of Experimental Biology*. 2011, roč. 214, s. 3096–3101.

WILTSCHKO, R; WILTSCHKO, W. *Magnetic Orientation in Animals*. Berlin: Springer, 1995. 297 s.

WILTSCHKO, R; WILTSCHKO, W. Magnetic Orientation and Magnetoreception in Birds and Animals. *Journal of Comparative Physiology A*. 2005, roč. 191, s. 675-693.

WILTSCHKO, R; WILTSCHKO, W. Magnetoreception. *BioEssays*. 2006, roč. 28, č. 2, s. 157-168.