

Česká zemědělská univerzita v Praze
Lesnická a dřevařská fakulta
Katedra myslivosti



Magnetická orientace jelena lesního (*Cervus elaphus*) a jeho škody na lesních porostech v Lužických horách

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kušta, Ph.D.

Vypracovala: Martin Formánek

©2013 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "**Magnetická orientace jelena lesního (*Cervus elaphus*) a jeho škody na lesních porostech v Lužických horách**" jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kušty PhD., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu zdrojů. Jsem si vědom že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne

Podpis autora

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své bakalářské práce **Ing. Tomášovi Kuštovi, Ph.D.** za rady a odbornou pomoc při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Janu Ježilovi za pomoc při shromažďování vyhodnocovaných dat.

Abstrakt

Tato práce se zabývá monitorováním magnetické orientace jelena lesního a měřením škod, které způsobuje v oblasti Lužických hor. Je zde stručně popsána zoologie, způsob života jelena lesního a způsob, jakým poškozuje stromy. Dále se tato práce zabývá popisem magnetického pole Země a možnými mechanismy jeho vnímání. V praktické části pak práce popisuje měření okusů a jejich směrové vyhodnocení.

Ačkoli výsledky měření ukázaly mírnou preferenci jihovýchodního směru, statisticky byl rozdíl oproti ostatním směrům nevýznamný. Lze tedy říci, že jelení zvěř se v Lužických horách orientuje spíše s ohledem na geografické a povětrnostní podmínky.

Klíčová slova: Jelen lesní, magnetická orientace, škody, Lužické hory

Abstrakt

This work deals with monitoring the magnetic orientation of red deer and measuring the damage it causes in the Luzicke Mountains. There is shortly described zoology, lifestyle of red deer and the way they damages the trees. Furthermore, this work describes the magnetic field of the earth and its possible mechanisms of perception. In the practical part of the work describes the measurement of the tastes and their directional evaluation.

Although the results of measurements showed a slight preference for southeast direction, statistically the difference was not significant compared to the other directions. We can say that deers in the Luzicke mountains oriented rather in terms of geographic and weather conditions.

Keywords: Red Deer, magnetic orientation, damages, Luzicke Mountains

Obsah

1 Úvod	7
2 Literární rešerše	8
2.1 Jelen evropský	8
2.1.1 Zoologie	8
2.1.2 Způsob života	9
2.1.3 Loupání a ohryz	10
2.2 Magnetické pole	12
2.2.1 Inklinační kompas	14
2.2.2 Polaritní kompas	15
2.2.3 Poziční chování	15
2.3 Magnetorecepce	16
2.3.1 Elektromagnetická indukce	17
2.3.2 Magnetitová hypotéza	20
2.3.3 Chemická magnetorecepce	22
2.3.4 Magnetická orientace u savců	25
4 Výsledky	29
5 Závěr	32
6 Seznam Literatury	33
7 Seznam obrázků	35
8 Seznam příloh	36

1. ÚVOD

Nad orientačními schopnostmi živočichů zůstáváme stát v němém úžasu. Nejružnější tvorové se vydávají třeba na druhou stranu zeměkoule bez map, bez jakýchkoli ukazatelů směru a po mnoha měsících se vracejí zpět na původní místo. Moderní metody sledování pomocí satelitů přinášejí nové důkazy o tom, že zvířata celou cestu vědí, kde se nachází, i když je od cíle dělí tisíce kilometrů. Jak je to možné? V poslední době roste počet důkazů, že kromě klasických vodítek, jaká poskytují zrak, čich, sluch a chuť, se zvířata orientují i pomocí smyslu pro geomagnetické pole, který byl nám lidem odepřen (Vácha a Němec, 2007)

Cílem mé bakalářské práce je prozkoumat vlivy magnetismu na jelení zvěř. Protože nechci, aby moje bakalářská práce byla jen obsáhlá rešerše, bude její součástí i měření směru zálehu zvěře na sněhu, a dále měření škod způsobovaných zvěří na lesních porostech Lužických hor tzv.: loupáním.

Hlavními podmínky pro zvolení tohoto tématu byla jeho zajímavost, moje osobní láska přírodě, přesvědčení, že má práce může být užitečná, a fakt, že půjde mimo jiné o práci v terénu.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Jelen lesní

2.1.1 Zoologie

Jelen lesní (evropský) (*Cervus elaphus*) se jako původní druh vyskytuje v Evropě, v Asii a v Severní Americe, vysazen byl též v Austrálii, na Novém Zélandu a v Jižní Americe. Popisuje se 12, popř. i 13 poddruhů (Jiřík a kol., 1980). Ve střední Evropě se stýkají areály dvou poddruhů – jelena západního (*Cervus elaphus hippelathus*) a jelena karpatského (*Cervus elaphus montanus*) (Kolda a kol., 2004).

Jeleni dosahují délky těla 205 – 230 cm, výšky v kohoutku až 150cm, délky ocasu 12 – 15cm a hmotnosti (po vyvržení) 100 – 250 kg (Jiřík a kol., 1980). Laně dosahují poloviční váhy. Jelen je největším zástupcem naší užitkové zvěře a vyznačuje se podstatnou odlišností obou pohlaví (dimorfismem). Jelena lze od laně rozeznat nejen podle postavy, mohutnosti a celého zjevu, ale po většinu roku též podle paroží, které lani chybí (Mikula, 1957).

Paroží se začíná jelínkovi vyvíjet už v šestém měsíci a jeho vývoj trvá asi 120 až 170 dnů. Podle typu paroží rozlišujeme jeleny bezkorunné, kteří mají lodyhy zakončeny špicemi či vidlicemi, a jeleny jednostranně či oboustranně korunové, s třemi výsadami na konci lodyhy, přičemž se do koruny započítává i vlčík (Kolda a kol., 2004).

Jelen paroží každoročně vyměňuje, t. j. staré shazuje a nasazuje, čili roní, nové (Mikula, 1957). Staré paroží jelenům odpadá od února do dubna (Jiřík a kol., 1980). Nově nasazované paroží je obaleno koží porostlou krátkou lesklou srstí, podobnou plyši, tzv. lýčím nebo mechem. Po vyžrání nového paroží začne vytloukat, tj. zbavuje paroží zaschlého mechovitého obalu tím, že je tře o stromky, při čemž mu často visí cáry lýčí až přes světla (oči). Čerstvě vystrouhané paroží má světlou barvu kosti, která teprve postupem času ztmaví (Mikula, 1957). Hmotnost paroží činí až 8kg, u karpatského jelena až 12kg (Jiřík a kol., 1980).

Jelení srst je v létě načervenalá a řidší, zimní je hustší a tmavošedá, místy až hnědá, a mění se z jara na podzim. V některých oblastech mívají jeleni, zvláště v zimě, mohutnou hřívu (Mikula, 1957). S přibývajícím věkem se celkový vzhled zvěře mění.

Postava se stává hranatější, krk silnější a hlava nabývá tvaru protáhlejšího klínu. Jeleni se dožívají věku 25 – 30 let, někdy i více (Bartoš, 1986).

Ze smyslů má jelen velmi dobře vyvinutý čich a sluch. Zrak je uzpůsoben tak, že zvěř rozeznává rozdíl mezi světlem a stínem, jakož i pohyb, kdežto věci nehybní nepoznává tak dobře. Citlivost na barvy je omezená a některé, hlavně červenou, vůbec nevnímá (Mikula, 1957).

Bouchner 1986 uvádí, že pokud jde o chrup a rozložení zubů v čelistech tak je v zadní části horní čelisti jelena šest stoliček a v přední části nejsou zuby vůbec žádné, řezáky zcela chybějí. Namísto nich se vytváří jen ztvrdlá ploška, která slouží k přidržování konzumované potravy. V dolní čelisti řezáky jsou a při sevření obou čelistí těsně přiléhají k tvrdé plošce horní čelisti. Řezáky mají velmi ostré okraje s dlátovitě utvářeným břitem a na své vnitřní straně jsou mírně vyduté. Nejmhutnější a nejširší jsou dva prostřední řezáky, které se také na okusování potravy podílejí největší měrou. Na každé straně dolní čelisti jsou tři řezáky a těsně k nim je přimknut jeden špičák; těchto osm zubů tvoří kousací aparát. V horní čelisti se špičáky objevuje jen u jelenů (u ostatních parohatých jen vzácně) a jsou umístěny asi v polovině vzdálenosti mezi špičkou čelisti a zadními zuby. Při zpracování potravy se však nikdy neuplatňují.

2.1.2 Způsob života

Životním prostředím jelena jsou rozsáhlé lesní oblasti od lužních lesů až po horská pásma (Jiřík a kol., 1980). Za normálních okolností žije jelen evropský během roku v societě stád měnícího se složení. Složení stáda jelenů je určováno sezonními vlivy, které způsobují každoroční cykly změn. Základní a hlavní vliv má rozmnožování (Bartoš, 1986).

Po většinu roku žijí jeleni odděleně podle pohlaví a biologické poslání každého pohlaví se odráží v odlišnostech sezonních změn. Samičí zvěř se sdružuje do tlup, jejichž základní jednotkou je rodina nebo případně několik rodin dohromady. V těchto tlupách vstupují laně do říje (Jiřík a kol., 1980). Během říje se složení postupně podstatně mění, ale po říji se laně se svými potomky obvykle vracejí do původních rodinných tlup. V těch přečkají zimu a jaro a ve většině z nich se chystá na svět další generace kolouchů (Bartoš, 1986). S blížícím se porodem laně odhánějí své potomstvo z předchozí sezony a izolují se také od ostatních matek. V období rození kolouchů se tedy tlupy prakticky rozpadají. Teprve když jsou noví kolouši staří několik týdnů nebo

měsíců, vracejí se s nimi jejich matky zpět do skupiny. Obvykle se k nim opět přidružují především dcery z minulých let, někdy i synové, zejména ti mladší (Mikula, 1957).

Samčí zvěř se sdružuje do mládeneckých tlup. V těch se jeleni drží víceméně po celou dobu mimo říji. Složení těch to tlup nebývá stále stejné a jejich členové mění svou příslušnost a přecházejí z jedné tlupy do druhé. Před příchodem říje se mládenecké tlupy rozpadají. Jednotlivý jelení se rozcházejí na všechny strany a vyhledávají i desítky kilometrů vzdálená říjiště. Po říje se jelení, zejména ti starší, vracejí do svých mládeneckých tlup z doby před říjí (Bartoš, 1986).

Dle Hanzala 2000 se spektrum potravy jelení zvěře mění podle ročního období. V zimním období bere především druhy obsahující hrubou vlákninu a celulózu, tedy letorosty dřevin, keřů a polokeřů a traviny. V létě spásá velké množství bylin a trav, protože potřebuje organismus zásobit stavebními látkami. V podzimním období zase intenzivně sbírá například žaludy a kaštiny jako zdroj energie pro podzimní období.

Pastevní periody má jelení zvěř rozděleny do přibližně pěti časových úseků během dne, přičemž ráno a večer přijímá pašu nejdéle. V letním období se pase častěji a v zimě přijímá naopak méně potravy, protože ji vzhledem k jejímu charakteru déle tráví (Hanzal, 2000).

2.1.3 Loupání a ohryz

Jako loupání se označuje poškození stromů, z nichž je částečně odstraněna kůra, přičemž bílá plocha obnaženého dřeva svítí mnohdy i na velkou dálku. Tato poranění se objevují na jehličnatých i listnatých stromech a vypadají jako by někdo kůru strhával ostrou škrabkou nebo nožem (Bartoš, 1986).

Rozeznáváme dva druhy loupání, loupání letní a loupání zimní. K letnímu loupání kůry dochází během celého vegetačního období, kdy z kořenů stromů proudí kůrou do větví a listů míza a kůra nesedí na dřevě tak pevně, jako v zimě (Bouchner, 1986).



Obr. 1 – Loupání (Zdroj: vlastní foto)

Bouchner 1986 uvádí, že když chce jelen odloupnout kus kůry, rozevře obě čelisti doširoka od sebe, ohrne oba pysky, ztvrdlou plošinku horní čelisti přitiskne jako oporu ke stromu a řezáky dolní čelisti zarazí do kůry. Kůru uvolní od dřeva a odtrhne velký kus kůry (Obr. 1). Utržený pruh kůry pak posunuje do dutiny ústní a drtí ji zadními zuby. Poranění stromu je hladké, jen v místech kde byla kůra od kmene odtržena, zůstanou viset její otřepané okraje.

Jakmile nastane období vegetačního klidu, přestane míza ve stromu kolovat, kůra se ke dřevu přilepí a nedá se odtrhnout (Mikula, 1957).

V této době dochází k zimnímu loupání, které označujeme jako zimní ohryz. Při zimním ohryzu postupuje jelen jen s nepatrnou obměnou. Protože se kůra v pruzích nedá uvolnit, ohryzává jen malé kousky. Horní i dolní čelist nasadí na strom stejným způsobem jako při loupání, ale opakovaným svíráním dolní čelisti odkrajuje jen krátké

proužky kůry. Při ohryzu zůstávají v kůře stopy po řezácích v podobě dvou vedle sebe ležících žlábků, z nichž každý je více jak 0,5 cm široký. Někdy je ohryz docela řídký, jindy je hustý a plošně značně rozsáhlý (Bouchner, 1986).

Loupáním a ohryzem jsou postihovány stromy stojící i stromy pokácené. Většinou jsou stromy ochraňovány mechanickými zábranami (např. oplocováním) nebo chemickými přípravky, jimiž se kůra natírá a které mají svým nepříjemným pachem zvěř odpuzovat. Používá se i biologický způsob ochrany lesa kdy se zvěři předkládá náhradní potrava (Kolda a kol., 2004).



Obr. 2 - Oplocenka (Zdroj: Google)

2.2 Magnetické pole

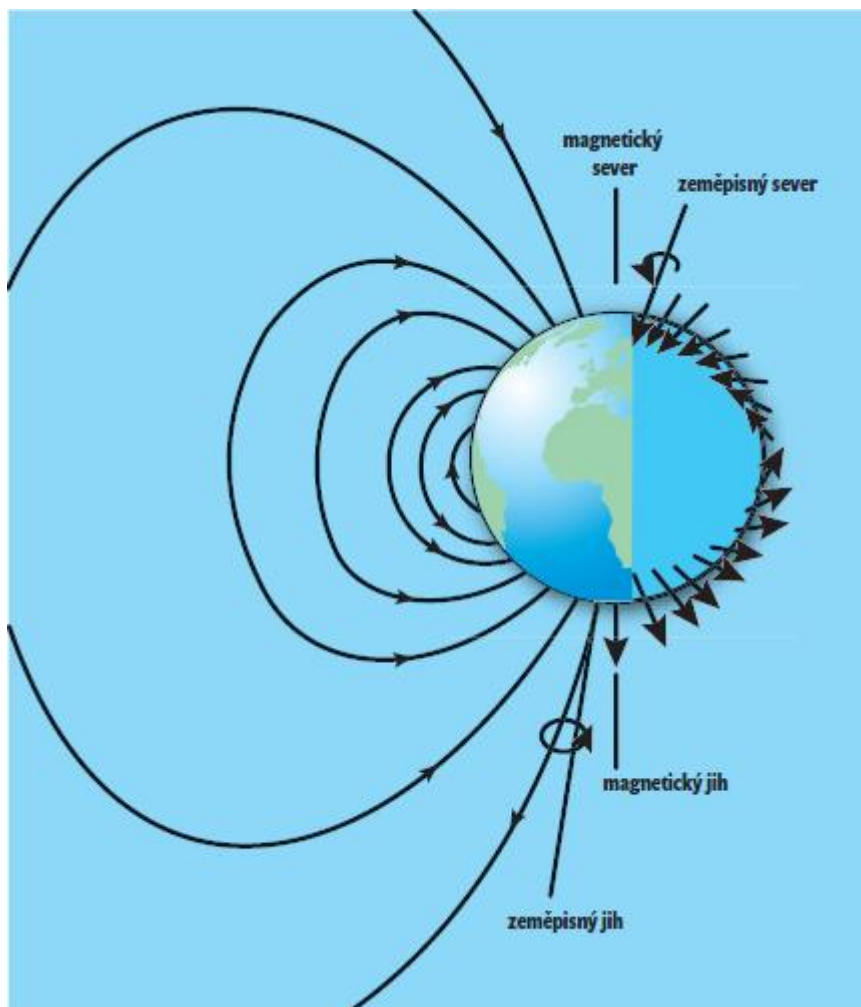
Protože se Země točí kolem své osy, tekutá vrstva vnějšího jádra umožňuje plášti a pevné kůře, aby se otáčely relativně rychleji než vnitřní jádro. Elektrony v jádře proto vůči elektronům v plášti a kůře vykonávají pohyb. Právě tento pohyb elektronů tvoří jakési přírodní dynamo a výsledkem je magnetické pole, podobné tomu, které vyvolává elektrická cívka. Magnetická osa Země se od zemské geografické osy odchyluje asi o 11° a magnetické póly se neshodují s geografickým severním a jižním

pólem. Magnetická osa Země svůj úhel s geografickou osou neustále mění, ale po dlouhou dobu – několik desítek tisíc let – je jejich průměrná vzájemná poloha stabilizována (Beazley, 1992).

Malá kolísání v zemském magnetismu jsou pravděpodobně způsobena malými proudy nebo víry ve vnějším jádru, jež vznikají při styku jádra s pláštěm. Velká tělesa magnetických rud nebo hornin v kůře mohou mít podobný účinek. Magnetické pole Země je rovněž deformováno elektricky nabitými částicemi ze Slunce. Tyto částice proudí v horních vrstvách atmosféry a při zemi způsobují malá kolísání magnetického pole, přičemž některá z těchto kolísání jsou pravidelná – například denní a noční, a některá občasná – například magnetické bouře (Beazley, 1981).

Podle Wiltschka a Wiltschkové 2005 se tak Země podobá obrovskému magnetu, jehož póly se nacházejí v blízkosti rotačních pólů. Magnetické siločáry opouštějí zemský povrch na jižním magnetickém pólu a obíhají okolo celé země, než do ní opět vstoupí na severním magnetickém pólu. To má za následek, že magnetické siločáry směřují na jižní polokouli nahoru, zatímco na severní polokouli směřují dolů. Na magnetickém rovníku pak probíhají paralelně se zemským povrchem (obr. 3).

Inklinace neboli sklon celkového magnetického vektoru od vodorovné roviny, se tak skutečně velmi vodorovně mění od 90° na severním k -90° na jižním magnetickém pólu. Na magnetickém rovníku je pak sklon 0° . Intenzita magnetického pole, která je indikována délkou šipek, je nejvyšší na obou pólech a nejnižší v blízkosti magnetického rovníku. Tímto jsou tvořeny gradienty běžící od pólu k rovníku na každé polokouli (Vácha a Němec, 2007).



Obr. 3 – Geomagnetické pole Země (Zdroj: Vácha a Němec, 2007)

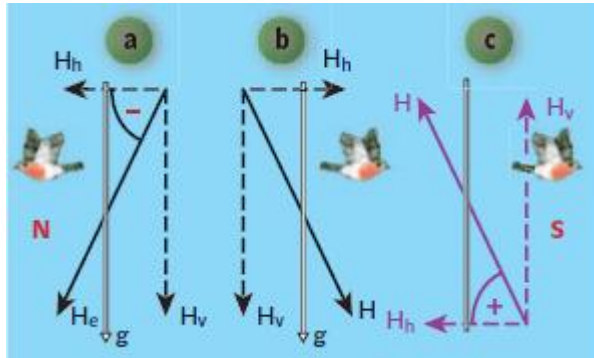
Geomagnetické pole tak představuje spolehlivý, všudypřítomný zdroj navigačních informací. Tyto informace mohou být dvou druhů: magnetický vektor poskytuje informaci o směru, čehož mohou zvířata využít při migraci jako kompasu, a celková intenzita a/nebo sklon může poskytnout informace, které by mohly být použity k označení pozice, a utvoření jakési navigační „mapy“ (Wiltschko a Wiltschko, 2005)

2.2.1 Inkliniční kompas

Kompas inkliniční odvozuje polaritu pole sekundárně ze sklonu celkového vektoru k Zemi, tedy podle inklinace (Moritz a kol., 2007).

To se naplno projevilo při experimentu, kdy byla ptákům obrácena horizontální složka pole o 180° . Ptáci původně mířící na sever, reagovali letem na opačnou stranu. Stejný obrat nastal, když horizontální složka zůstala stejná, ale byla obrácena inklinace, což vedlo k závěru, že zvířata, která nevnímají polaritu magnetického pole, si

neuvědomují žádný rozdíl (Obr. 4). Toto zjištění vedlo k závěru, že ptačí magnetický kompas nerozlišuje mezi magnetickým severem a jihem, ale mezi směrem k pólu, ve kterém siločáry míří k zemi a k pólu, kde směřují do vzduchu (Wiltschko a Wiltschko, 2005)



Obr. 4 – Inklinální kompas ptáků (Zdroj: Němec, 2007)

2.2.2 Polaritní kompas

Živočichové používající polaritní kompas dokáží přímo zjistit polaritu magnetického vektoru, a tedy i směr na sever od směru na jih. Obrácení horizontální složky pole je nijak nezmate (Vácha a Němec, 2007).

Tento druh kompasové orientace byl prokázán u lososů a některých druhů hlodavců (Wiltschko a Wiltschko, 2005).

2.2.3 Poziční chování

Poziční chování je spontánní výraz magnetorecepce, který se u zvířat objevuje především v klidovém stavu, kdy není pozice těla ovlivňována jinými faktory. Dřívější laboratorní studie potvrdily určitou preferenci zarovnávání podle magnetických siločar u několika skupin hmyzu, jako jsou mouchy, termity a včely. U obratlovců studie poukázaly na zlaté rybky a úhoře. Poziční chování samo o sobě nevyžaduje magnetoreceptci, tj. vědomé snímání geomagnetického pole, a nemusí nutně znamenat použití magnetického kompasu pro prostorově dálkovou orientaci a navigaci. Nicméně toto chování jistě určitým způsobem s magnetoreceptcí souvisí. Zachování některých magnetických směrů může také poskytnout konstantní směrové odkazy pro prostorovou orientaci, což může být užitečné například při vyrušení a rychlém útěku. Toto chování bylo v poslední době pozorováno u jelenů a domácího skotu, což jsou sociální zvířata

žijící a pohybující se po velkých otevřených prostorech, bez zjevných orientačních bodů, a na velké vzdálenosti (Begall a kol., 2008).

Další pozorování tohoto jevu odhalilo, že dobytek a srnčí zvěř pasoucí se v blízkosti sloupů vysokého napětí, vykazuje neuspořádané vzorce zarovnání, což vedlo k závěru, že elektromagnetické pole v blízkosti těchto vedení dokáže narušit zarovnávání těl zvířat podle magnetického pole Země, což nepřímo dokazuje, že jsou této orientace některá zvířata skutečně schopna (Burda a kol., 2009).

2.3 Magnetorecepce

Magnetorecepce je schopnost vycítit nebo vnímat magnetické podněty (intenzitu a /nebo orientaci lokálního geomagnetického pole) a přenést je do nervového systému, který extrahuje, zpracuje a interpretuje relevantní informace (Moritz a kol., 2007)

Behaviorální experimenty ukázaly, že mnoho zvířat dokáže vycítit zemské magnetické pole a použít jej jako vodítka pro pohyb na dlouhé i krátké vzdálenosti. O nervových a biofyzikálních mechanismech, které jsou základem této smyslové schopnosti je toho ovšem známo poměrně málo (Johnsen a Lohmann, 2005). K plnému přijetí magnetopercepce, jako nového smyslu, potřebujeme nejdříve znát jeho receptor a převodní mechanismus (Němec a Vácha, 2007).

Johnsen a Lohmann 2005 uvádějí, že najít umístění magnetoreceptorů je díky několika faktorům neobyčejně obtížné. Jedním z těchto faktorů je fakt, že magnetické pole může proudit volně skrze biologické tkáně. Takže, zatímco receptory sensorických modalit, jako je zrak a čich, musí být v kontaktu s vnějším prostředím, aby odhalily příslušné podněty, magnetoreceptory mohou být umístěny prakticky kdekoli v těle zvířete, aniž by se na ně toto omezení vztahovalo.

Kromě toho mohou být magnetoreceptory velmi malé a roztroušené v tkáních nebo mohou mít podobu kaskády chemických reakcí modulovaných geomagnetickým polem, takže orgán či zřetelně rozpoznatelná struktura zprostředkávající magnetorepceci vůbec nemusí existovat (Němec a Vácha, 2007).

Konečně, lidem buď schopnost magnetorecepce chybí, nebo si jí nejsou vědomi, takže naše vlastní smyslové zkušenosti poskytují jen málo intuitivní vhled do otázky, kde bychom měli magnetoreceptory hledat (Johnsen a Lohmann, 2005).

Pokud nejsme schopni najít receptor, máme jen velmi omezené možnosti, jak studovat převodní mechanismus. Teoretické studie proto v tomto směru pokročily mnohem významněji, než studie empirické (Němec a Vácha, 2007).

Během posledních třiceti let bylo navrženo množství různých mechanismů, které by mohly sloužit jako základ pro orientaci podle magnetického pole země. Ovšem nedávný výzkum se nejvíce zaměřuje na tři hypotetické možnosti: Elektromagnetickou indukci, systém zahrnující magnetit a chemickou magnetorecepci (Wiltschko a Wiltschko, 2005).

2.3.1 Elektromagnetická indukce

Pokud se vodič pohybuje v magnetickém poli jiným směrem, než souběžně s indukčními čarami, kladně a záporně nabitě částice migrují mezi protilehlými konci vodiče. Tak vznikne mezi konci vodiče elektromotorické napětí (Němec a Vácha, 2007).

Jestliže je vodič ponořen ve vodivém médiu, které se vzhledem k okolí nepohybuje, vytvoří se elektrický obvod, který protéká skrze médium a vodič (Lohmann, 2010)

Na tomto principu je založen model vysvětlující mechanismus magnetorecepce u paryb. Základní představa je taková, že paryby vnímají změny elektromotorického napětí indukovaného jejich pohybem v geomagnetickém poli. Specializované kanálky vyplněné aminopolysacharidy – Lorenziniho ampuly (Obr. 5) – fungují jako pohybující se vodič, mořský voda jako vnější vodivé médium a elektroreceptory na dně kanálků jako vysoce citlivé voltmetry (Němec a Vácha, 2007).



Obr.5 - Detail izolované ampuly; dobře viditelné jsou receptorové buňky na dně ampuly a senzorický nerv (zdroj: Němec a Vácha, 2007).

Němec a Vácha 2007 uvádějí, že zanedbáme-li pohyb vodního sloupce, je model velmi jednoduchý. Při vodorovném pohybu vzniká v ampulách orientovaných dorzo-ventrálně napěťový gradient. Jeho velikost je závislá na rychlosti pohybu a úhlu mezi směrem plavání a magnetickým vektorem. Pokud žralok plave na sever nebo na jih, je indukované napětí nulové, jestliže plava na východ nebo západ, je napětí maximální (s opačnými znaménky). Je zde však problém. Vždy existují dva neodlišitelné směry. Například pohyb severovýchodním a jihovýchodním směrem bude generovat stejné receptorové napětí. Zvíře je ovšem schopno odlišit oba směry tak, že se vychýlí ze směru plavby a porovná změnu své orientace se změnou receptorového napětí.

Dle Johnsen a Lohmanna 2005 nicméně, několik faktorů významně komplikuje tyto jednoduché modely. Za prvé, elektroreceptory u příčnoústých nemohou detekovat stabilní pole, pro která byla původně nato myšlenky navrhována. Za druhé, voda kolem mořských ryb je zřídka za přirozených podmínek bez hnutí. A za třetí, oceánské proudy jsou také vodiče pohybující se zemským magnetickým polem, a vytvářející si svá vlastní elektrická pole. Lze proto předpokládat, že zvíře musí být schopno určit, kterou část pole, ve kterém se nachází, může přičíst vlastnímu pohybu, a která je důsledkem pohybu vody. V zásadě mohou být tyto problémy překonány, pokud žraloci odvozují informace magnetického pole z oscilujících elektrických polí, která vznikají při pohybu jejich hlav ze strany na stranu během plavání.

Mechanismus elektromagnetické indukce zřejmě nemůže používat více druhů zvířat, neboť vyžaduje vysoce citlivé elektroreceptory, které většině druhů chybí. Navíc, mořská voda je silně vodivé médium, ale například vzduch není. Proto práci a ostatní suchozemská zvířata nemohou dosáhnout magnetorecepce tímto způsobem, který byl navržen pro elektrosenzitivní mořské ryby (Lohmann, 2010).

Přímé důkazy o tom, že zvířata používají elektromagnetickou indukci k detekci zemského magnetického pole, zatím nebyly získány. Nicméně rejnoci a žraloci mají zjevně velmi citlivý elektrický smysl, se kterým mohou detekovat slabá elektrická pole generovaná tkání jejich kořisti. Tento elektrosenzorový systém se zdá být dostatečně citlivý, aby mohl rozeznávat zemské magnetické pole (Wiltschko a Wiltschko, 2006).

Johnsen a Lohmann 2005 uvádějí, že několik studií poskytlo experimentální nebo korelační důkazy, které jsou v souladu s hypotézou, že přičnoustí vnímají magnetické podněty. V některých případech však nebylo možné přesně určit, co zvířata detekovala.

Například v jednom experimentu se žraloci držení v zajetí naučili připlout do určitého místa v nádrži pro odměnu pokaždé, když se magnetické cívky kolem nádrže zapnuly. I když to bylo interpretováno jako reakce na změnu v místním magnetickém poli, stejně přijatelné vysvětlení je, že rozhodujícím podnětem může být přechodné elektrické pole, které je vytvářeno vždy, když se cívky zapnou (Purcell, 1985).

Další experiment indukční hypotézu dokonce výrazně zpochybnil. Trnuchy druhu *Dasyatis brevicaudata* bylo třeba nejprve naučit a rozlišovat přítomnost magnetické anomálie v experimentálním akváriu. Když tuto úlohu zvládly, umisťovala se jim do čichové jamky střídavě mosazná závaží a permanentní magnet stejné velikosti. Zatímco mosaz neměla žádná vliv, magnet schopnost všimnout si anomálie výrazně zhoršoval. Přitom magnet připevněný tak, že se pohybuje spolu se zvířetem, by magnetorepcepci založenou na elektromagnetické indukci rušit neměl (Němec a Vácha, 2007).

Zásadní otázkou ovšem zůstává, zda pohyby magnetů v nosních dutinách byly přesně sladěny s pohyby elektroreceptorů v pružných tělech ryb, protože pokud by k rozdílu v pohybu, byť drobným, došlo, potom by magnetorecepční systém založený na elektromagnetické indukci skutečně mohl být ovlivněn (Johnsen a Lohmann, 2005).

2.3.2 Magnetitová hypotéza

Dle Lohmanna 2010 se jedná o hypotézu, při níž krystaly magnetického minerálního magnetitu (Fe_3O_4) poskytují fyzický základ pro magnetorecepci.

Nápad byl inspirován z části zjištěním, že některé bakterie produkují magnetitové krystaly, které jsou důsledkem toho, že tyto bakterie jsou schopny natáčet se souběžně s linkami geomagnetického pole a pohybovat se podél nich (Blakemore, 1975).

Způsobů, jak převést tuto magneticky vyvolanou mechanickou sílu v receptorový potenciál, může být několik. Krystaly mohou působit torzní silou, popřípadě tlakem na sekundární receptory, volná nervová zakončení, vláskové buňky nebo kožní mechanoreceptory. Krystalky magnetitu uvnitř buňky mohou hypoteticky přímo otvírat či zavírat iontové kanálky. Magnetit byl zjištěn u několika magneticky citlivých zvířat, ale nejdetailnější studie byly provedeny u pstruha duhového a holuba (Němec a Vácha, 2007).

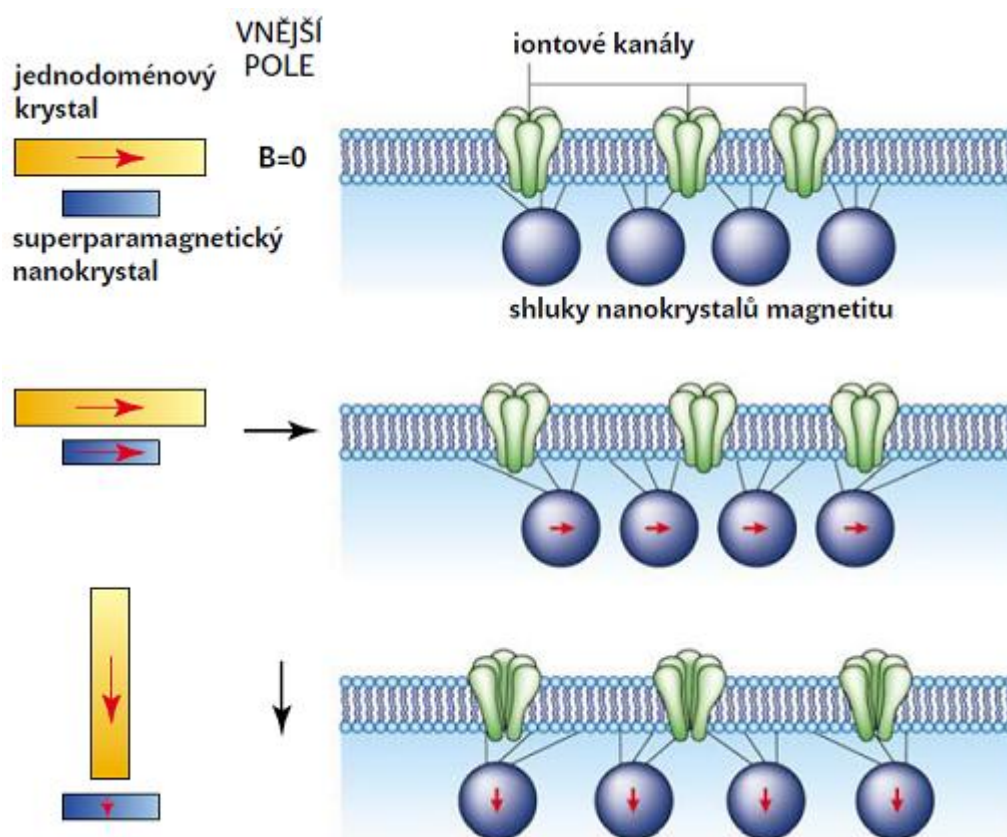
U pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) byl magnetit zaznamenán v oblasti nosu v blízkosti nervu, který reaguje na magnetické stimuly (Diebel a kol, 2000).

Kirchvink a kol. 2001 uvádějí, že krystaly magnetitu jsou zde uspořádány do řetízků dlouhých asi $1\ \mu\text{m}$, což zaručuje dostatečně silnou interakci s geomagnetickým polem. Tato oblast čichové sliznice je inervována větví trojklaného nervu (*Nervus ophthalmicus superficialis*), která obsahuje jednotky reagující změnou své aktivity na změnu intenzity magnetického pole (nikoliv však na změny směru magnetického pole).

Magnetit izolovaný z ryb a jiných živočichů měl formu jednodoménových krystalů, velmi podobných těm u bakterií. Tyto krystaly jsou malé (cca 50nm v průměru), trvale magnetické magnety, které se otáčejí do souladu s magnetickým polem země, pokud jim poskytnut volný pohyb. Krystaly tak mohou poskytnout fyzický základ pro magnetickou citlivost (Wiltschko a Wiltschko, 2006).

U některých zvířat nacházíme magnetitové krystaly menší, než krystaly jednodoménové velikosti, které mají i jiné magnetické vlastnosti. Tyto „superparamagnetické“ krystaly, na rozdíl od jednodoménových krystalů nemají trvalý magnetický moment. Místo toho magnetická osa superparamagnetického krystalu sleduje osu okolního pole, a to i přesto, že krystal sám je v klidovém stavu (Philips a Deutschlander, 1997).

V poli o síle zemského magnetického pole mohou tyto krystaly generovat pole, která jsou dostatečně silná, aby přitahovala nebo odpuzovala jiné blízké krystaly. Tento proces tak může dostatečně deformovat matice obsahující shluky těchto krystalů. V zásadě může být nervový systém schopen detekovat expanzi nebo kontrakci buď jednoho shluku, nebo pole shluků, které poskytují možné prostředky pro odhalení směru magnetického pole, jeho intenzity, nebo obojí (Kirchvink a kol. 2001)



Obr. 6 – Rozdílné magnetické vlastnosti krystalů magnetitu a model převodního mechanismu SPM nanokrystalů (Zdroj: Johnsen a Lohman, 2005)

Dle Johnsen a Lohmana 2005 hypotetický model převodního mechanismu založeného na interakci shluků superparamagnetických nanokrystalů uvádí, že když je vnější pole orientováno paralelně s plazmatickou membránou, shluky nanokrystalů se vzájemně přitahují a membrána se mírně stlačuje (uprostřed). Pokud se ovšem orientace vnějšího pole změní o 90°(dole), shluky nanokrystalů se začnou vzájemně odpuzovat a membrána se napíná. Výsledkem může být otevření mechanosenzitivních iontových kanálů (Obr. 6).

U holubů bylo pole superparamagnetických magnetitových krystalů zjištěno v horní části zobáku, kde jsou shluky těchto krystalů umístěny uvnitř nervových zakončení podél buněčné membrány (Lohmann, 2010).

Navíc se zdá, že shluky jsou membránou opouzřeny. Kromě krystalického magnetitu se v nervových zakončeních objevují také komplexy amorfního železa, které mohou hypoteticky fungovat jako lokální zesilovač magnetického pole. Nervová zakončení obsahující magnetit patří senzitivním dostředivým vláknům trojklaného nervu (*Nervus ophthalmicus*). Existují přímé důkazy, že trojklaný nerv inervuje magnetoreceptory. Po jeho přetnutí ztratí trénovaný holub schopnost rozlišit přítomnost magnetické anomálie a některé neurony v gangliu trojklaného nervu reagují zvýšenou aktivitou na velmi malé změny intenzity magnetického pole. Podobně jako u pstruhů jde pravděpodobně o receptory intenzity magnetického pole (Němec a Vácha, 2007).

Wiltschko a Wiltschko 2005 uvádějí, že existují i další nepřímé důkazy o klíčové roli magnetitu v magnetorepci: krátký a silný magnetický pulz může změnit směr magnetizace jednodoménového magnetitu či narušit uspořádání shluků superparamagnetických nanokrystalů. Pulzní magnetizace může proto ovlivnit, nebo dokonce zničit magnetoreceptory založené na magnetitu. U tažných pěvců, holubů, mořských želv nebo hlodavců to vede k dezorientaci či výrazné změně směru.

Receptor založený na magnetitu ke své funkci nepotřebuje světlo. Bezchybné orientace ve tmě jsou schopny ryby, mořské želvy a někteří hlodavci. Rovněž se zdá, že receptor založený na jednodoménovém magnetitu je jediný, který dokáže rozlišit polaritu horizontální složky magnetického pole (Němec a Vácha, 2007).

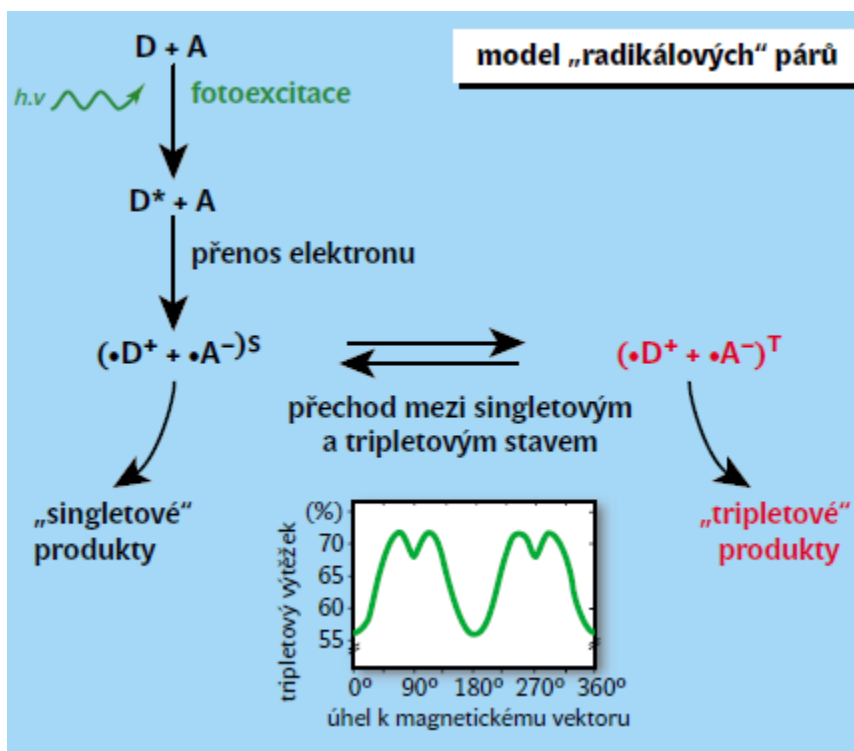
2.3.3 Chemická magnetorecepce

Dle Johnsen a Lohmana 2005 se na první pohled zdá velmi nepravděpodobné, že by chemické reakce mohly být ovlivňovány tak slabým polem, jako je zemské. Energie geomagnetického pole je o mnoho řádů nižší než energie nutná k přenosu elektronu z jednoho orbitalu do druhého. Za fyziologických teplot je o 11 řádů nižší než kinetická energie biomolekul. Proto lze předpokládat, že tepelný pohyb molekul vyruší jakékoliv nepatrné magnetické účinky.

Nicméně i slabé magnetické pole může ovlivňovat pravděpodobnost vzniku různě orientovaných spinových stavů elektronů, a tím i některé chemické reakce.

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

Ritz a kol. 2000 uvádějí, že u organismů vznikají radikálové páry nejčastěji ve fotopigmentech (např. chlorofylu nebo flavinu), když jsou vybuzeny světlem. Energie světelného kvanta vyzdvihne elektron z nejvyššího obsazeného orbitalu na nejbližší vyšší volný orbital. Molekula pak může předat svůj elektron jiné molekule a vytvořit s ní radikálový pár. Radikálové páry jsou velmi reaktivní a jejich vznik zpravidla spustí kaskádu dalších dějů. Volné elektrony si buď podrží původní opačnou rotaci (singletový stav), nebo se překloupí do souhlasné rotace (tripletový stav). Přejechy mezi oběma stavy jsou ovlivňovány magnetickým polem – výtěžek tripletových produktů je závislý na orientaci molekuly fotopigmentu vůči vnějšímu poli (Obr. 7).



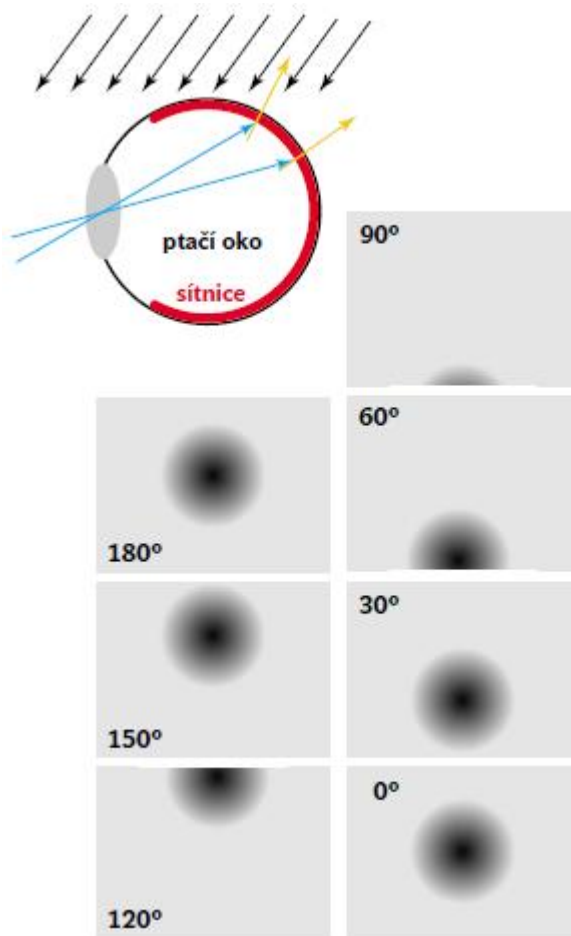
Obr. 7 – Schéma radikálové reakce, jejíž průběh je modulován magnetickým polem. (Zdroj: Ritz a kol., 2000)

Vnější magnetické pole může rozšířit energetickou propast mezi oběma stavy a posunout rovnováhu reakce ve prospěch jedné z drah (Němec a Vácha, 2007).

Některé reakce zahrnující mechanismus radikálových párů mohou být ovlivněny polem o síle 1 miliTesla, což je ovšem stále 20x vyšší intenzita, než jakou má magnetické pole země. Nicméně modely ukazují, že potřebné citlivosti lze dosáhnout alespoň za určitých podmínek. I když přímé důkazy pro chemickou magnetorecepci

dosud nebyly získány, několik důkazních linií ukázalo spojení mezi magnetorepcí a vizuálním systémem (Johnsen a Lohmann, 2005).

Ritz a kol. 2000 dále uvádějí, že model předpokládá úzké sepětí magnetorecepce s fotorepcí. Předpokládáme tedy, že v sítnici nebo v epifýze existují specializované receptory, jejichž fotopigmenty generují magneticky senzitivní radikálové páry. V takovém případě může magnetické pole Země ovlivnit účinnost přeměny světla na membránový potenciál, což mu umožňuje stát se „viditelným“. Tento efekt je závislý na poloze molekul fotopigmentů vůči geomagnetickému poli. Různě orientované receptory budou ovlivněny různě a odlišná bude i efektivita přenosu světla v různých částech sítnice. Vznikne tak kontrast, díky kterému může magnetické pole vyvolat zrakové vjemy, které se zobrazí jako charakteristické obrazce připomínající skvrny nebo oblouky orientované symetricky okolo magnetické osy. Zvíře pak může vnímat odlišné vzory, jestliže se podívá různými magnetickými směry. Kontrast těchto vzorů bude záviset na intenzitě magnetického pole (Obr. 8).



Obr. 8 - Schéma oka obratlovce a počítačová simulace zrakových vjemů modulovaných magnetickým polem (Zdroj: Neměc a Vácha, 2007).

Tento model je závislý na světle, které poskytuje energii pro počáteční excitaci. Ze své podstaty pak nedovoluje rozeznat sever od jihu (tzn., že kompas na něm založený je inklinální, nikoli polaritní) a je funkční jen v poměrně úzkém rozmezí intenzity magnetického pole (Němec a Vácha, 2007).

U holubů byly v několika podkorových zrakových centrech nalezeny neurony, které se změnou směru magnetického vektoru mění svou aktivitu. Tyto neurony jsou také směrově selektivní, což znamená, že různé neurony odpovídají na různý směr magnetického vektoru. Přímé důkazy, že sítnice je zapojena do magnetorecepce ptáků zatím neexistují, ale zakrytí oka, popřípadě přetnutí zrakového nervu aktivaci zruší (Wiltschko a Wiltschko, 2005).

Také bylo zjištěno, že tažní pěvci s důkladně zakrytým pravým okem nejsou schopni orientace, zatímco pokud se jim zakryje oko levé tak k problémům s orientací nedochází, což by naznačovalo, že magnetorecepční dráha u ptáků je zřejmě důsledně jednostranná (Němec a Vácha, 2007).

Jedinými v současnosti známými fotopigmenty obratlovců, které jsou schopny tvořit radikálové páry, jsou kryptochromy (Ritz a kol., 2000).

Dle Lohmanna 2010 mají zřejmě kryptochromy požadované vlastnosti a u stěhovavých ptáků, jsou soustředěny do sítnicových buněk, které vykazují vysokou úroveň nervové činnosti, když se ptáci orientují pomocí zemského magnetismu. Navíc jsou tyto sítnicové buňky spojeny s regionem předního mozku, jehož odnětí narušuje magnetickou orientaci, aniž by bylo narušeno jiné navigační chování.

Nejpřímější důkaz pro zapojení kryptochromů vychází z experimentu s octomilkami *Drosophila*, ve kterém byly mouchy vytrénovány ke vstupu do jednoho ramene jednoduchého bludiště na základě podmínek magnetického pole. Mutanti mouchy postrádající kryptochromní geny nebyli schopni tento úkol provést, ale magnetická citlivost byla obnovena, když byly geny kryptochromů do mutantů much opětovně vloženy (Gegear a kol., 2008).

2.3.4 Magnetická orientace u savců

U savců byla magnetická orientace zkoumána u poměrně malého počtu druhů. Mezi prvními byly hlodavci, a sice rypoši (Burda a kol., 1990; Marhold a kol., 1997) křečci (Deutschlander a kol., 2003) a myši (Muheim a kol., 2006). Dále byli zkoumáni netopýři (Holland a kol., 2006; Wang a kol., 2007). V poslední době proběhl výzkum

pozičního chování u skotu, jelena evropského a srnce obecného (Begal a kol., 2008; Burda a kol., 2009)

V roce 2011 publikovali Červený a kol., výzkum, při kterém bylo zjištěno, že lišky obecné (*Vulpes vulpes*) loví hlodavce ve vysoké vegetaci nebo pod sněhovou pokrývkou, jsou při útocích směrem na sever mnohem úspěšnější, než při útocích v ostatních směrech. Přestože při lokalizaci kořisti hraje důležitou úlohu sluch, byl učiněn závěr, že tato směrová preference představuje příklad pozičního chování, které zvyšuje přesnost vedených útoků.

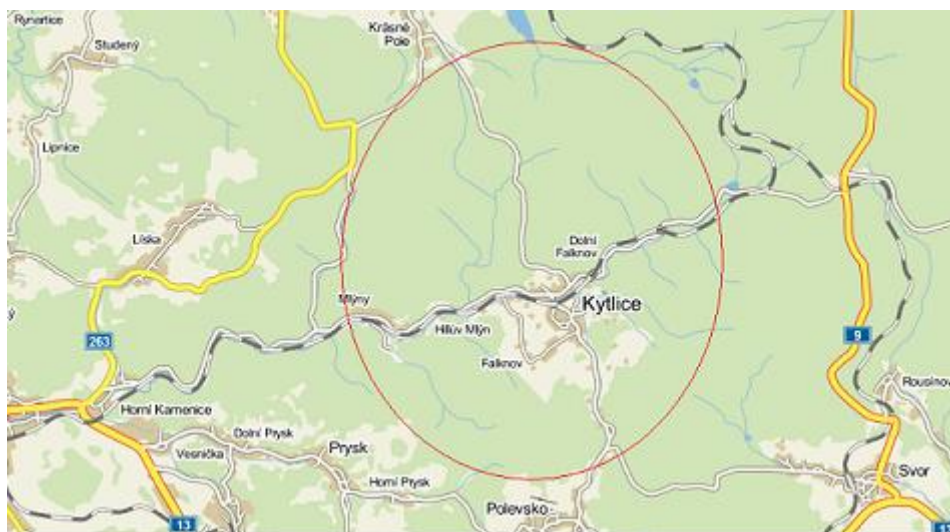
3. METODIKA

V první části mé práce byly provedeny výjezdy do Lužických hor, kde se uskutečnilo měření loupání a ohryzu.

Popis terénu

Lužické hory jsou nevelké pohraniční pohoří ležící zhruba uprostřed mezi Děčínem a Libercem v severních Čechách. Geologicky jsou tvořeny hlavně svrchněkřídovými pískovci. Průměrná výška Lužických hor je 509 m. n. m. a průměrná roční teplota se zde pohybuje mezi 6 a 7 °C. Roční úhrn srážek činí 700 – 800 mm. Průměrný počet dnů se sněhovou příkrývkou je 60 – 100 dnů a průměrná výška sněhové pokrývky činí 70 – 100 cm.

Měření proběhlo na deseti zkusných lokalitách na území honitby Tisovec a honitby Prysck (obr 9).



Obr. 9 – Přibližná oblast měření (Zdroj: seznam.cz)

Jednalo se převážně o mladé porosty, v jejichž okolí se nikde nenacházeli dráty vysokého napětí a ve kterých se rovněž nenacházela žádná místa určená pro přikrmování zvěře.

Měření a zaznamenávání údajů probíhalo tak že se přistoupilo ke kmeni ve směru poškození a kompasem naměřeným na něj se nahlásila hodnota směru ve stupních, která byla zaznamenána do terénního zápisníku hodnot. Poškození, které se rozkládalo po celém obvodu stromu, bylo do zápisníku zapsáno jako „c“. Dále se na těchto lokalitách vyměřili zkusné plochy o rozměru 10*10 metrů na nichž bylo zjištěno druhové zastoupení dřevin, jejich celkový počet a z něj počet poškozených stromů.

Lokalita č. 1 se nacházela na 50°51'53.511" severní šířky a 14°32'38.432" východní délky. Jednalo se o mladý smrkový porost ve věku cca 10 - 15 let vysazený umělou obnovou. Porost se vyznačoval hustým zakmeněním a byl značně poškozen okusem. Celkem zde bylo změřeno 192 případů okusu. Na zkusné ploše bylo poškozeno 65 ze 72 změřených smrků. Jednalo se o nejpoškozenější měřený porost.

Lokalita č. 2 se nacházela na 50°50'13.722" severní šířky a 14°31'28.135" východní délky. Opět se jednalo o převážně smrkový porost ve věku do 10 let. Porost vznikl přírodní cestou a nachází se na svahu s výrazným jižním sklonem. Bylo zde naměřeno 40 případů poškození. Na zkusné ploše bylo poškozeno 15 z 22 změřených smrků.

Lokalita č. 3 ležela na 50°50'5.550" severní šířky 14°33'7.383" východní délky. Zde šlo o smíšený smrko-bukový porost přírodního původu ve věku do 10 let. Porost se nacházel ve svahu se silným východním sklonem. Poškození porostu se velmi výrazně lišilo v závislosti na dřevině. Bylo zde naměřeno 101 případů poškození smrku, ovšem s nízkou koncentrací na jednotku prostoru. Na zkusné ploše bylo poškozeno 9 z 29 měřených smrků. Oproti tomu poškození buků zahrnovalo všech 22 měřených jedinců.

Lokalita č. 4 se nacházela na 50°49'53.898" severní šířky a 14°30'22.405" východní délky. Jednalo se o převážně modřínový porost s příměsí smrku ve věku mezi 10 – 15 lety. Porost byl přírodního původu. Celkově zde bylo naměřeno 77 případů poškození výhradně smrkových jedinců. Na zkusné ploše bylo poškozeno 12 z 18 měřených smrků. Modřínů zde nebyly poškozeny vůbec.

Lokalita č. 5 ležela na 50°50'27.226" severní šířky a 14°33'5.731" východní délky. Zde se jednalo o převážně smrkový porost s příměsí buku vzniklý přírodní cestou ve věku mezi 10 – 20 lety. Porost se nacházel na svahu se severním sklonem. Na této

lokalitě bylo naměřeno 71 případů poškození. Na zkusné ploše bylo změřeno 29 smrků, 17 buků a 4 modříny, přičemž poškozeno bylo 15 smrků, a všechny buky. Opět se zde projevila závislost poškození na dřevině, jako v případě lokality č. 3.

Lokalita č. 6 ležela na 50°50'9.244" severní šířky a 14°33'27.478" východní délky. Šlo o převážně smrkový porost ve věku cca 40 let. Porost se nacházel ve svahu se silným severozápadním sklonem. Bylo zde změřeno 46 poškozených jedinců. Na zkusné ploše bylo změřeno 20 smrků a 3 buky, přičemž poškozeno bylo 11 smrků a všechny buky.

Lokalita č. 7 se nacházela na 50°50'10.221" severní šířky a 14°32'59.173" východní délky. Jednalo se o převážně smrkový porost s příměsí buku ve věku cca 10 let, vzniklý přirozenou obnovou. Porost se nacházel na svahu se znatelným jihovýchodním sklonem. Zde bylo naměřeno 80 případů poškození s nízkou koncentrací na jednotku prostoru. Na zkusné ploše bylo změřeno 33 smrků a 27 buků, přičemž poškozeno bylo 7 smrků a všech 27 změřených buků. Znovu se projevila závislost poškození vzhledem k druhové skladbě, jako u lokalit č. 3 a 5.

Lokalita č. 8 se nacházela na 50°49'54.627" severní šířky a 14°30'27.273" východní délky. Jednalo se o převážně o smíšený porost modřínu a smrku ve věku cca 20 let vzniklý přirozenou obnovou. Porost se nacházel na relativně rovném terénu. Bylo zde naměřeno 104 případů poškození. Na zkusné ploše bylo poškozeno 15 z 23 změřených smrků. Poškozován byl pouze smrk, modřín nebyl poškozen vůbec stejně jako na lokalitě č. 4.

Lokalita č. 9 ležela na 50°48'26.211" severní šířky a 14°30'2.419" východní délky. Jednalo se o smrkový porost ve věku cca 40 let, nacházející se ve svahu se silným severozápadním sklonem. Na této lokalitě bylo naměřeno 103 případů poškození, přičemž na zkusné ploše bylo poškozeno 16 z 28 měřených smrků a 0 ze 4 měřených borovic.

Lokalita č. 10 se nacházela na 50°48'21.406" severní šířky a 14°29'58.996" východní délky. Jednalo se o smrkový porost ve věku 10 – 20 let vzniklý umělou obnovou, který se nacházel na kopci s mírným severním sklonem. Bylo zde naměřeno 180 případů poškození. Na zkusné ploše bylo poškozeno 12 z 25 měřených smrků a 6 z 6 měřených buků.

Z těchto údajů se pomocí statistiky zjistil směr, ze kterého dochází k poškozování nejčastěji.

Vyhodnocení dat bylo provedeno formou kruhových statistik za pomoci programu Oriana 4.01 (Kovach computing). Průměrné směrové vektory byly vypočteny podle směrů jednotlivých okusů získaných během pozorování. Pomocí Rayleighova testu bylo ověřeno, zda se získaná data významně liší od náhodného rozdělení

4. VÝSLEDKY

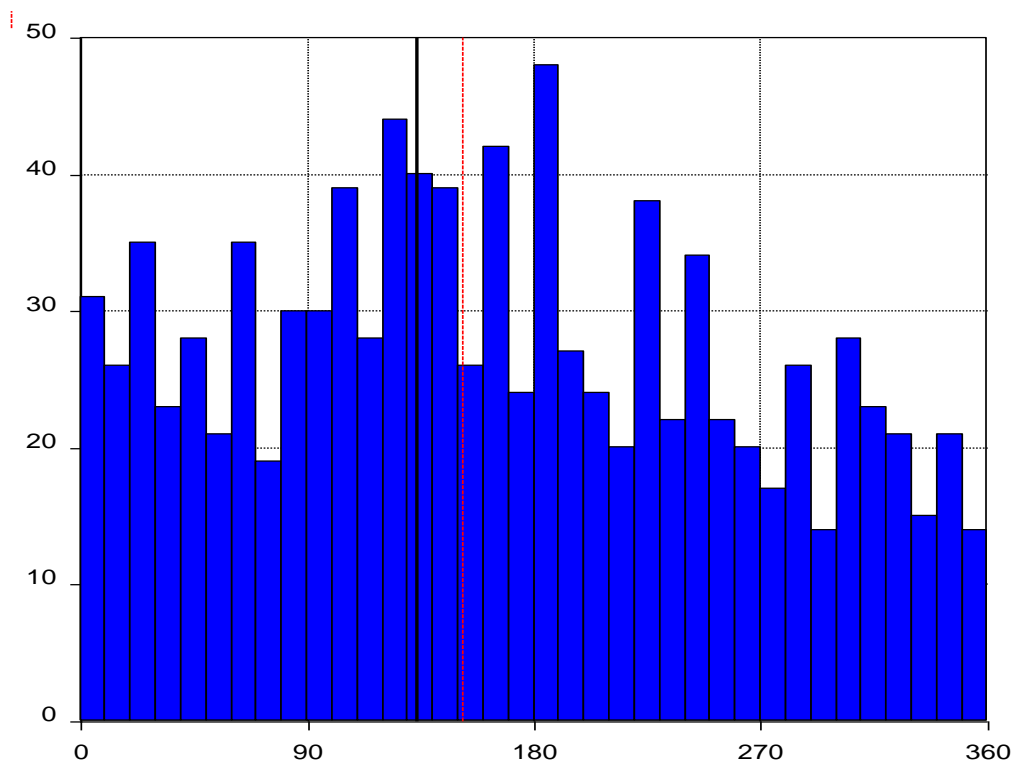
Výsledky měření jednotlivých lokalit jsou zobrazeny v tabulce č. 1. Jejich grafické znázornění je zachycené na cirkulárních grafech (přílohy 1 – 10). Body na grafech představují směry jednotlivých okusů, šipka pak označuje průměrný preferovaný směr. Vnitřní kružnice představuje 5% hranici významnosti Rayleighova testu. Když šipka průměrného vektoru přesáhne vnitřní kružnici označující 5% hranici významnosti, je orientace naznačeným směrem statisticky významná z 95%. Statisticky nevýznamná měření vyšla pouze u ploch 8 a 10.

Lokalita	Průměrný vektor	Délka průměrného vektoru	95 % interval spolehlivosti	Rayleighův test
1	169,801 °	0,184	± 132,960 °	6,518
2	162,147 °	0,417	± 124,449 °	6,970
3	162,064 °	0,275	± 133,921 °	7,656
4	218,534 °	0,200	± 173,655 °	3,069
5	227,833 °	0,441	± 13,838 °	13,838
6	154,077 °	0,475	± 130,923 °	10,377
7	95,977 °	0,300	± 67,107 °	7,219
8	312,623 °	0,131	± 253,587 °	1,794
9	82,690 °	0,256	± 52,673 °	6,767
10	17,337 °	0,147	± 337,378 °	3,908

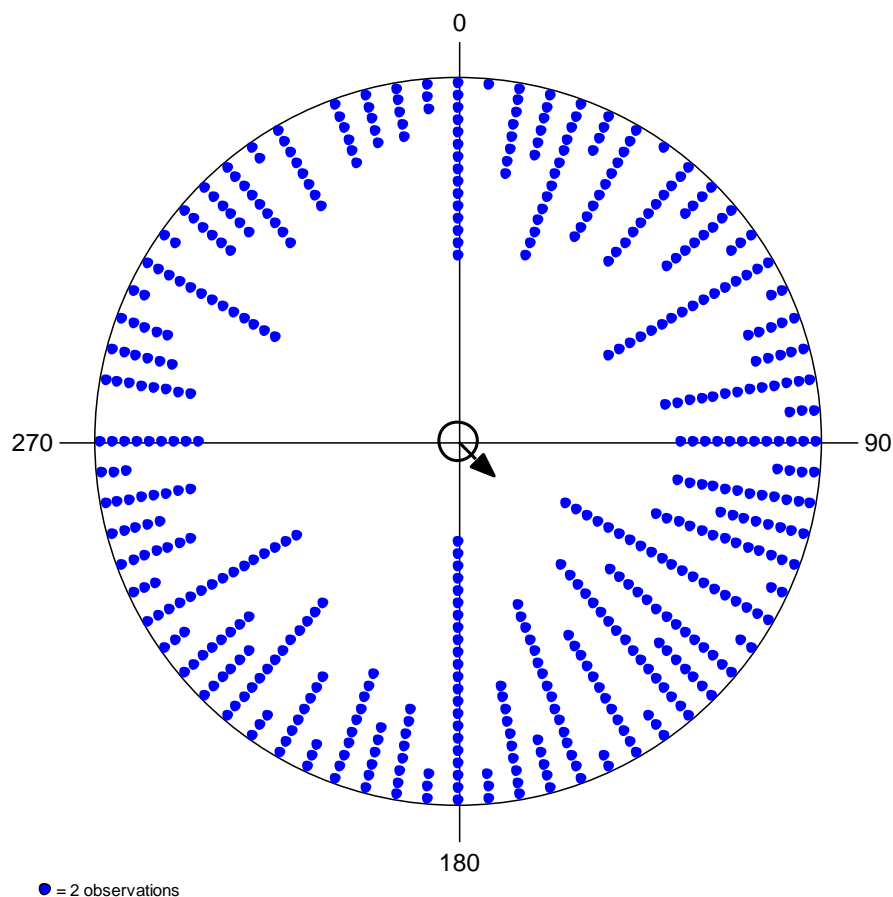
Tabulka č. 1- Výsledky z jednotlivých lokalit

Souhrnné vyhodnocení všech lokalit pak přineslo následující výsledky. Celkem bylo na všech deseti lokalitách změřeno 994 okusů. Průměrný vektor činil 133,653°; délka průměrného vektoru byla 0,134; 95% interval spolehlivosti činil 114,908° a

Rayleighův test byl 17,792 (Tabulka č. 2). Grafické znázornění souhrnných výsledků je zachyceno na obrázcích 10 a 11.



Obr. 10 – Znázornění směrové preference na sloupcovém grafu.



Obr. 11 – Na tomto diagramu je patrná mírná preference jihovýchodního směru, ovšem v porovnání s ostatními směry není tato preference nijak zvláště významná

Typ dat	úhly
Počet pozorování	994
Průměrný vektor (μ)	133,653°
Délka průměrného vektoru (r)	0,134
Standardní kruhová odchylka	114,921°
95% Interval spolehlivosti (-/+) pro μ	114,908° 152,397°
99% Interval spolehlivosti (-/+) pro μ	109,02° 158,286°
Rayleighův Test (Z)	17,792
Rayleighův Test (p)	1,88E-08
Raův prosotový Test (U)	334,648
Raův prostorový Test (p)	< 0.01

Tabulka 2. Souhrnné výsledky

5. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit, zda se jelení zvěř v Lužických horách orientuje za pomoci magnetické orientace. Výsledky měření ukázaly mírnou preferenci jihovýchodního směru, ale vzhledem k počtu okusů byl statistický rozdíl oproti ostatním směrům nevýznamný.

Předchozí studie rovněž naznačují, že orientace podle magnetického pole není jediným druhem orientace, který zvířata běžně používají. S magnetickou orientací se setkáváme především u zvířat pohybujících se v otevřeném prostoru bez výrazných orientačních bodů. Lze se tedy domnívat, že v členitém zalesněném terénu Lužických hor, se jelení zvěř orientuje spíše podle ostatních smyslů použitelných k orientaci, jako je zrak, čich a sluch.

Nicméně, během měření bylo rovněž zjištěno, že druhová skladba porostu výrazně ovlivňuje míru jeho poškození. Jelení zvěř nejvíce preferovala listnaté stromy. Tam, kde byla v porostu příměs listnatých dřevin, byly škody způsobené na jehličnanech výrazně nižší, než u jehličnatých monokultur. Naopak nejméně preferovanou dřevinou byl modřín, u něhož nebylo zaznamenáno žádné poškození.

Rovněž můžeme tvrdit, že uměle obnovované porosty jsou mnohem více poškozovány než porosty obnovené přirozenou cestou. Důvodem by mohlo být nižší zakmenění přirozeně se obnovujícího porostu, které dává více prostoru pro pastvu, díky čemuž je jelení zvěř méně nucena k ohryzu kůry, která není ničím jiným, než náhradou za přirozenou pastvu.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Červený J., Begall S., Koubek P., Nováková P., Burda H., 2011.** Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biology letters* **7**: 355-357
- Bartoš L.:** Bílí jeleni. Praha: Panorama 1987, 27-28.
- Beazley M.:** Anatomie Země. Praha: Albatros 1981, 4-5
- Beazley M.:** Tajemství přírody. Blesk 1993, 14-15
- Begal S., Červený J., Neef J., Vojtěch O., Burda H., 2008.** Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proc Natl Acad Sci USA*. **105**: 13451-13455
- Blakemore R.P., 1975.** Magnetotactic bacteria. *Science* **190**:377–379
- Bouchner M.:** Poznáte je podle stop. Praha: Artia 1986, 184-157
- Burda H., Marhold S., Westenberger T., Wiltshko W., Wiltshko R., 1990:** Magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae, Rodentia). *Experientia* **46**:528–530.
- Burda H., Begall S., Červený J., Neef J., Němec P., 2009.** Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proc Natl Acad Sci USA*. **106**: 5708-5713.
- Deutschlander M.E., et al., 2003:** Learned magnetic compass orientation by the Siberian hamster. *Phodopus sungorus*. *Anim Behav* **65**:779–786.
- Diebel CE., Proksch R., Green CR., Neilson P., Walker MM., 2000.** Magnetite defines a vertebrate magnetoreceptor. *Nature* **406**:299–302.
- Gegear R. J., Casselman A., Waddell S., Reppert, S.M., 2008.** Cryptochrome mediates light-dependent magnetosensitivity in *Drosophila*. *Nature* **454**, 1014–1018
- Hanzal V.:** O zvěři a myslivosti. 2. vydání. České Budějovice: Dona 2000, 15-20
- Holland R.A., Thorup K., Vonhof M., Cochran W.W., Wikelski M., 2006:** Bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature* **444**:653–702
- Jirik K., a kolektiv.:** Atlas zvěře. 1. vydání. Praha: Státní zemědělské nakladatelství 1980, 228-231
- Johnsen S., Lohmann K.J., 2005:** The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews Neuroscience*, 703-712.
- Kirchvink J. L., Walker M.M., Diebel C.E., 2001:** Magnetite-based magnetoreception. *Current Opinion in neurobiology* **11**, 462-467

Kolda F., a kolektiv.: Myslivost: O zvěři, lovu a zákonech. 1. vydání. Praha: Plot 2004, 36-41

Lohmann K.J., 2010: Magnetic-fields perception. *Nature* **464**, 1140-1142

Marhold S., Wiltschko W., Burda H., 1997: A magnetic polarity compass for direction finding in a subterranean mammal. *Naturwiss* **84**:421–423

Míkula A.: Život naší zvěře. 3. vydání. Praha: Státní zemědělské nakladatelství 1957, 7-15

Moritz R., E., Burda H., Begall S., Němec P.,2007: Magnetic Compass: A Useful Tool Underground. Subterranean Rodents: News from underground12. *Springer*: 161 – 174

Muheim R., Edgar N.M., Sloan K.A., Phillips J.B., 2006: Magnetic compass orientation in C57BL/6 mice. *Learn Behav* **34**:366–373.

Němec P., Vácha M., 2007: Mechanismy Magnetorecepce. *Vesmír* 86, Květen: 284-289

Phillips J.B., Deutschlander M.E., 1997: Magnetoreception in terrestrial vertebrates: Implications for possible mechanisms of EMF interaction with biological systems. *Battelle Press. Columbus, Ohio*, 111-172.

Purcell, E. M., Electricity and Magnetism: Berkeley Physics Course Vol. 2 (McGraw-Hill, New York, USA, 1985).

Ritz T., Adem S., Schulten K., 2000: A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophysical Journal*, Vol. **78**, 707-718.

Vácha M., Němec P., 2007: Kompas a mapa. *Vesmír* 86, Duben: 224-228.

Wang Y., Pan Y., Parsons S., Walker M.M., Zhang S., 2007: Bats respond to polarity of a magnetic field. *Proc R Soc London Ser B* **274**:2901–2905.

Wiltschko W., Wiltschko R., 2005: Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology A* **191**: 675-693.

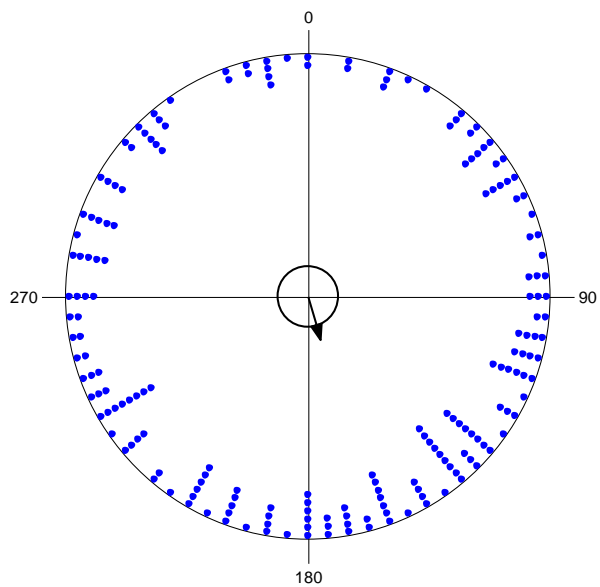
Wiltschko R., Wiltschko W., 2006: Magnetoreception. *BioEssays* **28**: 157-168.

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1	11
Obrázek č. 2	12
Obrázek č. 3	14
Obrázek č. 4	15
Obrázek č. 5	18
Obrázek č. 6	21
Obrázek č. 7	23
Obrázek č. 8	24
Obrázek č. 9	26
Tabulka č. 1	29
Obrázek č. 10	30
Obrázek č. 11	31
Tabulka č. 2	31

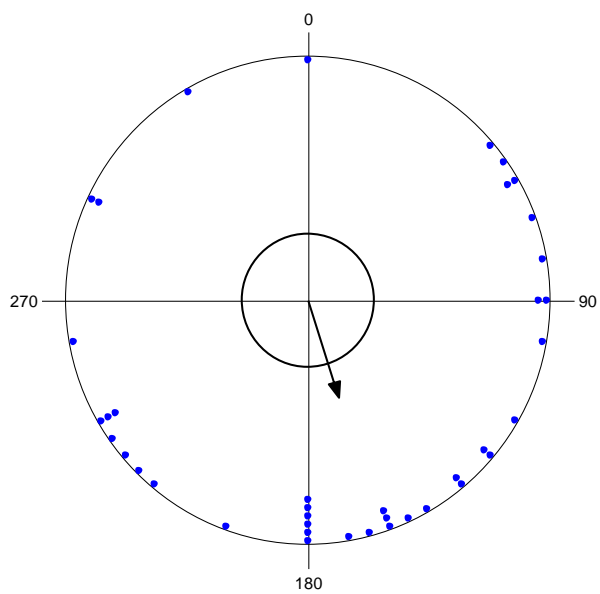
8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1



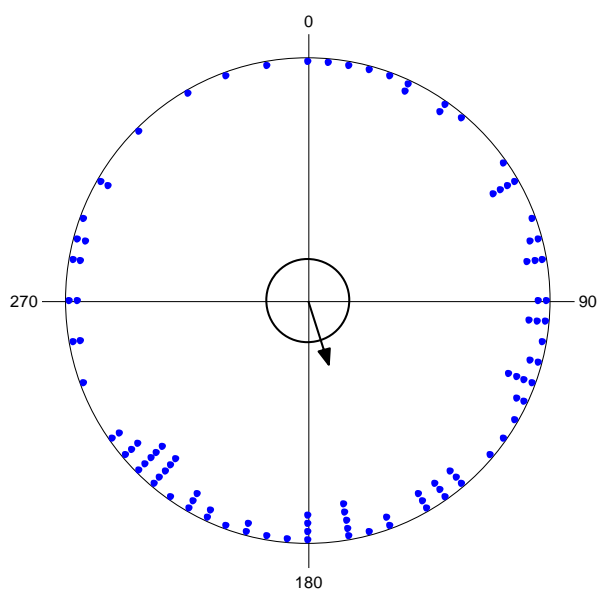
Lokalita 1

Příloha 2



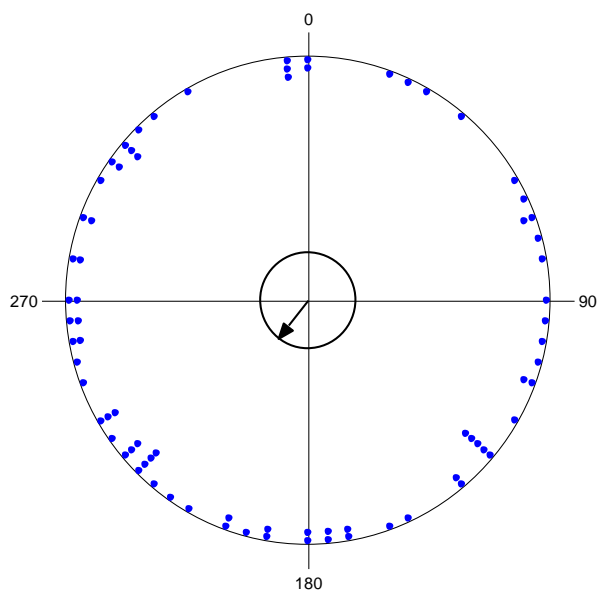
Lokalita 2

Příloha 3



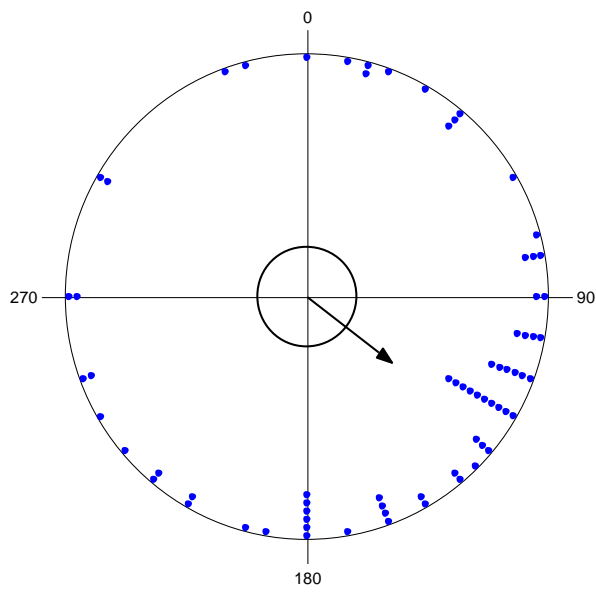
Lokalita 3

Příloha 4



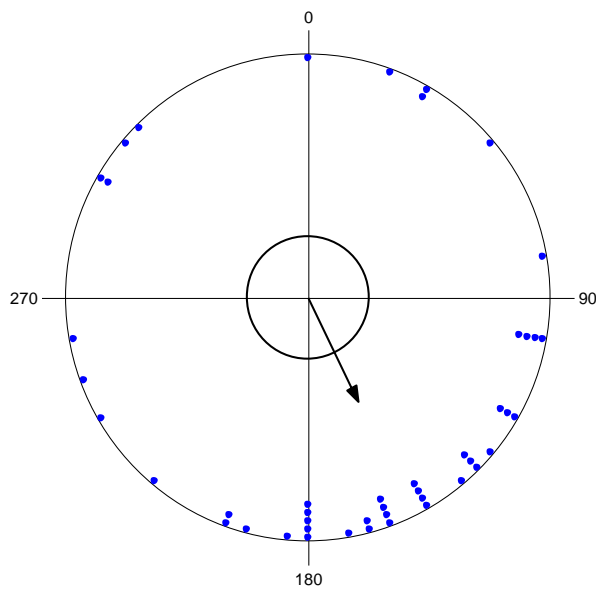
Lokalita 4

Příloha 5



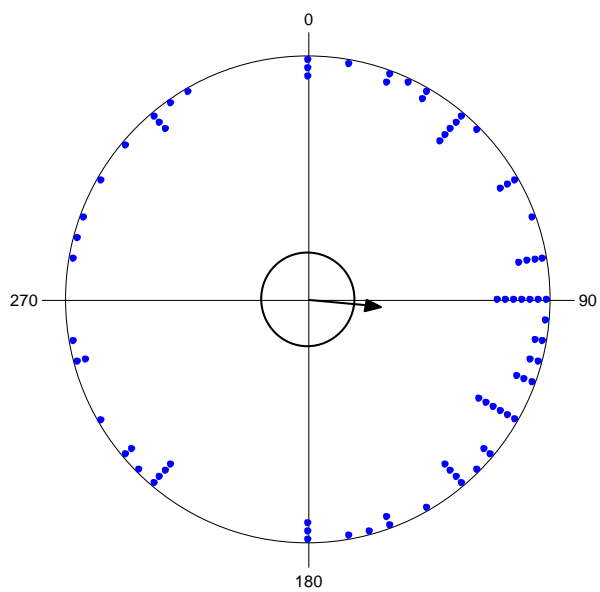
Lokalita 5

Příloha 6



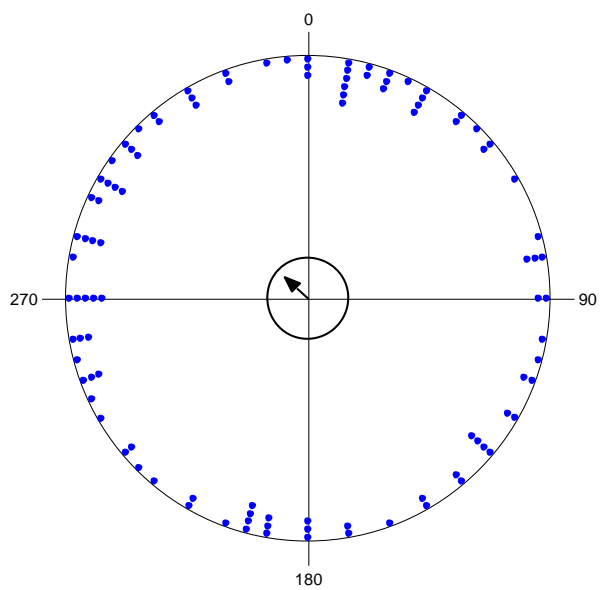
Lokalita 6

Příloha 7



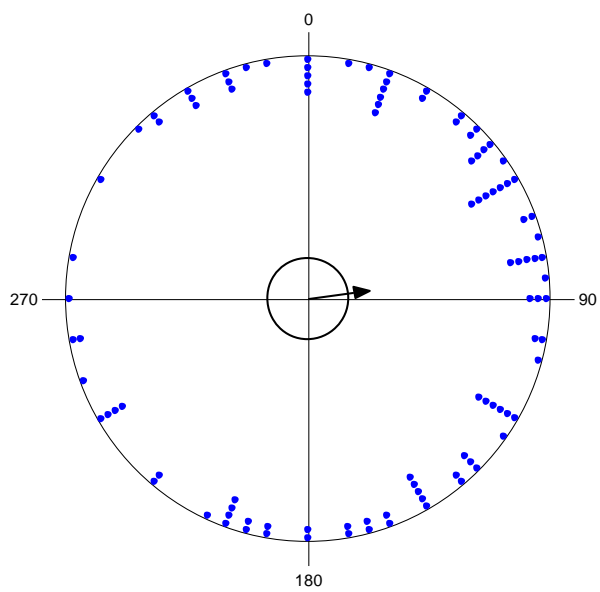
Lokalita 7

Příloha 8



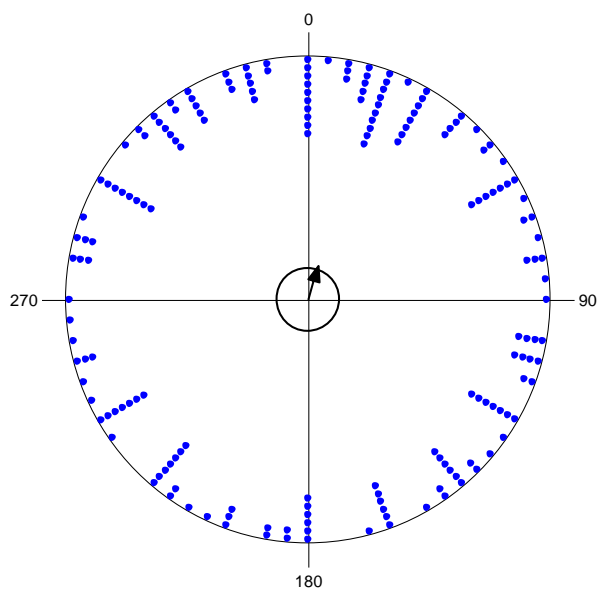
Lokalita 8

Příloha 9



Lokalita 9

Příloha 10



Lokalita 10