

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



**Druhová rozmanitost dřevokazných hub na
Karlovarsku a vliv magnetického pole Země
na růst plodnic.**

Bakalářská práce

Vypracovala: Petra Pokorná

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

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petra Pokorná

Územní technická a správní služba

Název práce

Druhová rozmanitost dřevokazných hub na Karlovarsku a vliv magnetického pole Země na růst plodnic.

Název anglicky

Species diversity of wood decaying fungi in the area of Karlovy Vary and the influence of geomagnetism over sporocarp growth.

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše k dané problematice a sledování druhového spektra nejběžnějších dřevokazných hub včetně magnetické orientace růstu plodnic.

Metodika

V bakalářské práci se zaměříte na zpracování literární rešerše k dané problematice, zdokumentování běžných druhů dřevokazných hub vyskytujících se na Karlovarsku a vliv magnetismu na směr růstu plodnic. Součástí práce bude statistické vyhodnocení dat. Vliv magnetismu bude sledován na plodnicích různých druhů dřevokazných hub rostoucích na stojících kmenech stromů. Směr plodnice bude měřen pomocí buzoly, přičemž každá plodnice bude s přiloženou buzolou vyfotografována.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

magnetismus, magnetická orientace, plodnice, dřevokazná houba

Doporučené zdroje informací

- Begall, S., Červený, J., Neef, J., Vojtěch, O. & Burda, H. 2008 Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 105, 13 451-13 455.
- Begall, S., Malkemper, S. E. P., Červený, J., Němec, P. & Burda, H. 2013 Magnetic alignment in mammals and other animals. *Mammalian Biology* 78, 10-20.
- Burda, H., Marhold, S., Westenberger, T., Wiltschko, W. & Wiltschko, R. 1990 Magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (Bathergidae, Rodentia). *Experientia* 46, 528-530.
- Červený, J., Begall, S., Koubek, P., Nováková, P. & Burda, H. 2011 Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biol. Lett.* 7, 355-357.
- 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* 7(12), doi:10.1371/journal.pone.0051100.
- 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. 2013 Directional compass preference for landing in water birds. *Frontiers in Zoology* 10(38), doi: 10.1186/1742-9994-10-38.
- Hart, V., Nováková, P., Malkemper, E.P., Begall, S., Hanzal, V., Ježek, M., Kušta, T., Němcová, V., Adámková, J., Benediktová, K., Červený, J. & Burda, H. 2013 Dogs are sensitive to small variations of the Earth's magnetic field. *Frontiers in Zoology* 10(80), doi:10.1186/1742-9994-10-80.
- Němec, P. & Vácha, M. 2007 Mechanizmy magnetorecepce. *Vesmír* 86, 284-289.
- Vácha, M. & Němec, P. 2007 Kompas a mapa – orientace v geomagnetickém poli. *Vesmír* 86, 224-228.
-

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petra Nováková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Elektronicky schváleno dne 5. 5. 2016

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 5. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Druhá rozmanitost dřevokazných hub na Karlovarsku a vliv magnetického pole Země na růst plodnic**“ vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Petry Novákové, PhD. Dále prohlašuji, že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

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

V Praze dne 20. 4. 2017

.....
Petra Pokorná

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí bakalářské práce, **Ing. Petře Novákové, PhD.** za poskytnuté materiály, velmi cenné rady, připomínky a odbornou pomoc při zpracování. Dále bych chtěla poděkovat celé své rodině za pomoc při fotografování plodnic.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vlivem magnetického pole Země na růst plodnic dřevokazných hub. Sledování probíhalo v několika lokalitách Karlovarského kraje. Práce je rozdělena do dvou částí. Teoretická část zahrnuje charakteristiku hub a rozdělení na škodlivé a užitečné, jejich výskyt a faktory ovlivňující vznik nákazy, základní poznatky o problematice magnetické orientace, mechanismy magnetorecepce, způsoby vnímání a reakce různých druhů živočichů na magnetické pole Země.

Praktická část je zaměřena na sledování růstu plodnic dřevokazných hub na kmenech stojících stromů v oblasti Karlovarska ve všech ročních obdobích. S pomocí buzoly byl určen směr růstu jednotlivých plodnic ze severní strany a následně s přiloženou buzolou byla každá plodnice zvlášť vyfotografována. Následovalo statistické vyhodnocení všech 210 ti snímků, přičemž se prokázala severojižní preference růstu plodnic.

Klíčová slova:

magnetismus, magnetická orientace, plodnice, dřevokazná houba

Abstract

This bachelor thesis deals with the influence of the Earth's magnetic field on the growth of wood-destroying fungi fruiting bodies. The monitoring took place in several locations in Karlovy Vary region. The work is divided into two parts. The theoretical part includes the characteristic of fungi and division to harmful and useful fungi, their prevalence and factors affecting the formation of the infection, basic knowledge about the issue of magnetic orientation, mechanisms of magnetoreception, perceptions and responses of various animal species to Earth's magnetic field.

The practical part is focused on monitoring of the growth of fruiting bodies of wood-destroying fungi on the trunks of trees standing in Karlovy Vary area in all seasons. With the help of a compass, the growth direction of the individual fruiting bodies was determined from the north side and then each fruiting body was photographed separately with compass. This was followed by the statistical evaluation of all 210 photos and the north-south preference of the growth of fruiting bodies was proved.

Keywords:

magnetism, magnetic orientation, sporocarp, woodsfailing mushroom

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíle	12
3. Literární rešerše.....	13
3.1 Dřevokazné houby	13
3.1.1 Obecná charakteristika dřevokazných hub	13
3.1.2 Houby stopkovýtrusné (Basidiomycetes)	15
3.1.3 Houby vřeckovýtrusné (Ascomycetes).....	15
3.1.4 Houby nedokonalé (Deuteromycetes).....	16
3.1.5 Výskyt dřevokazných hub.....	17
3.1.6 Užitečné dřevokazné houby	20
3.1.7 Škodlivé dřevokazné houby	21
3.1.8 Ochrana živých stromů před napadením dřevokaznými houbami.....	22
3.2 Faktory ovlivňující vznik nákazy.....	24
3.2.1 Výživa	24
3.2.2 Vlhkost.....	25
3.2.3 Houby a vzduch	25
3.2.4 Teplota a houby	26
3.2.5 Houby a světlo	26
3.2.6 Ekologie dřevokazných hub	27
3.3 Magnetorecepce	28
3.3.1 Magnetické pole Země	29
3.3.2 Magnetický kompas.....	30
3.3.3 Magnetická mapa	31
3.3.4 Chemická magnetorecepce – teorie radikálových párů	32
3.3.5 Elektromagnetická indukce	33
3.4 Magnetorecepce u jednotlivých druhů živočichů.....	33
3.4.1 Hmyz.....	33
3.4.2 Ryby.....	35
3.4.3 Obojživelníci a plazi.....	36
3.4.4 Ptáci	37
3.4.5 Savci	40
4. Metodika.....	43
4.1 Sběr dat.....	43
4.2 Charakteristika zájmového území.....	43

4.2.1 Karlovarsko.....	43
4.2.2 Kladensko	44
5. Výsledky práce.....	45
5.1 Karlovarsko.....	45
5.2 Kladensko	51
6. Diskuze.....	56
7. Závěr.....	57
8. Seznam použité literatury.....	58

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Dřevomorka domácí.....	19
Obrázek č. 2: Trámovka plotní.....	20
Obrázek č. 3: Magnetické pole Země.....	30
Obrázek č. 4: Mořské želvy využívající magnetické souřadnice.....	37
Obrázek č. 5: Zařízení pro testování orientace ptáků.....	39
Obrázek č. 6: Výsledky orientačních testů.....	39
Obrázek č. 7: Myškování.....	41
Obrázek č. 8: Měření.....	43
Obrázek č. 9: Mapa zájmového území.....	44
Obrázek č. 10: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic v oblasti Karlovarska.....	45
Obrázek č. 11: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic v oblasti Kladna – Rozdělova.....	51

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic Karlovarska.....	46
Tabulka č. 2: Výsledky sběru a měření na Karlovarsku.....	47
Tabulka č. 3: Axiální vyjádření růstu plodnic Kladna – Rozdělova.....	52
Tabulka č. 4: Výsledky sběru a měření na Kladensku.....	52

1. Úvod

Houby (Fungi), v minulosti označovány jako Mycophyta se řadí mezi živé organismy, které se vyskytují po celé Zemi. Dříve byly řazeny k rostlinám, nyní tvoří samostatnou říši. Patří mezi ně významní rozkladači, parazité i druhy využívané v potravinách a průmyslu (Chochel a Hrčka 2016).

Houby jsou velmi užitečné a nepostradatelné, rozkládají odumřelé dřevo a obnovují celý lesní ekosystém. Vyskytují se téměř všude a v početném druhovém zastoupení.

Přesto, že jsou velmi užitečné v rozkladu odumřelého dřeva a je na nich závislá jedna třetina všech rostlinných a živočišných druhů lesa, jsou to nebezpeční škůdci, kteří způsobují rozsáhlé poškození lesních stromů, a to na velmi dlouhou dobu. Napadají též dřevěné stavby a konstrukce, čímž mohou narušit jejich stabilitu. Jsou nejčastějšími škůdci dřeva. Dřevokazné houby jsou houby, které rozkládají živé nebo mrtvé dřevo. Škody způsobují v lesních ekosystémech i v lidských obydlích. Nejvíce zástupců pochází z chorošovitých a nelupenatých hub, ale patří sem i některé lupenate. Způsobují mnohé choroby dřeva, například bílou a hnědou hnilobu, ale i mnohé další.

Řada pozitivních i negativních vlivů hub byla vědecky prokázána. Práce se soustřeďuje na výskyt jednotlivých druhů, jejich popis a životní strategii. V biologii hub stále zůstává řada otázek nezodpovězených. Jednou z nich je vliv magnetorecepce. Výsledky bakalářské práce pomohou její vliv prokázat.

2. Cíle

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše k problematice dřevokazných hub, získání fotodokumentace různých druhů plodnic dřevokazných hub na Karlovarsku v časovém horizontu několika měsíců a za pomoci kompasu prozkoumat vliv magnetického pole Země na růst plodnic, případně další vlivy, které určují směr orientace.

3. Literární rešerše

3.1 Dřevokazné houby

Dřevokazné houby jsou houby, které potřebují pro svůj růst neživou organickou hmotu jako je dřevo. Dřevo je proti mikrobiálnímu rozkladu velmi odolné. Skládá se z hmoty obsahující polysacharidy jako je celulóza a lignin. Právě lignin je složitý a velmi odolný polymer, se kterým si poradí jen málokteré druhy mikroorganismů. Právě tady nastupují houby, které se s pomocí svých extracelulárních enzymů na tuto hmotu specializují. Nejdříve musejí narušit lignocelulózový komplex a pak postupně jednotlivé složky rozložit. Celulóza a další polysacharidy jsou velmi důležité pro jejich výživu. Aby mohly tyto zdroje využít, musejí rozložit lignin, který jim brání v rychlejším obsazení substrátu. Dělí se na houby bílé a hnědé hniloby. Houby bílé hniloby umějí lignin rozkládat rychleji. Obsadí co největší část dřevní hmoty a substrát si monopolizují pro sebe. Houby hnědé hniloby rozkládají jen polysacharidy a lignin zůstává ve dřevě. (Baldrian a Valášková 2008).

Celá řada dřevokazných hub se specializuje na určité druhy dřeva. Nejvíce rozrušují bělové dřevo. K nákaze dochází nejčastěji v místech poškození kůry, na povrchu dřeva a v místech ulomených větví. Fyziologicky oslabené kořeny jsou také vstupem pro patogeny (Černý 1976).

Houby bílé hniloby rozkládají rychleji lignin, aby obsadily co nejvíce dřevní hmoty a monopolizovaly si substrát pro sebe. Houby hnědé hniloby umějí rozkládat jen polysacharidy a lignin ve dřevě zůstává (Baldrian a Valášková 2008).

3.1.1 Obecná charakteristika dřevokazných hub

Dřevokazné houby patří do velmi různorodé skupiny nižších rostlin, jejichž společnou vlastností je porušovat dřevo (Voroncov a Červinková 1986).

Dle Rypáčka (1957) se dřevokazné houby vyskytují téměř ve všech biotopech, nejvíce v půdě a v rostlinném odpadu.

Převážná většina technicky důležitých dřevokazných hub jsou houby stopkovýtrusné (*Basidiomycetes*), početně menší skupinou jsou houby vřeckovýtrusné (*Ascomycetes*) a některé druhy, nebo lépe jejich konidiová stadia, jsou řazeny do třídy hub nedokonalých (*Deuteromycetes*). Tyto třídy

hub se pak dále dělí na řády, čeledi, rody, druhy i nižší taxony. Houby jsou jaderné stélkaté organismy (Voroncov a Červinková 1986).

Stélka hub má různé tvary a je tvořena jedno až mnohobuněčnými vlákny, tzv. hyfami (Svrček 1997).

Složení buněk je poněkud odlišné než u zelených rostlin. Buněčnou stěnu u vyšších hub tvoří převážně specifický houbový chitin (mycetin), který doplňuje hemicelulózy, látky pektinové, ligninové aj. Uvnitř buněk hyf je bílkovinami a polysacharidy bohatá plazma s vakuolami, popř. s tukovými kapkami, barvivy a pryskyřičnými látkami. Buňky mají jedno i více jader, nikdy však neobsahují chloroplasty ani jiné plastidocyty. Na rozdíl od zelených rostlin nejsou houby schopné fotosyntetické asimilace a živí se organickými látkami, které vytvořily jiné organismy – heterotrofní způsob výživy (Voroncov a Červinková 1986).

U vyšších hub rozlišujeme dvě části: část vegetativní – podhoubí (*mycelium*), část fruktifikační – plodnici (*sporocarp*), nesoucí rozmnožovací buňky – výtrusy (Rypáček 1957).

Výtrusy dřevokazných hub, jsou nepatrných rozměrů, a proto se velmi snadno a lehce přenáší vzdušnými proudy. Tyto vzdušné proudy vznikají i v uzavřených prostorech v bezprostřední blízkosti plodnic dýcháním houby. Na větší vzdálenosti jsou výtrusy roznášeny prouděním vzduchu, větrem, vodou, různými živočichy i lidmi. Ne všechny výtrusy jsou zdrojem nové infekce. Nezbytnou podmínkou k vyklíčení výtrusů je dostatečná vlhkost substrátu i ovzduší, ale i chemické vlastnosti dřeva, zejména jeho chemická reakce ovlivňující klíčení výtrusů. Výtrusy některých druhů hub dobře klíčí i na čerstvém zdravém dřevě, jiné potřebují dřevo upravené činností jiných dřevokazných hub, popř. jiných organismů (Voroncov a Červinková 1986).

Houby se rozmnožují dvěma způsoby – pohlavně a nepohlavně. Při pohlavním rozmnožování dochází ke splynutí hmoty dvou pohlavně rozdílných jader. Při nepohlavním rozmnožování naopak ke splynutí jader nedochází (Svrček 1997).

Dřevokazné houby se mohou rozmnožovat nejen sporií, ale i vegetativním způsobem, prostým přenosem částic mycelia v úlomcích dřeva apod. V tomto případě postupuje růst mycelia a rozvoj hniloby ještě rychleji než při sporové infekci, neboť se rozrůstá přímo již sekundární mycelium. Nejen klíčení spor, ale i vlastní růst mycelia vyžaduje určité podmínky, které nejsou pro jednotlivé druhy hub zcela stejné (Voroncov a Červinková 1986).

3.1.2 Houby stopkovýtrusné (Basidiomycetes)

Buňky stopkovýtrusné jsou eukaryotické buňky, jejichž buněčná stěna je složena z chitinu. Podhoubí má zpravidla nažloutlou barvu a zásobní látkou je glykogen. Stopkovýtrusné houby jsou saprofytické i parazitické (často dřevokazné). Mnoho druhů žije v symbióze (mykorhiza) s lesními dřevinami, pomáhají jim lépe vstřebávat vodu a chrání je proti houbám parazitickým (Voroncov a Červinková 1986).

Vzácně také stopkovýtrusé houby tvoří lišejníky (tzv. bazidiolišejníky). Jejich plodnice jsou vítanou potravou pro zvířata i pro člověka. Plodnice nesou výtrusné rouško. Typická plodnice se skládá z klobouku a třeně (nožičky). Výtrusorodé rouško je většinou naspodu klobouku, někdy také ale pokrývá celý povrch plodnice. Pýchavka ho má dokonce umístěno uvnitř plodnice. Samotná plodnice je tvořena propletenými houbovými vlákny, tělo houby je tvořeno článkovanými dikaryotickými (dvojjadernými) hyfami. Rozmnožují se pohlavně pomocí bazidiospor, tedy výtrusů, které vznikají ve specializovaných orgánech (bazidiích) na povrchu výtrusového rouška. U stopkovýtrusných hub je vývojový cyklus neobvyklý. Střídají se v něm dvě fáze. S jedním buněčným jádrem a se dvěma jádry. Je známo, že u těchto hub se střídá vícero druhů podhoubí (mycelia) (Anonymus 2017).

Primární mycelium (jednojaderné), tzn., že v každé buňce je jen jedno jádro. Sekundární mycelium (dvoujaderné) má dvě jádra v každé buňce. Terciální mycelium má také dvě jádra, ale vytváří speciální pletiva plodnic pseudoparenchym nebo plektenchym (Soukup et al. 2008).

Charakteristickým znakem pro rozmnožování stopkovýtrusných hub je tvorba bazidií, které nahrazují pohlavní orgány, ale pohlavní rozmnožování v nich neprobíhá. Nepohlavní rozmnožování provádí tzv. anamorfa. Nejjednodušším způsobem pohlavního rozmnožování zůstává fragmentace stélky. Mohou však vznikat i různé druhy nepohlavních výtrusů čili konidie (Příhoda 1953).

3.1.3 Houby vřeckovýtrusné (Ascomycetes)

Patří do nejpočetnější skupiny oddělení hub (asi 60 000 druhů). Až na kvasinky mají téměř všichni zástupci dobře vyvinuté článkové mycelium.

V přehrádkách mezi jednotlivými buňkami mycelia jsou otvory umožňující přechod cytoplazmy i buněčných jader (Kalina a Váňa 2005).

Charakteristickým znakem vřeckovýtrusných hub je tvorba pohlavních orgánů a specializovaných jednobuněčných sporangií, nejčastěji kyjovitého tvaru - vřecek. Vřecka obvykle obsahují osm výtrusů. Říkáme jim askospory a otvírají se nejčastěji víčkem nebo štěrbinou. U starších druhů vznikají vřecka na konci hyf, u vývojově mladších druhů vytváří výtrusorodou vrstvu na povrchu nebo uvnitř plodnic. Vřeckovýtrusné houby se rozmnožují pohlavně i nepohlavně (Příhoda 1953).

V běžném schématu převažuje haploidní hyfovité (vláknité) stádium. Tato vlákna mají v každé buňce jen jednu kopii genetické informace. Za určitých okolností vznikají na hyfě mnohojaderné pohlavní útvary (gametangia) větší samičí, menší samčí. Po kopulaci těchto orgánů vzniká mycelium, které je dikaryotické (v každé buňce má dvě jádra). Ve srovnání se stopkovýtrusnými houbami, ale existuje pouze krátkou dobu. Z dikaryotického mycelia se tvoří vřecka, zároveň dochází ke karyogamii (splývání jader). U některých druhů roste plodnice, u jiných vznikají pouze samostatné vřecka. V každém vřecku postupně proběhne meióza, díky které vzniká určitý počet spor – nejčastěji osm, řidčeji pak násobek osmi. Z těchto spor vyrůstá opět haploidní jednojaderné podhoubí a životní cyklus se vrací na začátek. Vřeckovýtrusné houby jsou schopny tvořit i nepohlavní výtrusy (konidie), a to i po velmi dlouhou dobu ve stadiu haploidního mycelia. Některé vřeckovýtrusné houby žijí v intercelulárách houbovitého parenchymu listů a vylučují toxiny jedovaté pro hmyz (Voroncova a Červinková 1986).

3.1.4 Houby nedokonalé (Deuteromycetes)

Je označení pro stopkovýtrusné a vřeckovýtrusné houby, které se rozmnožují nepohlavně. Houby nedokonalé (Fungi imperfecti) - nemají plodnice. Rozmnožují se vegetativně. Tvoří plísňové povlaky, modrání a měkkou hnilobu (Šimůnková 2000).

Patří sem asi 25 000 hub. Někdy je také označujeme jako anamorfní, kordialní, nebo mitosporické houby. Dříve byly jedním z oddělení hub, dnes už se však v systematice hub téměř nepoužívají. Nedokonalé houby se nehodí do žádného oddělení hub, protože mykologická taxonomie se zakládá především na pohlavních znacích, a ta u Deuteromycota chybí. Výtrusy (spory)

vznikají u těchto hub jen nepohlavní cestou. Stélka Deuteromycetů je složena z přehrádkovaných a rozvětvených hyf s mnohojadernými buňkami. K rozmnožování jim slouží konidie, vznikající na rozmanitých útvarech. Konidie vznikají na volných hyfách, na povrchu anebo uvnitř plodniček, tzv.konidiomů, které mohou být sporodochiem, koremiem, acervatem, pyknidou. Například konidie u rodu *Penicillium* jsou v řetězcích nesený na lahvicovitých buňkách, tzv.fialidách. Fialidy jsou ve svazcích nesený metulami, které vycházejí z větvi u rozvětveného typu konidioforu. Pokud větve i metuly chybí, konidiofor přímo nese lahvicovité fialky s řetízky konidií. U rodu *Aspergillus* vybíhá konidiofor v měchýřek, který nese primární a sekundární fialky po jeho obvodu a z nich pak jsou odškrabovány konidie (Voroncov a Červinková 1986).

3.1.5 Výskyt dřevokazných hub

Dle Voroncova a Červinkové (1986) můžeme houby poškozující dřevo rozdělit podle výskytu do tří skupin:

1. dřevokazné houby v budovách,
2. dřevokazné houby ve skladech,
3. dřevokazné houby v přírodě na živých dřevinách, nebo mrtvém dřevu.

Dřevokazné houby se objevují ve starších, ale i novějších cihlových domech a dřevostavbách. Při viditelném výskytu plodnice je nutný zásah. Houby vyskytující se v interiérech jsou z ekonomického hlediska nejvýznamnější skupinou dřevokazných hub (Gabriel 2013).

Tyto druhy hub rostou nejčastěji na zpracovaném a vestavěném dřevě v budovách obytných i neobytných. Nejobávanějším škůdcem dřeva je dřevomorka domácí - *Serpula lacrimans* (Wulf. Ex Fr.) Schroet, která není z volné přírody známa, stejně jako blízce příbuzná, ale u nás vzácná dřevomorka menší - *Serpula minor* (Falck ex Nicol.) Bond, dále pak koniofora sklepní - *Coniophora putina* (Schum. Ex Fr.) P. Karst, která však roste jak v přírodě, tak i v budovách. Kromě toho se vyskytují v budovách i jiné druhy hub, které sem však bývají většinou přeneseny s infikovaným dřevem ze skladů nebo z lesa, avšak k pravým domovním houbám nepatří (Voroncov a Červinková 1986).

Další skupinou jsou houby rostoucí na poraženém dřevu v lese, ve skladech dřeva, v dolech, ale i na užitkovém dřevu zpracovaném a vestavěném. Za zmínku stojí dvě trámovky. Trámovka plotní – *Gloeophyllum*

sepiarium (Wulf, ex Fr.) P. Karst a trámovka jedlová – *Gloephyllum abietinum* (Bull. Ex Fr.) P. Karst, vytváří v přírodě polokruhové až kruhové tuhé plodnice, bokem nebo středem přirostlé. Plodnice jsou na povrchu hrubě štětinaté, okrově rezavé až tmavohnědé a tvoří často dlouhé pásy. Dále pak bránovítec jedlový - *Hirschioporus abietinus* (Dick. Ex Fr.) Donk, a jiné. Napadené dřevo se zdá být zdravé, avšak uvnitř je poškozené (Gabriel 2013).

Všechny druhy hub napadající dřevěné části obytných budov tvoří zřetelné podhoubí povrchové a mimo to ještě podhoubí uvnitř dřeva (substrátové). Podhoubí uvnitř dřeva rozrušuje dřevo, kdežto podhoubí povrchové umožňuje houbě rychle se šířit. Zvláště vytváří-li houba na povrchu provazce, rozšiřuje se jimi až na velmi vzdálená místa a to i po takových částech, z nichž potravu vůbec nepřijímá, jako po omítce, cihlách apod. Proto jsou dřevokazné houby v obytných budovách velmi nebezpečné (Balabán a Kotlaba 1970).

Cílem dřevokazných hub je téměř vždy masivní dřevo. Ostatní materiály na bázi dřeva, resp. třísek a vláken – překližky, laťovky, vláknité a třískové desky, vrstvené, lepené lamelové dřevo, nebo kompozitní desky používané ve stavebnictví a nábytkářství bývají vůči napadení odolné. Mohou ale zejména ve vlhkém prostředí posloužit jako podklad pro růst a šíření mikroskopických hub (Gabriel 2013).

U většiny dřevokazných hub se podhoubí rozrůstá hlavně uvnitř dřeva (tvoří substrátové podhoubí) a na povrchu dřeva vytváří jen plodnice. To již bývá obyčejně houba v největším rozvoji a dřevo je většinou značně rozrušeno (Balabán a Kotlaba 1970).

Dřevokazné houby v přírodě na živých dřevinách nebo mrtvém dřevu, jsou skupinou zahrnující největší počet hub. Z hub vřeckatých mají velký význam různé druhy rodu *Hypoxylon*, velké škody v předmýtních porostech buku působí spálenka skořepalá - *Ustulina deusta* (Hoffm. Ex FR.) Lind (=U. vulgarit Tul.). Ze stopkovýtusných je to kromě pevníku rozpraskaného – *Xylobolus frustulatus* (Pers. Ex Fr.) P. Karst a pevníku chlupatého – *Stereum hirsutum* (Willd. Ex Fr.) S. P. Gray ještě pevník korkovitý – *Stereum rugosum* (Pers. exFr.), který roste na nejrůznějších odumřelých i živých listnáčích. Z chorošů ať už z parazitických nebo saproparazitických nalezneme na dřevinách v přírodě četné druhy, jako například sírovec žlutooranžový - *Laetiporus sulphureus* (Bull. Ex Fr.) Murill, choroš šupinatý – *Polyporus squamosus* (Huds.) ex Fr., troudnatec kopytovitý - *Fomes fomentarius* (L. ex Fr.) Kickx a další. Z lupenatých hub je nejškodlivější václavka obecná –

Armillaria mellea (Vahl. Ex Fr.) Kumm, která roste jak na mrtvém, tak i na živém dřevu, a stejně na jehličnanech jako na listnáčích. Dále pak václavka smrková - *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink, u které se plodnice vytváří koncem září a začátkem října a nacházejí se buď na bázích nebo kořenech, v trsech nebo jednotlivě. Houbě je lhostejné, zda je strom mrtvý nebo živý (Černý 1989).



Obrázek č.1: dřevomorka domácí (*Serpula lacrimans*)
(<http://www.biolib.cz/cz/image/id18136/>)



Obrázek č. 2: trámovka plotní (*Gloeophyllum sepiarium*)
(<http://botany.cz/cs/gloeophyllum-sepiarium/>)

3.1.6 Užitečné dřevokazné houby

Všechny dřevokazné houby nemají stejně účinné enzymy, avšak výsledkem činnosti jejich mycelia je ve všech případech destrukce dřeva. Jde-li o rozložení a odstranění suchých větví a větví na kmenu a v koruně stromů nebo o odstranění pařezů, jsou dřevokazné houby dobrými pomocníky lesníka a jejich význam v lesním hospodářství je kladný. Jde o skutečné saprofyty (hniložijné druhy), které rostou přímo na mrtvém dřevu. Patří sem např. pevník borový - *Stereum pini* (Schleich. Ex Fr.) Fr., pórnatka tisoř - *Poria taxicola* (Pers.) Bres., škrobnatec beztvář - *Aleurodiscus amorphus* (Pers. Ex Fr.) Rabenh. Činností těchto a podobných druhů je rozkládáno dřevo mrtvých větví a větévek, které pak záhy opadávají (Balabán a Kotlaba 1970).

Užitečné dřevokazné houby, které mají kladný význam pro lesní hospodářství, jsou houby rostoucí na pařezech. Svou činností napomáhají jejich rozkladu, aniž by při tom poškozovaly přirozenou strukturu lesní půdy. Při přirozeném rozkladu pařezů a kořenů stromů v lese zůstane v půdě celá

bohatá soustava různě širokých kanálků, což má význam pro vodní režim půdy. Na zetlených pařezech nebo kořenech také nejčastěji a nejlépe vyklíčí semena stromů, v těžkých hlinitých půdách je usnadňováno i pronikání kořenů do hlubších vrstev: to vše usnadňuje obnovu lesa přirozeným zmlazením. Čerstvé pařezy a kořeny rozkládá anýzovník vonný – *Osmoporus odoratus* (Wulf. Ex Fr.) Sing., opěnka měnlivá - *Kuehneromyces (Pholiota) mutabilis* (Schaeff. Ex Fr.) Sing et Sm. a šafránka červenožlutá - *Tricholomopsis rutilans* (Schaeff. exFr.) Sing. (Balabán a Kotlaba 1970).

Podíl odumřelého dřeva v současných hospodářských lesích je odhadován na základě šetření z let 1987 až 1991 na 7 % z celkové biomasy. Naproti tomu v přírodních lesích je uváděno téměř 30 % odumřelé dřevní hmoty z celkové zásoby porostu. Zjištěný objem odumřelé dřevní hmoty, ponechané jako běžný dřevní odpad, odpovídá dolní hranici, která je považovaná za optimální z hlediska péče o biodiverzitu (Jankovský a Čermák 2001).

Všechny dřevokazné houby mají pozitivní úlohu v přírodním koloběhu látek, neboť činností svého mycelia rozkládají dřevní hmotu, čímž napomáhají humifikaci a tím uvolňují životní prostor pro další jedince (Balabán a Kotlaba 1970).

3.1.7 Škodlivé dřevokazné houby

Činností mycelia dřevokazných hub dochází k rozkladu dřevní hmoty neboli k hnilobě, čímž je dřevo znehodnocováno. Jeho mechanické vlastnosti (zvláště pevnost), se snižují. Podle toho, zda houba napadá především dřevo jádrové, nebo naopak běl, rozeznáváme hnilobu jádrovou a bělovou. První typ hniloby působí např. sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*) a ohňovec borový (*Porodaedalea pini*), druhý typ hniloby např. klanolístka obecná (*Schizophyllum commune* Fr.), nebo outkovka chlupatá (*Trametes hirsuta*) (Wulf. Ex Fr.) Lloyd. V praxi se nejvíce používá rozdělení hnilob podle zbarvení dřeva, které způsobují. Nejdůležitější je hnědá, bílá a červenohnědá hniloba. V počáteční fázi hnědé hniloby je dřevo okrově žluté. V další fázi se ve dřevě začínají vytvářet jemné příčné a podélné trhlinky a v poslední fázi je dřevo tmavě hnědé a hranolovitě se rozpadá (Černý 1976).

Bílou hnilobu vyvolávají houby lignivorní, tj. takové druhy, které rozkládají (kromě celulózní složky dřeva) tmavý lignin, takže dřevo světlá.

Vlivem činnosti mycelia některých lignivorních hub dřevo rovnoměrně bělá, jindy má jenom světlé pruhy, nebo se v něm tvoří nápadné komůrky. Dřevo se stává měkké a vláknité nebo drobivé, ale nerozpadá se kouskovitě. Tento rozklad dřeva se nazývá korozivní a hniloba bílá a to buď vláknitá, nebo voštinovitá (Balabán a Kotlaba 1970).

Červené zbarvení mají buňky, které jsou změněné obrannou reakcí. Čerstvě napadené dřevo dostává šedomodrý nádech, potom bývá světle okrově hnědé (téměř nerozlišitelné od zdravého dřeva), následuje známé červenohnědé zbarvení (Černý 1976).

Červenohnědou hnilobu vyvolávají houby celulózovorní, tj. takové houby, které rozkládají jen celulózní (polysacharidickou) složku dřeva, takže dřevo tmavne uvolňovaným ligninem, stává se křehkým, lehce se láme a často kostkovitě praská. Tento rozklad dřeva nazýváme jako destrukční. Z lesnického hlediska považujeme za škodlivé ty, které škodí živým dřevinám, ale také ty, které napadají mrtvé stromy (stojící i pokácené, klády, kulatinu, polena atd.) Škody, které způsobují, jdou každoročně do miliónů (Balabán a Kotlaba 1970).

3.1.8 Ochrana živých stromů před napadením dřevokaznými houbami

Všechny druhy dřevokazných hub se dostávají do živé dřeviny nějakým zraněním, proto je nutné především zabránit vzniku poranění. To je možné zejména v ovocných sadech a zahradách, ale obtížné až neproveditelné v lesích. Poranění, jako počátek pro infekci parazitických a poloparazitických dřevokazných hub, vznikají působením lidské činnosti nebo přírody. Člověkem způsobená neúmyslná poranění vznikají především při průklestu a tvarování stromů, nebo mechanickými prostředky okolo cest a silnic při výsadbách. V lese je to výhradně při kácení stromů a přibližování dřeva a to ve velké míře. Zatímco zraněné ovocné stromy můžeme ošetřit štepařským voskem, či karbolíneem, při poranění u lesních stromů k tomuto nikdy nedochází. Proto se tam infekce šíří daleko snadněji. Jehličnany v lese se v místě zranění brání roněním pryskyřice, která většinou zabrání vniknutí infekce do stromu. Proti vnikání nákazy některých hub do kořenů stromu jsou však i jehličnany většinou bezbranné (Černý 1976).

Přírodou způsobenými poraněními dřevin jsou zejména mráz, který postihuje hlavně listnáče, praskliny a puchýře, poranění způsobené zvěří (vytloukáním jeleního paroží) a v neposlední řadě poranění způsobená větrem a bleskem. S těmito poraněními se setkáváme u dřevin všech druhů, jak v parcích, ovocných sadech a zahradách, tak i v lesích. Na rozdíl od lesních porostů, můžeme u ovocných zabraňovat před mrazem zastiňováním, nebo bílením kmenů. Zastiňování není v lese zapotřebí, protože stromy si částečně zastiňují. Poranění způsobená zvěří, hlavně loupání kůry jelení zvěří a ohryz zajíci, lze omezit, nebo jim zcela zabránit jak v ovocných sadech, zahradách a alejích, tak v lese ohrazováním mladých a středně starých výsadeb nebo natíráním mladých stromků odpudivými látkami, repelenty. Naproti tomu ochrana před větry a bleskem prakticky neexistuje, i když činností těchto činitelů vznikají značné škody a poranění (oběťmi větrů však často bývají dřevokaznými houbami již napadené a proto zeslabené stromy). Takto vzniklá poranění bývají někdy ošetřena u ovocných stromů, avšak nikoliv u stromů lesních (Balabán a Kotlaba 1970).

K nákaze jsou též náchylnější stromy rostoucí v blízkosti lesů, s odumřelými větvemi, špatně řezané a zanedbané. V hustém zápoji a s přehoustlými korunami (Anonymus 2017).

Nezbytně nutné je se vždy snažit předcházet vzniku poranění. Jestliže se však už nákaza do dřevin dostala a dřevokazná houba začíná tvořit plodnice (podle kterých ve většině případů poznáme, že strom byl napaden), pak je jen malá naděje na úspěšný boj s houbou. Nemá žádný význam odstraňovat plodnice, neboť houba dále nerušeně roste ve dřevě, které rozkládá a po kratší či delší době dále vytváří plodnice nové. U ovocných stromů plodnice odstraňujeme spíše z estetických důvodů, ale také abychom alespoň zabránili rozsevu výtrusů a možnosti další nákazy do okolních zdravých stromů. Účinnější je odstraňovat napadené části (větve), nebo ještě lépe kácet a spalovat celé stromy. Zdrojem infekce bývají nejčastěji přestárlé stromy, prolezlé houbami a pařezy. V lesním hospodářství používáme rovněž jako určitou obranu přeměnu porostů. Znamená to, že tam, kde jsou např. napadeny jehličnaté dřeviny, vysazujeme listnáče a měníme tak porost buď na listnatý, nebo ještě lépe smíšený (Balabán a Kotlaba 1970).

3.2 Faktory ovlivňující vznik nákazy

Dřevokazné houby potřebují ke svému rozvoji kromě výživného substrátu, kterým je dřevo, také vhodné fyzikálně chemické složení a příznivé vnější podmínky, jako jsou vlhkost, vzduch, teplota aj.

3.2.1 Výživa

Přímo pro svoji výživu je pro houby nejdůležitější celulóza a další polysacharidy. Jak už bylo řečeno, výživa dřevokazných hub závisí především na substrátu (dřevě), v němž houby žijí. Hlavním zdrojem je uhlík v celulóze, hemicelulóze, ligninu aj. Dále je to dusík v bílkovinách a peptonech a další minerální látky jako například draslík, vápník, hořčík, fosfor, ale i stopové prvky a vitamíny. Všechny tyto látky však nejsou houbám volně přístupné a houby je musí nejprve za pomoci enzymů rozštěpit na jednoduché, rozpustné ve vodě a jim přístupné (Baldrian 2009).

Podle toho, které složky dřevní buňky houby rozkládají, dělí se na dvě základní skupiny: houby celulózovorní - rozkládající celulózní složku dřeva a houby lignivorní, které kromě celulózní složky, rozkládají také lignin. Houby lignivorní produkují oxydázy, štěpící lignin, polysacharázy a oligosacharázy, což jsou štěpící polysacharidické složky dřeva. Tato enzymatická činnost není u všech lignivorních druhů hub stejná. Některé druhy rozkládají nejdříve lignin a pak celulózu (např. outkovka pestrá), jiné nejdříve celulózu a pak lignin (václavka obecná), nebo rozkládají obě složky současně (kořenovník vrstevnatý). Dřevokazné houby produkují ještě mnoho dalších enzymů, které také uplatňují při rozkládání dřeva. Zvláštní skupinu tvoří houby, které nemají schopnost produkovat enzymy a ve své výživě se musí spokojit pouze látkami, které jsou obsaženy uvnitř buněk (bílkoviny, tuky, škrob, minerály aj..). Nejsou to tedy houby, které rozkládají dřevo, přesto ovlivňují některé jeho mechanické vlastnosti. Říká se jim dřevozbarvující houby a patří k nim houby z rodu *Ceratocystis*, díky nimž dřevo modrá. Rovněž některé vláknité houby, vytvářející plísňovité povlaky, nemají schopnost rozkládat dřevní buňky. V procesu látkové výměny však vytváří organické kyseliny, kterými okyselují substrát. Připravují tak, podobně jako některé druhy vyšších hub, prostředí pro vývoj dalších hub, daleko nebezpečnějších. Je známo, že právě dřevomorka domácí vyžaduje kyselejší prostředí (Voroncov a Červinková 1986).

3.2.2 Vlhkost

Vlhkost prostředí je velmi důležitá pro vyklíčení výtrusů, ale i pro samotný rozvoj mycelia, enzymatickou činnost a vlastní rozklad dřeva. Jednotlivé druhy hub vyžadují různou vlhkost substrátu. Podstatný význam má i vzdušná vlhkost, která ovlivňuje samotný vývoj hub. Některé druhy hub ji přímo vyžadují, jako je např. v dolech, sklenících, nebo i v krajinách s častou mlhou (Voroncov a Červinková 1986).

Vlhkost dřeva je rozhodujícím faktorem poškození a souvisí s obsahem vzduchu ve dřevě, který houby nutně potřebují k životu (Černý 1976).

Obecně se udává, že spodní hranice je přibližně kolem 20 až 24 % vlhkosti dřeva (Černý 1976).

Dle Gandelové (2004) je optimální vlhkost dřeva pro růst dřevokazných hub 30 – 80 % a teplota 18 – 32 °C. Při vlhkosti pod 20 %, tj. asi 12 – 15 %, dřevu napadení houbami nehrozí.

Dobře vysušené dřevo a skladované v suchém prostředí, je dostatečně chráněno před rozvojem dřevokazných hub. Výjimku tvoří dřevomorka domácí, která si pomocí metabolické vody substrát sama zvlhčuje. Vlhkost potřebuje jen na počátku svého vývoje a to pro vyklíčení výtrusů a růst mycelia (Voroncov a Červinková 1986).

3.2.3 Houby a vzduch

Vzduch potřebují houby k dýchání i k růstu. Největší spotřebu kyslíku mají v počáteční fázi tlení. Důležitý je i obsah vzduchu ve dřevě. Při jeho nedostatku přestávají růst. Nemohou růst např. ve dřevě ponořeném pod vodní hladinou. Dřevokazné houby potřebují určité množství vzduchu, které je dáno mezními hodnotami (Svatoň 2000).

Respirační procesy zajišťují veškerou energii potřebnou k životním pochodům. Minimální objem vzduchu, který houby pro svůj růst vyžadují, je rozdílný u jednotlivých druhů, popř. i kmenů. Houbám parazitujícím na živých stromech stačí menší obsah vzduchu (např. pro kořenovník vrstevnatý udává Rypáček 1957, minimum 10 %), houby saprofytické vyžadují většinou více (kolem 20 %). Tyto kritické minimální hodnoty objemu vzduchu, stejně tak jako objemu vody, jsou ovlivňovány objemovou hmotností dřeva – jeho hustotou. U lehkého pórovitého dřeva zbývá více prostoru pro vzduch či vodu než u těžkého dřeva tvrdých listnáčů. Procenticky vyjádřené kritické

hodnoty bez udání objemové hmotnosti dřeva je nutné považovat za přibližné. Kromě celkového objemu vzduchu je pro houby důležité i jeho složení (Voroncov a Červinková 1986).

3.2.4 Teplota a houby

Teplota prostředí rovněž velmi ovlivňuje růst a vývoj hub. Vývoj hub se může uskutečnit jen v určitém teplotním rozpětí, které označujeme jako minimální a maximální teplotu. Pro růst dřevokazných hub leží dolní hranice mezi 2 – 5 °C, horní hranice mezi 35 – 40°C. V tomto teplotním intervalu má každý druh své teplotní optimum, při kterém je růst nejintenzivnější (u většiny druhů 25 - 30°C). Pro život hub jsou velmi důležité i teploty letální, které je již usmrcují. Mycelia hub jsou velmi citlivá vůči vysokým i nízkým teplotám. Houby žijící ve volné přírodě přirozeně lépe snášejí teplotní výkyvy. Rhizomorfy, sklerocia i spory dobře přežívají i při extrémních teplotách (Scháněl 2003).

Naopak dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*) - typická domovní houba, je velmi citlivá na teplotní změny, zejména na vyšší teploty. Teplota 40°C po dobu 15 minut již usmrcuje její mycelium. Mycelium trámovky plotní (*Gloeophyllum sepiarium*) usmrtila až teplota 60°C a to až po hodinovém působení. Také vůči nízkým teplotám je dřevomorka citlivější než ostatní druhy dřevokazných hub. Podle pokusů Lieseho (1931) vydrželo 90 druhů dřevokazných hub silné mrazy (až -26 °C) po dobu 14 dnů (Voroncov a Červinková 1986).

Dle Gandelové (2004) se teplota prostředí pro rozvoj dřevokazných hub pohybuje podle druhů od 18 – 32 °C.

Znalost kritických hodnot teplot pro růst mycelia jednotlivých druhů hub, stejně jako letálních teplot, je důležitá nejen pro pochopení ekologických podmínek života hub, ale dá se využít k omezování nežádoucího rozvoje dřevokazných hub (Voroncov a Červinková 1986).

3.2.5 Houby a světlo

Dalším faktorem ovlivňujícím výskyt dřevokazných hub může být i světlo. Nemá rozhodující vliv, ale některé druhy na něj reagují růstem jiných plodnic než ve tmě nebo ve stínu. U některých druhů hub (dřevomorka

domácí) byl pozorován lepší růst mycelia ve tmě, jiné druhy (trámovka plotní nebo lenovník šupinatý) mají plodnice vyrostlé ve tmě morfologicky odlišné a někdy i sterilní. Přímé sluneční světlo naopak některým druhům škodí. Velmi důležité je i pH prostředí (Voroncov a Červinková 1986).

Svatoň (2000) uvádí, že optimální pH prostředí pro dřevokazné houby je 5 – 6,5.

Oproti tomu Voroncov a Červinková (1986) tvrdí, že některé druhy hub rostou i při pH 1,2 – 11.

3.2.6 Ekologie dřevokazných hub

Způsob zkoumání ekologie dřevokazných hub prodělal v posledních letech s rozvojem molekulárních přístupů, dramatický vývoj (Lindner et al. 2011).

Ekologie dřevokazných hub je velmi složitá. Jedná se o několik vzájemně se prolínajících vlivů. Většina dřevokazných hub zaujímá dosti velké geografické areály, přestože vyložených kosmopolitů je velmi málo. Například outkovka pestrá (*Trametes versicolor*), sírovec žlutooranžový (*Laetiporus sulphureus*), ohňovec dotýkavý (*Fuscoporia contigua*). Kromě klimatu jsou to především základní požadavky jednotlivých druhů hub na výživu (substrát), ve kterém žijí, jeho chemické složení i vzájemný poměr vody a vzduchu, dále pak mikroklimatické podmínky jako jsou: vzdušnost, teplota, světlo, pH prostředí atd. Všechny tyto faktory vymezují jednotlivým druhům hub životní prostor. Některé druhy dřevokazných hub mají požadavky přísně vymezené a rostou jen na dřevinách téhož rodu (např. březovec obecný na břízách, ohňovec Pouzarův na jedlích nebo jen výjimečně i na jiných dřevinách (sítkovec dubový, ohňovec borový). Některé druhy hub se specializují na dřevo jehličnanů (trámovka plotní, houževnatec šupinatý, kornatka obrovská), jiné zase na listnáče (pevník chlupatý, troudnatec kopytovitý, choroš šupinatý). Je však mnoho dřevokazných hub, kterým nezáleží na výživném substrátu, rostou na dřevě téměř všech živin a některé dokonce na čemkoliv, co obsahuje celulózu, např. dřevomorka domácí. (Voroncov a Červinková 1986).

3.3 Magnetorecepce

Magnetické pole Země představuje ochranu před kosmickým zářením Slunce a ovlivňuje život na Zemi. Využívají ho lidé i zvířata. Zatímco lidem může být nápomocný kompas (který vynalezli staří Číňané dávno před začátkem našeho letopočtu), zvířata mají jakousi „GPS“ někde v těle, která jim napomáhá orientovat se např. ve tmě, v hloubce, při velké oblačnosti, v jeskyni. Jedná se o tzv. šestý smysl (Johnsen a Lohmann 2008; Muheim a Deutschlander 2010).

Využití magnetismu v orientaci je známo více jak 4 000 let, ale jeho zkoumání pochází až z druhé poloviny 19. století (Holá 2009).

Tato schopnost se nazývá magnetorecepce a již byla prozkoumána u mnoha druhů živočichů. Pro detekci magnetického pole rozlišujeme tři hlavní mechanismy, kterými jsou: elektromagnetická indukce, magnetitová hypotéza a mechanismus radikálových párů. Rozdělujeme je na nezávislé na světle (elektromagnetická indukce a magnetitová hypotéza) a závislé na světle (mechanismus radikálových párů). Magnetorecepce je schopnost vnímat magnetické impulzy, jejich intenzitu a směr a přenést je nervovými drahami do mozku, kde jsou extrahovány, zpracovávány a je na ně vytvořena příslušná reakce (Wiltschko a Wiltschko 2006).

Magnetorepceci mohou využívat někteří živočichové ke své orientaci. Tuto informaci si pomocí magnetoreceptorů dokážou brát přímo z magnetického pole. První teorie pochází z druhé poloviny 19. století, ale teprve v posledních dvaceti letech se vědcům povedlo dát dohromady dostatek důkazů pro její všeobecné přijetí (Able 1994).

K plnému přijetí nového smyslu bychom měli znát magnetoreceptor a také převodní mechanismus. Bohužel nevíme, kde přesně ho hledat, protože magnetické pole je všude a proniká celým tělem bez omezení. Magnetoreceptory mohou být obsažené ve tkáních, nebo v kaskádách chemických reakcí a také je možné, že orgán zprostředkovávající magnetorepceci nemusí existovat vůbec (Vácha a Němec 2007).

V dnešní době je magnetorecepce jedním z nejzkoumanějších témat smyslové fyziologie a je považována za šestý smysl zvířat (Johnsen a Lohmann 2008; Muheim a Deutschlander 2010).

O hypotéze, která předpokládá, že živočichové jsou schopni pro svou orientaci využívat magnetické pole Země, byl přesvědčen už v roce 1859 Alexander Theodor von Middendorff. Tato hypotéza byla postupně

potvrzována až téměř o 100 let později předně díky behaviorálním experimentům (Vácha a Němec 2007).

3.3.1 Magnetické pole Země

Magnetické pole Země je dipólového charakteru. Jeho póly jsou umístěny poblíž pólů zemské osy. Pod úhlem $+90^\circ$ vůči zemskému povrchu opouštějí magnetické siločáry Zemi na jižním magnetickém pólu. U rovníku mají sklon k povrchu 0° , jinak se ohýbají podél Země a na severním pólu zase vstupují do Země a to pod úhlem -90° . Úhel magnetického vektoru k vodorovné rovině se nazývá inklinace (Winklhofer 2010).

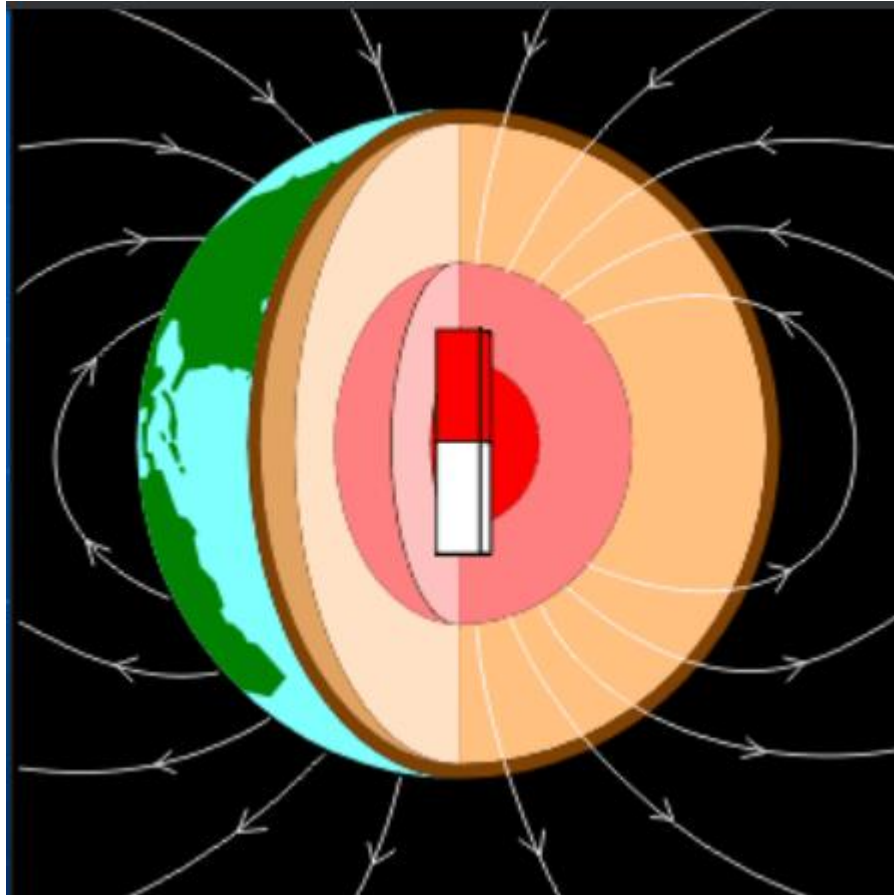
Když magnetický vektor na jižní polokouli stoupá vzhůru, jedná se o zápornou inklinaci. Pro severní polokouli pak platí pravý opak. Kde magnetický vektor klesá, inklinace je definována jako pozitivní. Čáry, které spojují místa na mapě se stejnou inklinací, se nazývají izokliny. Téměř lineární je severojižní gradient. Magnetická inklinace se postupně mění, zrovna tak jako síla magnetického pole, která je největší na pólech a je jedinečná pro každou zeměpisnou šířku. Hodnota inklinace může přinést informaci o tom, zda se živočich nachází na jižní či severní polokouli (Wiltschko a Wiltschko 2010).

Síla magnetického pole je nejnižší kolem rovníku a nejvyšší na pólech. V některých místech může být magnetické pole deformováno obsahem různých materiálů v zemské kůře a může docházet k vytváření magnetických anomálií. Ty mohou způsobit snížení nebo zvýšení magnetické intenzity. Čáry, které spojují místa se stejnou intenzitou, se označují jako izodynamy. Na východozápadní ose zemského povrchu se vyskytuje gradient intenzit. Tato informace o síle geomagnetického pole (dále jen GMP) by mohla být součástí mapového systému. Intenzita GMP se může lišit nejen po celém světě, ale také v čase (Wu a Dickman 2012).

GMP má charakter vektoru. Mezi jeho složky patří celková intenzita (H) vyjadřující jeho sílu, jednotkou je ampér/metr (A/m) a inklinace udávající sklon tohoto vektoru k horizontální rovině (Lohmann a Lohmann 2007).

Magnetické pole poskytuje živočichům dva druhy informací. Jednou z nich je informace směrová (kompasová), která je základem kompasového smyslu a je dána směrem magnetického vektoru. Druhá informace je smyslu

mapového a pojednává o změně celkové intenzity nebo úhlu inklinace tvořící gradient od magnetického pólu k rovníku (Johnsen a Lohmann 2005).



Obrázek č. 3: Magnetické pole Země (Astro, 2004).

<http://www.astro.cz/clanky/slunecni-soustava/magneticke-pole-zeme.html>

Magnetické pole Země je všudypřítomné, to znamená, že není místo na Zemi, kde by se vytratilo (Holá 2009).

3.3.2 Magnetický kompas

Kompasový smysl používají někteří živočichové k určení směru a orientace pomocí GMP. Pravděpodobně je tento smysl rozšířen v celé živočišné říši. Rozlišujeme dva typy magnetického kompasu a to polaritní a inklinanční. Rozdíl je ve zpracování magnetické informace. Polaritní kompas dokáže rozpoznat polaritu pole a směr vektoru. Jak střelka technického kompasu rozlišuje mezi severem a jihem. Vynulování ani převrácení nemá

žádný vliv na jeho funkci. Využívají ho langusty, někteří bezobratlí (Wiltschko a Wiltschko 2006), lososi (Lohmann et al. 2008) nebo rypoši (Marhold et al. 1997).

Inklinační kompas udává polaritu GMP sekundárně. Ze sklonu celkového vektoru k zemi, je schopen rozpoznat směr magnetického vektoru, ale ne jeho polaritu. Živočichové dokážou rozeznat sklon magnetických siločar, a to zda siločáry směřují vzhůru nebo dolů. Směr vzhůru znamená směr k rovníku, směr dolů určuje směr k magnetickému pólu (Wiltschko a Wiltschko 2005).

Existuje například u ptáků (Wiltschko a Wiltschko 1972; Wiltschko a Wiltschko 2006), mořských želv (kareta pravá; *Caretta caretta*) a čolků (čolek zelenavý; *Nothopalmus viridescens*) (Philips a Borland 1992).

V laboratoři byl testován typ magnetického kompasu u Potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Při experimentech mezi tréninkem a testem byla vertikální složka pole otočena, na což brouk reagoval otočením preferovaného směru o 180°, což také signalizuje využívání inklinálního kompasu (Vácha et al. 2008).

Diagnostickým testem pro určení kompasového typu je reakce na pokusné obrácení inklinace GMP. Otočení vertikální, ale i horizontální složky magnetického pole navodí změnu směru pohybu a lze tak vyvodit použití inklinálního kompasu. Charakteristickou vlastností magnetického inklinálního kompasu ptáků je to, že funguje jen v relativně úzkém funkčním okně magnetické intenzity. Při zvýšení nebo snížení místní intenzity asi o 30 % dochází u červenky obecné (*Erithacus rubecula*), pěnice slavíkové (*Sylvia borin*) a kura bankivského (*Gallus gallus*) k dezorientaci (Wiltschko et al. 2007).

3.3.3 Magnetická mapa

Navigační schopnost určit zeměpisnou polohu s pomocí GMP a určit směr k cíli má magnetická mapa. Živočichové mají možnost využívat také lokálních anomálií magnetického pole Země nebo celoplanetárních gradientů, které jim slouží jako geografické značky a umožňují jim rozpoznat domovskou lokalitu od jiných vedlejších lokalit (Fraser et al. 2010).

Informace o poloze z prostorového kolísání v intenzitě a inklinaci magnetického pole může být využita k velmi přesné orientaci k cíli (Wiltschko a Wiltschko 2005).

U různých druhů zvířat (mořských želv, langust, čolků a ptáků), bylo využívání magnetické poziční informace prokázáno. To naznačuje, že tento systém je fylogeneticky velmi rozšířen (Lohmann a Lohmann 2007).

Využití magnetické mapy oproti kompasovému smyslu, vyžaduje mnohem vyšší citlivost na změny v intenzitě a směru složek GMP (Johnsen a Lohmann 2005).

Výše popsané typy orientace podle magnetického pole mohou mít svůj souvztažný pojem v různých mechanismech detekce. Předpokládá se, že inklinální kompasová schopnost je vázána na tzv. chemický mechanismus radikálových párů. Pro funkční smysl magnetické mapy je naopak tento mechanismus pro svou malou citlivost k malým změnám parametrů pole nepravděpodobný (Wiltschko a Wiltschko 2006).

3.3.4 Chemická magnetorecepce – teorie radikálových párů

Receptory existující v sítnici nebo epifýze obsahují fotorpigmenty závislé na poloze vůči magnetickému poli. Za pomoci světla vznikají chemickou řetězovou reakcí radikálové páry. Chemická reakce začíná přenosem elektronu z donorové molekuly na akceptorovou molekulu, čímž dojde k tomu, že každá molekula nese jeden nespárovaný elektron a mohou spolu vytvořit jeden radikálový pár (Lohmann 2010).

Po určitém čase se přesunovaný elektron vrací zpět k donorové molekule a buď si podrží původní opačnou rotaci - singletový stav, kde jsou spiny antiparalelní, nebo se překlopí do souhlasné rotace - tripletového stavu, kde jsou spiny paralelní (Mouritsen a Ritz 2005).

Při přechodu mezi singletem s antiparalelním spinem mění směr magnetického pole svou dynamiku, což může ovlivnit interkonverzi. Tím vznikají různé poměry molekul s různými spinovými stavy (Lambert et al. 2013).

V současnosti jedinými známými fotorpigmenty tvořícími radikálové páry jsou kryptochromy (Wiltschko a Wiltschko 2006).

Buňky citlivé na magnetické pole se nacházejí i v epifýze. Zajímavé je, že i holubi s vyoperovanou epifýzou jsou schopni bezchybné orientace, ale jejich funkce zatím není jasná. Dále bylo zjištěno, že mechanismus radikálových párů není aktivní ve tmě, což bylo dokázáno při testování ptáků,

kterí ho ve tmě nahradili jiným magnetorepčním mechanismem (Winklhofer 2010).

3.3.5 Elektromagnetická indukce

Elektromagnetická indukce se nejspíš uplatňuje jen u některých druhů mořských živočichů (ryby, žraloci, mihule, vodní obojživelníci). Využívá elektricky a magneticky citlivých Lorenziho ampulí a vodivosti mořské vody. Na nabitě částice, které se pohybují v magnetickém poli, působí síla kolmá ke směru jejich pohybu. Velikost této Lorentzovy síly záleží na náboji, rychlosti částic a intenzitě GMP (Johnsen a Lohmann 2005).

Změny v elektromotorickém napětí vyvolané pohybem v magnetickém poli, mohou vnímat mořští živočichové, kteří mají elektroreceptory. Doposud však nebyl získán přímý důkaz o tom, že živočichové využívají pro detekci GMP elektromagnetickou indukci (Wiltschko a Wiltschko 2005).

3.4 Magnetorecepce u jednotlivých druhů živočichů

Schopnost vnímat geomagnetické pole Země představuje fascinující a dosud téměř neprobádaný biologický fenomén. Ptáci, motýli monarchové a mnoho dalších druhů živočichů je schopno rozpoznat směr siločar geomagnetického pole. Vliv magnetických a elektromagnetických polí na biologické systémy se intenzivně zkoumají. Paradoxní je, že v dnešním světě, který nabízí tolik technických vymožeností, toho smyslová fyziologie a biofyzika vědí pořád tak málo o citlivosti živočichů k přirozenému GMP, které nás provází od samého počátku evoluce. Dostatek důkazů pro všeobecné přijetí magnetorecepce se neuroetologům podařilo shromáždit až přibližně v posledních dvaceti letech (Vácha a Němec 2007).

3.4.1 Hmyz

Prvním z živočišných modelů, na kterém se v 60. letech 20. století začala zkoumat magnetorecepce, je hmyz. Pionýrská desetiletí patřila výzkumu včel a jejich tanečků, nebo jejich schopnostem v nacházení potravy, tedy chování, odhalující citlivost na magnetické pole. Dnešní výzkum patří jak

migrujícím monarchům stěhovavým, tak i octomilce rodu *Drosophila* a řadě dalších druhů a to vždycky s ohledem na zásadní a podstatnou otázku: jak vlastně magnoreceptor funguje. Zatímco v začátcích nikdo neuvažoval o jiném principu než o zrnčích magnetitu, poslední desetiletí nahrává spíše konkurenční hypotéze radikálových párů, která je postavena na kryptochromech (pigmentech schopných fotochemických reakcí citlivých na magnetická pole). Dodnes však přesně nevíme, jak receptor funguje, ani kde se v těle hmyzu nachází a u některých druhů dokonce ani to, k čemu je svým majitelům dobrý (Bartoš et al. 2015).

Magnetorecepci hmyzu je přiřazován dvojí systém. Prvním je systém založený na existenci oxidu železa v tkáních, který může vyvolávat příslušné elektromagnetické změny a nervové činnosti. Druhý systém je založen na již zmíněné teorii radikálových párů. Přítomnost magnetitových částic byla poprvé prokázána v roce 1970 u bakterií (Vácha 1994).

Pak následovala řada studií jiných druhů, například mravenců (Wajnberg et al. 2004; Abracado et al. 2005), termitů (Alves et al. 2004), včel (Hsu a Li 1993; Oliveira et al. 2005; Lucano et al. 2006) a brouků potměnků (Tomanová 2009; Vácha et al. 2009). Průkopníkem výzkumu magnetické orientace se před několika desítkami let stala včela medonosná (*Apis mellifera*), které byla z hlediska magnetorecepce věnována největší pozornost (Walker a Bitterman 1985).

Včela medonosná má jak je známo vysoce vyvinutý navigační a komunikační smysl. Tzv. „kývavým tancem“ informuje o směru a vzdálenosti potravy od úlu. Je schopna používat naučené vzory barev, tvary a pachy (Srinivasan 2010).

Bylo prokázáno, že smyslový systém včel je velice citlivý a dokáže rozlišovat i slabé magnetické anomálie. Tím je orientace včel ovlivněna změnami v intenzitě a polaritě magnetického pole (Gould et al. 1980).

Jak již bylo v příkladech uvedeno v kapitole 3, severojižní preference se prokázala u mnoha druhů savců, ptáků, ryb i obojživelníků. Všichni živočichové však nepreferují severojižní osu. Při výzkumu magnetorecepce se prokázalo, že např. zástupci rypošovitých upřednostňovali jiný směr než severojižní. *Fucomys ansellii* jihovýchodní (Burda et al. 1990; Moritz et al. 2007), zatímco *Fucomys mechowii* a *Heliophobius argenteocinereus* upřednostňovali směr západní (Oliveriusová et al., 2012). Magnetická preference směru se může taxonomicky lišit (Begall et al. 2012).

3.4.2 Ryby

Kirschvink et al. (1985) uvádějí, že se první důkazy o magnetoreceptci ryb objevily v 70. letech minulého století. Výzkumy se týkaly převážně migrujících druhů ryb.

Magnetitové částice byly nalezeny v lebce u čichové kosti tuňáka žlutoploutvého (*Thunnus albacares*), u lososa čavyči (*Oncorhynchus tshawytska*) byly částice nalezeny v nosní chrupavce (Walker et al. 1984).

U pstruha duhového (*Oncorhyncha mykiss*) a lososa nerky (*Oncorhynchus nerka*) byly magnetitové částice nalezeny v čichovém ústrojí (Eder et al. 2012).

U pstruha duhového bylo novozélandskými vědci zjištěno, že jedna postranní větev trojklaného nervu reaguje na magnetické impulzy. V místě zakončení tohoto nervu v nosní sliznici, pak byly objeveny drobné řetězce magnetitových krystalků schopných reagovat na vnější magnetické pole (Vácha a Němec 2007).

Lososi patří společně s želvami mezi významné migranty. Svůj život začínají na geograficky specifickém místě a za potravou migrují přes oceán. Po několika letech se jako dospělí jedinci vracejí do místa narození, kde se rozmnožují. Schopnost magnetorecepce byla prokázána i u ryby, která je charakteristická pro naši Českou republiku – kapra obecného (*Caprinus carpio*). Byla nasbírána data z 25 míst v Praze a okolí a dalších lokalit na severozápadě a jihu České republiky. Bylo pořízeno celkem 817 snímků 80 kádí s rybami. Snímky pak byly postupně upravovány tak, aby mohl být získán výsledný vektor každé kádě. Pro další zpracování byly vyloučeny všechny snímky, kde průtok vody z kádí mohl ovlivnit nasměrování ryby. Vliv světla z pouliční lampy se neprokázal. Analýzy potvrdily, že kapři srovnávají polohu svého těla s hlavní magnetickou osou sever – jih. Jednoznačné zjištění vědců z České zemědělské univerzity, kteří spolupracovali s kolegy z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a z univerzity v německém Essenu, kteří sledovali orientaci kaprů v kruhových kádích, kde se ryby neměly kam schovat, bylo, že se kapři jednoznačně orientují severojižním směrem, který naprosto přirozeně preferují. Byl to jediný statistický významný signifikantní směr. Ty ostatní byly bezvýznamné (Hart et al. 2012).

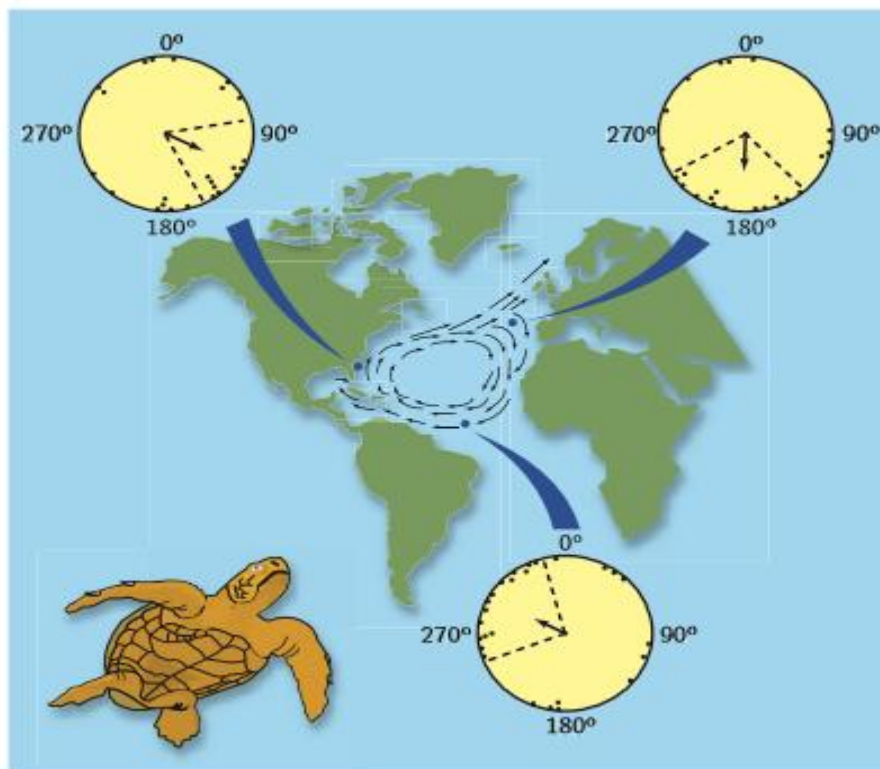
3.4.3 Obojživelníci a plazi

Obojživelníci jsou společně s plazy z hlediska magnetorecepce málo prozkoumanou skupinou druhů. Jednoznačně u těchto druhů byla prokázána schopnost vytváření magnetické mapy a homingu (procesem buněčné migrace, kdy buňky migrují do orgánu svého vzniku). Máme na mysli geomagnetický imprinting, kdy si živočich v prenatálním vývoji vtiskne charakteristiku geomagnetického pole. Tato informace je pro něj klíčová a ovlivňuje i výběr míst pro kladení vajec (Lohmann a Putman 2008).

Charakteristikou lokálního geomagnetického pole se při umístění hnízda řídí kareta obrovská tichomořská (*Chelonia mydas agassizi*) v jižním Mexiku. Lokální geomagnetické pole je ovlivněno přítomností magnetických minerálů. Želvy vyhledávají místa se stabilním geomagnetickým polem a s menší velikostí magnetitových zrn (Fuentes – Farias et al. 2008).

Mladé želvy se po vylíhnutí orientují několika prvky jako je magnetické pole, mořské vlny nebo odražené světlo. Některé výzkumy byly věnovány vlivu silného magnetického pole na embryonální vývoj. U embryí žab rodu *Xenopus* byl experimentálně dokázán vliv magnetického pole na mitotické dělení ve vajíčku, které probíhalo paralelně s vektorem magnetického pole (Denegre et al. 1998).

Mladé mořské želvy (*Caretta caretta*) využívají místní magnetické souřadnice v Atlantiku jako značky, na kterých se otáčejí určitým směrem. Směr pohybu mění i v laboratoři, jestliže vytvoříme pole, které svými parametry odpovídá bodu obratu (Vácha a Němec 2007).



Obrázek č.4: Mořské želvy využívající magnetické souřadnice.
 (Vesmír, 1986). <http://www.vesmir.cz>

U některých zvířat byly pozorovány smysly, které my ani neznáme. Jsou to speciální smyslové orgány pro zdroje tepla. Například hadi, krajty nebo chřestýši, mají ještě kromě očí další smyslové orgány pro vnímání infračerveného záření, jimiž rozpoznávají zdroj tepla. Mají je natolik citlivé, že mohou sledovat svoji kořist podle ještě teplých stop, zachovaných např. v trávě (Havel 2012).

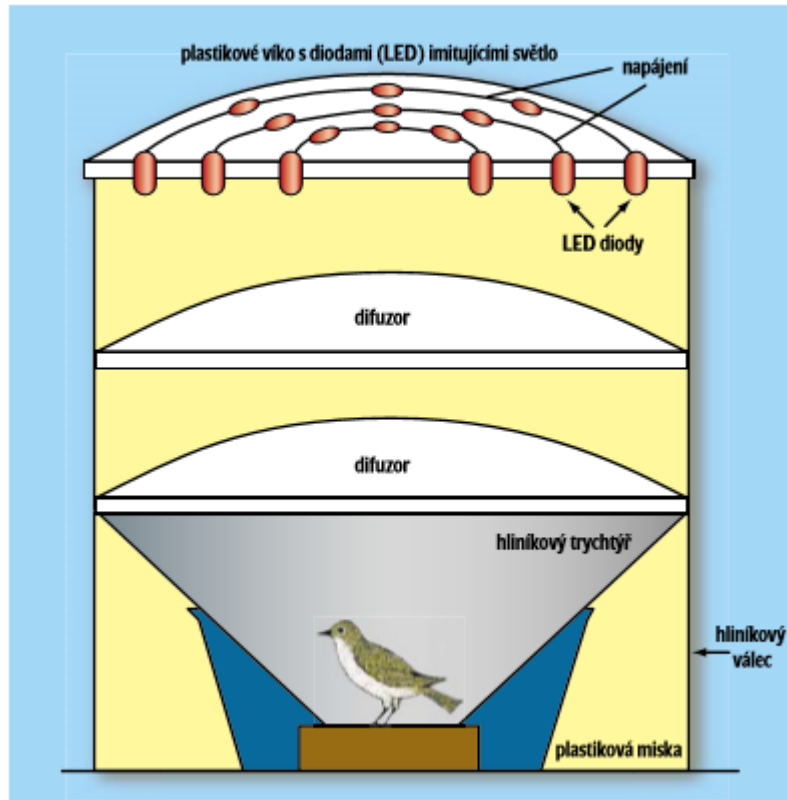
3.4.4 Ptáci

Ptáci používají k určení směru kromě magnetického pole Země též polohu Slunce, hvězd a polarizovaného světla oblohy. Svou polohu si také mohou stanovit pomocí sluchových, zrakových či čichových vodítek. O této schopnosti živočichů využívat pro svou orientaci magnetické pole, byl již před více než sto lety přesvědčen i ruský zoolog Alexander Theodor von Middendorff (1859). Postupným přibýváním důkazů svědčících o této schopnosti živočichů, se magnetorecepce pomalu dostává do učebnic fyziologie a etologie (Vácha a Němec 2007).

Pokusy s magnetickým ovlivněním ptačí orientace se již několik desetiletí zabývají manželé Wiltschkovi z Frankfurtské univerzity. Jejich laboratorní experimenty, kdy sledovali směr, kterým se snaží vzletět červeny obecné, umístěné do uzavřené trychtýřové nádoby, přinesly nejvíce informací (Vácha a Němec 2007).

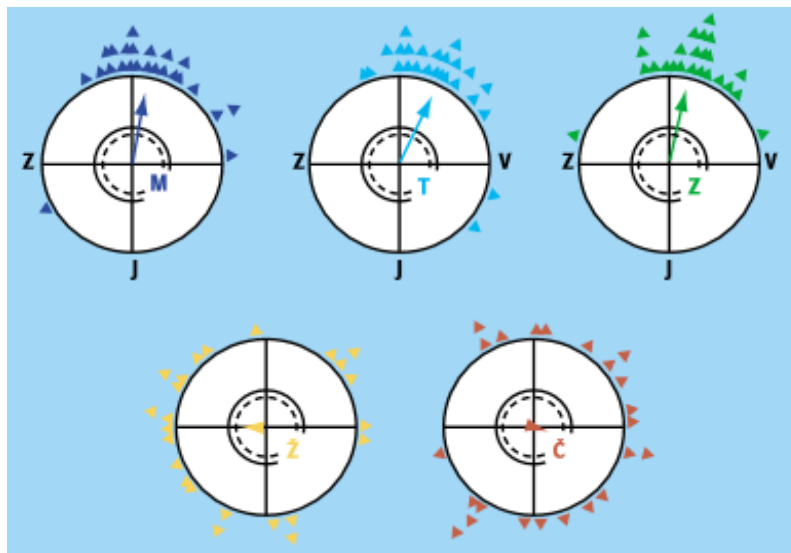
Své místo mají i osvědčené pokusy s holuby vypouštěnými volně v terénu a vracejícími se domů – jednou se zakrytým okem, jindy s miniaturním magnetem připevněným na hlavě, nebo po aplikaci silného magnetického impulzu. Ptákům se namísto běžných kroužků začínají na těla připevňovat miniaturní přijímače GPS, které po jejich návratu vydají ze své paměti přesný záznam, kde a kdy se pták pohyboval. Vliv magnetického pole na migraci byl prokázán i u mnoha dalších druhů ptactva. Závislost na světle byla testována například u kruhooček stříbrných (*Zosterops l. Lateralis*), pěnic slavíkových (*Sylvia borin*), holubů (*Columba livia*) a kura bankivského (*Gallus gallus*). Z toho je zřejmé, že magnetická orientace vyžaduje světlo o krátkých vlnových délkách (Wiltschko a Wiltschko 2005).

Jedná se o skupinu živočichů, u které je smysl pro magnetickou orientaci prostudován dosud nejlépe. Kompasový smysl ptáků a obojživelníků závisí na vlnové délce světla. Ptáci jsou schopni se orientovat kompasovým smyslem v bílém světle. Použijeme-li však v experimentu monochromatické osvětlení (obr. č. 5), jsou schopni orientovat se pouze v modrozelené části spektra. Ve žlutém a červeném světle jsou bezradní (obr. č. 6). Jestliže si však před experimentem přivyknou na červené světlo, jsou schopni se v něm orientovat. Schopnost orientace je závislá i na intenzitě monochromatického světla a na kombinaci barev, které byly použity v experimentu. U obojživelníků a octomilek je závislost na světle ještě přesvědčivější. Na změnu barvy světla nereagují dezorientací, ale změnou preferovaného směru o 90°. Takto specifickou reakci je těžké vysvětlit změnou motivace (Vácha a Němec 2007).



Obrázek č. 5: zařízení pro testování orientace ptáků (Zdroj: Vesmír, 1986).

<http://www.vesmir.cz>



Obrázek č. 6: výsledky orientačních testů (Zdroj: Vesmír, 1986).

<http://www.vesmir.cz>

Receptor magnetického vnímání předpokládají vědci u ptáků v oblasti oka. V olejových kapkách uvnitř sítnice jsou totiž drobné krystalky magnetitu (Koukal 2011).

3.4.5 Savci

Magnetorecepce byla probádána i u velkých savců. Zvířata jsou při své pozici ovlivňována přírodními faktory, jako je vítr nebo postavení slunce. Studie byly prováděny převážně za bezvětří, v různých denních i nočních dobách a v různých lokalitách. Celkem bylo sledováno 8510 kusů skotu na 308 pastvinách Evropy, Severní a Jižní Ameriky, Asie, Afriky a Austrálie a 2974 kusů pasoucích se a odpočívajících jelenů lesních a srnců obecných na 241 lokalitách České republiky. Sledování srnčí zvěře při pastvě a odpočinku ukázalo podstatně častější natáčení těla přímo k severu než náhodnou orientaci. Při vyloučení vlivu meteorologických faktorů, jimiž jsou: síla a směr větru a pozice slunce, byla za nejpravděpodobnější příčinu označena magnetická orientace. Přesnějším vektorem než sever geografický, byl sever magnetický (Vácha a Němec 2007).

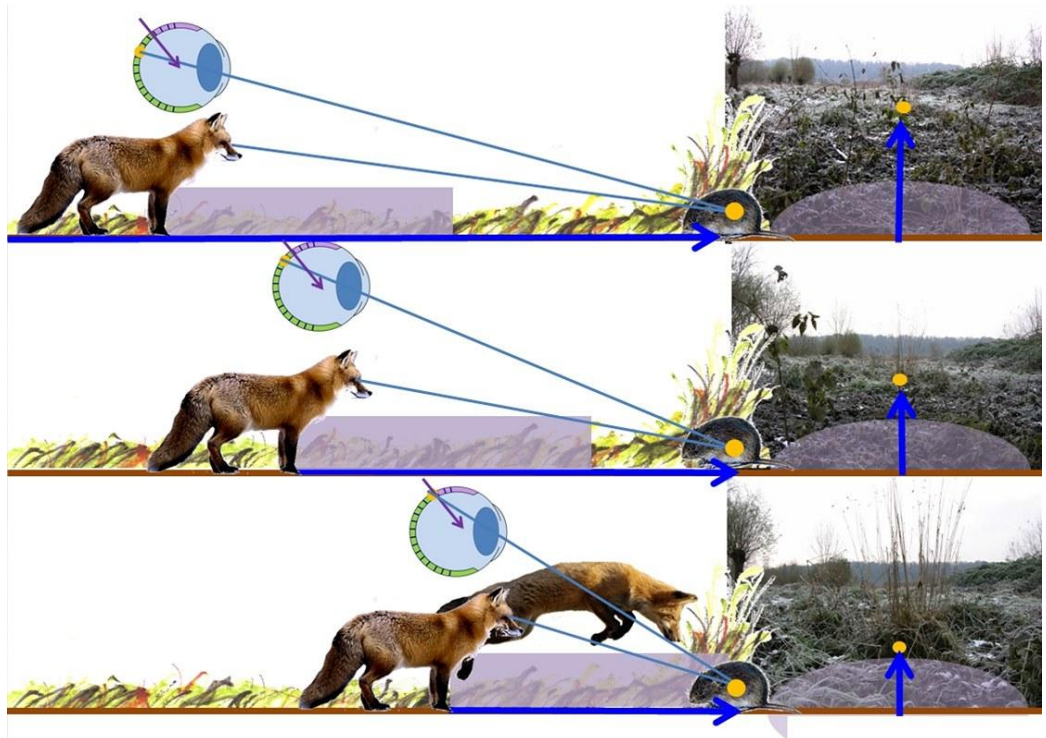
(Begall et al. 2008) uvádí, že tur domácí *Bos primigenius f. taurus*, srnec obecný *Capreolus capreolus* a jelen lesní *Cervus elaphus* při odpočinku volí severojižní orientaci těla s hlavou natočenou k severu.

Burda et al. (2009) se shodují se studiemi pro srnce obecného a tura domácího. Potvrzují, že elektrické pole s extrémně nízkou frekvencí (např. sloupy s vedením vysokého napětí) narušuje systém uspořádání, které zvířata obvykle zaujímají. Když se však od vedení elektrického napětí vzdálí, vrací se do původního severojižního směru orientace.

Studie byly prováděny na dostatečném množství zvířat a byly statisticky vysoce průkazné. Zkoumání magnetické orientace velkých sudokopytníků otevírá nové možnosti pro studium magnetorecepce či aplikované ekologie a je také velkou výzvou pro další obory (Vácha a Němec 2007).

Dalším studovaným druhem savců je liška obecná a její způsob lovu, tzv. myškování. Při lovu využívá liška hlavně svého zraku. Ale ve vysoké trávě či ve sněhu, kdy není kořist dostatečně vidět, využívá hlavně sluchu. Natočí hlavu směrem ke kořisti a jakmile se ocitne v určité vzdálenosti, zaujme pozici a vysokým skokem svou kořist uloví. Lišky se ke kořisti staví nejčastěji

severovýchodním směrem, zatímco při myškování ve vysoké trávě loví směrem na sever a v tomto směru jsou také mnohem úspěšnější. Jedná se o první živočišný druh, který k určování vzdálenosti využívá magnetické pole. Předpokládá se, že určování vzdálenosti je založeno na magnetitovém kompasovém mechanismu radikálových párů zprostředkovaného fotoreceptory na sítnici (Červený et al. 2011).



Obrázek č. 7: Myškování (Zdroj: Lidovky, 2011).

http://relax.lidovky.cz/prekvapivy-objev-ceskych-vedcu-lisky-maji-v-hlave-kompas-pen-/veda.aspx?c=A110111_212318_In_veda_kim

Princip magnetického dálkoměru u lišek pravděpodobně funguje na základě magnetorecepce spojené se zrakem. Nahoře: Hypotetický zrakový vjem při pohledu na sever s obrazci vzniklými působením magnetického pole na fotoreceptory (modré skvrny). Žlutá hvězda naznačuje polohu kořisti, lokalizovanou sluchem, na kterou liška stále fixuje pohled. Uprostřed: V oku lišky přibližující se ke kořisti dochází k posunu zrakem fixovaného bodu, až se protne s magneticky vzniklým obrazcem. Dole: Liška přibližující se ke zdroji zvuku. Jakmile se protne obraz orientačního bodu s prvky

magnetického pole, dostává liška informaci o vhodné vzdálenosti od kořisti a po kořisti skočí (Červený et al. 2011).

Pokusy s chováním zvířat ve volné přírodě i v laboratořích už prozradily mnohé. Víme, že jednobuněčné bakterie se chovají jako stříelka kompasu a samočinně se natáčí ve směru siločar, které vycházejí přímo z magnetického pólu Země. Ale jak vlastně zvířata magnetické pole vnímají a jaký mechanismus převádí energii do nervových buněk, se zoologům dosud nepodařilo jednoznačně vysvětlit (Vácha a Němec 2007).

4. Metodika

4.1 Sběr dat

Data byla nasbírána ve 22 lokalitách Karlovarského kraje a v lokalitě Kladno - Rozdělov v lesích listnatých, jehličnatých i smíšených. V období od listopadu 2015 do ledna 2017 bylo vyfotografováno 240 snímků plodnic hub. Každá plodnice byla vyfotografována zároveň s buzolou tak, aby střelka kompasu směřovala na sever.



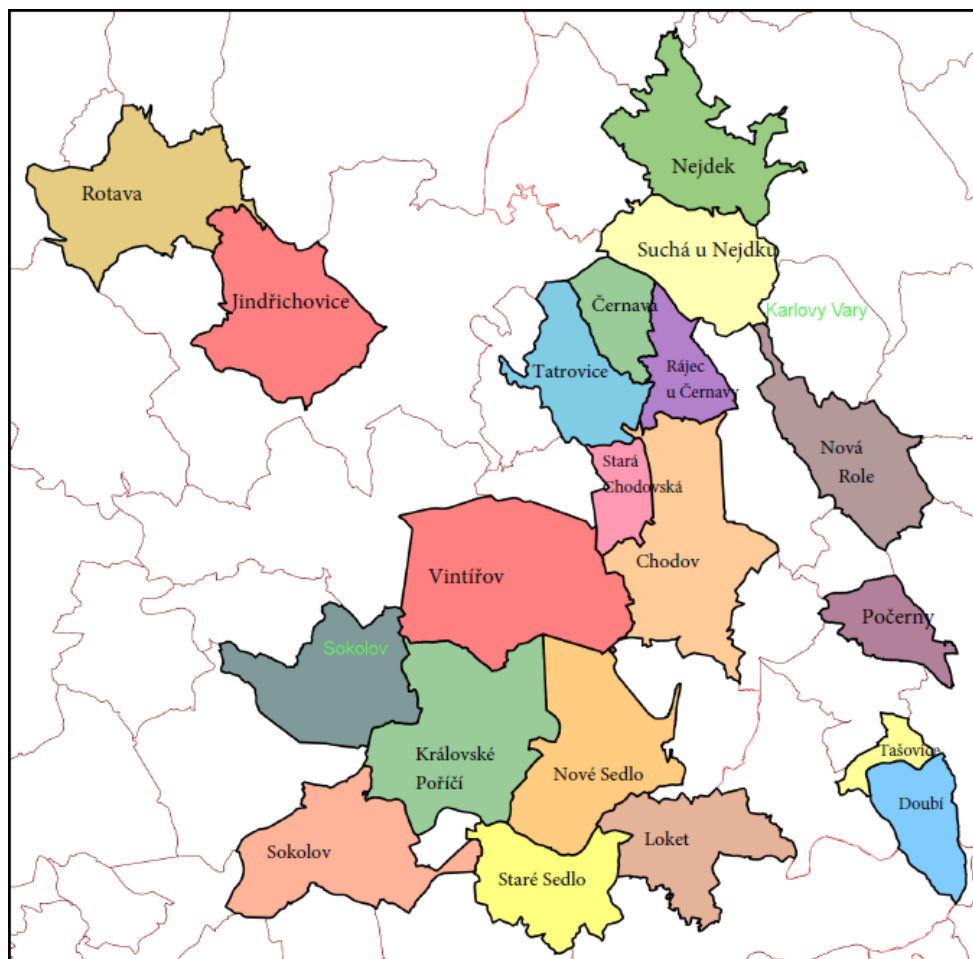
Obrázek č. 8: Měření (Pokorná, 2016).

4.2 Charakteristika zájmového území

4.2.1 Karlovarsko

Příroda Karlovarska je poměrně pestrá mozaikou biotopů. Nalezneme zde horské lokality s prvky vysokohorských klečových a vřesovištních stepí, velmi cenné mokřady a louky. Velká část snímků plodnic byla pořízena v okolí kaňonu Ohře. Podhůří Krušných hor je bohužel z velké části zasaženo povrchovou těžbou, přesto je obohaceno velkým množstvím rybníčků a jezírek, ale také potoky a prameniště, které zpravidla končí v některém z přítoků Ohře či přímo v ní. Mateční horninou Krušných hor je žula. Mezi významné lokality patří CHKO Slavkovský les, nebo Národní přírodní rezervace

Božídarské rašeliniště. Zvláštním statutem ochrany přírody jsou evropsky významné lokality a ptačí oblasti spadající do soustavy Natura 2000 (Doupovské hory).



Obrázek č. 9: Mapa zájmového území – Karlovarsko (portál GIS).

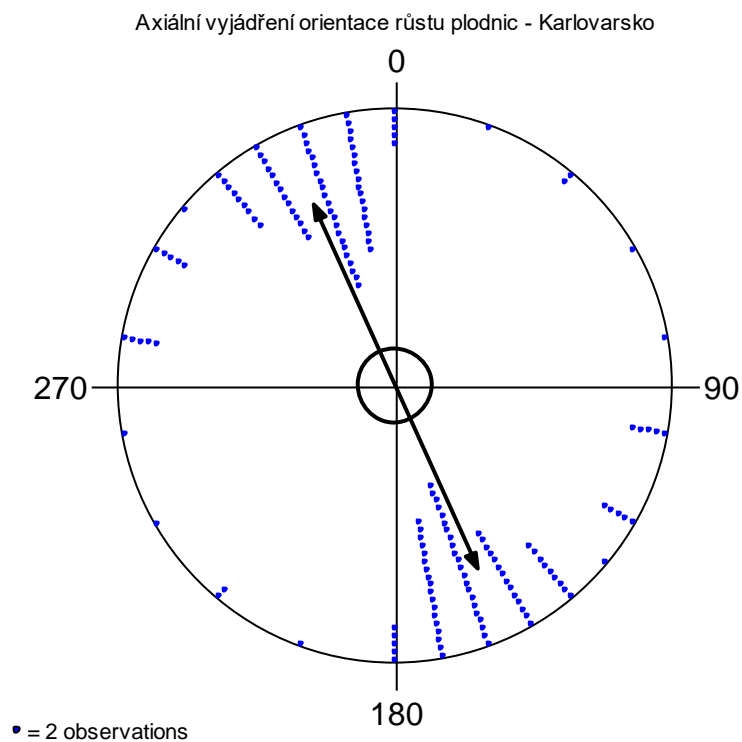
4.2.2 Kladensko

Oblast Kladna je součástí středočeského kraje, ve kterém se nachází řada přírodních parků a památek, zejména CHKO Křivoklátsko, která je na seznamu biosférických rezervací. Dále pak Kokořínsko, Český kras aj. Město Kladno je téměř po celém svém obvodu obklopeno příměstskými lesy v docházkové vzdálenosti blízkosti bydliště jeho obyvatel. Focení probíhalo v lokalitách Kladno – Rozdělov.

5. Výsledky práce

5.1 Karlovarsko

Statistickým vyhodnocením 160 dat z lokality Karlovarsko byl zjištěn průměrný vektor $155,867^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu (obr. č. 10) znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.



Obrázek č. 10: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic v oblasti Karlovarska

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	160
Data Grouped? Yes	
Group Width (& Number of Groups)	10° (18)
Mean Vector (μ)	155,867°
Length of Mean Vector (r)	
Concentration	0,716
Circular Variance	2,108
Circular Standard Deviation	0,142
One Sample Tests	23,429°
Rayleigh Test (Z)	
Rayleigh Test (p)	81,967 < 1E-12

Tab. č. 1: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic Karlovarska

Výsledky sběru a měření na Karlovarsku

druh	lokality sběru	datum sběru	orientace ve °
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Chodov	15.10.2015	320
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Chodov	15.10.2015	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Vintířov	15.10.2015	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	16.10.2016	340
<i>Ganoderma applanatum</i>	Heřmanov	16.10.2016	330
<i>Oligoporus stipticus</i>	Tatrovice	21.10.2016	330
<i>Piptoporus betulinus</i>	Jindřichovice	02.12.2016	340
<i>Piptoporus betulinus</i>	Jindřichovice	02.12.2016	330
<i>Piptoporus betulinus</i>	Rájec	27.05.2016	60
<i>Ganoderma applanatum</i>	Rotava	16.09.2016	340
<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	Rotava	16.09.2016	300
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Svatošské skály	29.04.2016	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Loket	25.12.2016	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Vintířov	15.10.2015	280
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Loket	25.12.2016	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Loket	25.12.2016	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Tatrovice	21.10.2016	280
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Rájec	27.05.2016	320
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Rájec	27.05.2016	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Vintířov	15.10.2015	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Stará Chodovská	09.04.2016	280
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Vintířov	15.10.2016	300
<i>Fomes fomentarius</i>	Vintířov	15.10.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Chodov	06.07.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	16.09.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	27.08.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	27.08.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Tatrovice	11.06.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Tatrovice	11.06.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Tatrovice	21.10.2016	320
<i>Fomes fomentarius</i>	Doubí-Sv. Linhart	22.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Suchá u	17.11.2016	320

	Nejdku		
<i>Fomes fomentarius</i>	Svatošské skály	29.04.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Svatošské skály	29.04.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Jindřichovice	02.12.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Jindřichovice	02.12.2016	320
<i>Fomes fomentarius</i>	Suchá u Nejdku	17.11.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	320
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Heřmanov	16.10.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Heřmanov	16.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Heřmanov	16.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	300
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	310
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	320
<i>Fomes fomentarius</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	280
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	350
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	350
<i>Fomes fomentarius</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	280
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	350
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Stará Chodovská	09.04.2016	320
<i>Fomes fomentarius</i>	Nejdek	18.06.2016	280
<i>Fomes fomentarius</i>	Tašovice	22.10.2016	350
<i>Fomes fomentarius</i>	Suchá u Nejdku	17.11.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Nejdek	18.06.2016	40
<i>Fomes fomentarius</i>	Sokolov	01.05.2016	300
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	280
<i>Fomes fomentarius</i>	Rotava	14.10.2016	330
<i>Fomes fomentarius</i>	Staré Sedlo	28.12.2016	320
<i>Fomes fomentarius</i>	Staré Sedlo	28.12.2016	260
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	340
<i>Fomes fomentarius</i>	Loket	25.12.2016	260
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Staré Sedlo	28.12.2016	320
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Staré Sedlo	28.12.2016	200

<i>Fomitopsis pinicola</i>	Nová Role	28.10.2016	340
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Nové Sedlo	19.11.2016	300
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	330
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Heřmanov	16.10.2016	320
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Rotava	14.10.2016	330
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Rotava	14.10.2016	300
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Staré Sedlo	28.12.2016	340
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Staré Sedlo	28.12.2016	320
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Loket	25.12.2016	300
<i>Ganoderma applanatum</i>	Stará Chodovská	19.11.2016	340
<i>Ganoderma applanatum</i>	Tatrovice	11.06.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Tatrovice	11.06.2016	320
<i>Ganoderma applanatum</i>	Tatrovice	11.06.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Černava	12.06.2016	340
<i>Ganoderma applanatum</i>	Tašovice	23.09.2016	330
<i>Ganoderma applanatum</i>	Vintířov	15.10.2016	340
<i>Ganoderma applanatum</i>	Jindřichovice	02.12.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Jindřichovice	02.12.2016	330
<i>Ganoderma applanatum</i>	Stará Chodovská	19.11.2016	330
<i>Ganoderma applanatum</i>	Svatošské skály	22.10.2016	300
<i>Ganoderma applanatum</i>	Nové Sedlo	19.11.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Nové Sedlo	19.11.2016	330
<i>Ganoderma applanatum</i>	Počerny	28.01.2017	330
<i>Ganoderma applanatum</i>	Počerny	28.01.2017	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Rotava	16.10.2016	330
<i>Ganoderma applanatum</i>	Rotava	16.10.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Rotava	17.10.2016	280
<i>Ganoderma applanatum</i>	Rotava	17.10.2016	340
<i>Ganoderma applanatum</i>	Loket	25.12.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Loket	25.12.2016	350
<i>Ganoderma applanatum</i>	Rotava	17.10.2016	340
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	40
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	320
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	330
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	340
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	60

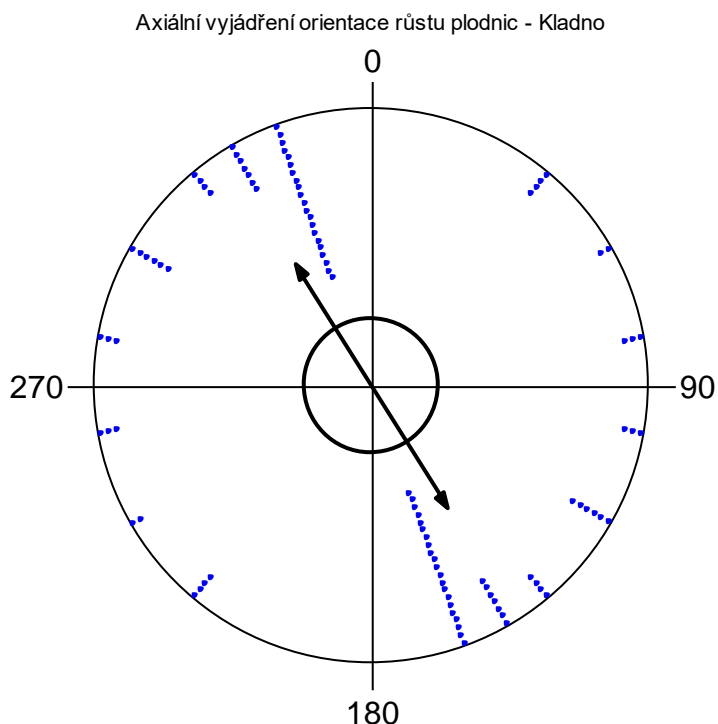
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	330
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	340
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	40
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.01.2016	350
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Vřesová	19.11.2016	340
<i>Hlenka</i>	Rájec	27.05.2016	350
<i>Hlenka</i>	Rájec	27.05.2016	350
<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	Svatošské skály	22.10.2016	340
<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	Rotava	16.10.2016	330
<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	Počerny	28.01.2017	320
<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	Suchá u Nejdku	17.11.2016	340
<i>Hymenochaete rubiginosa</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	320
<i>Innonotus sp.</i>	Nové Sedlo	19.11.2016	350
<i>Innonotus sp.</i>	Nové Sedlo	19.11.2016	350
<i>Pholiota squarrosa</i>	Tatrovice	29.10.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Chodov	24.09.2016	340
<i>Piptoporus betulinus</i>	Chodov	24.09.2016	320
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	340
<i>Piptoporus betulinus</i>	Vintířov	03.09.2016	280
<i>Piptoporus betulinus</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Královské Poříčí	31.12.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Doubí-Sv. Linhart	22.10.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Doubí-Sv. Linhart	22.10.2016	340
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	350
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tatrovice	29.10.2016	300
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tašovice	23.09.2016	340
<i>Piptoporus betulinus</i>	Tašovice	23.09.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Stará Chodovská	09.04.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Stará Chodovská	09.04.2016	360
<i>Piptoporus betulinus</i>	Počerny	28.01.2017	340
<i>Pleurotu ostreatus</i>	Heřmanov	16.10.2016	340

<i>Pleurotu ostreatus</i>	Rotava	17.10.2016	40
<i>Ganoderma applanatum</i>	Tatrovice	29.10.2016	350
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Suchá u Nejdku	17.11.2016	360
<i>Trametes sp.</i>	Nová Role	28.10.2016	360
<i>Trametes sp.</i>	Nová Role	28.10.2016	350
<i>Trametes sp.</i>	Loket	27.01.2016	350

Tabulka č. 2: Výsledky sběru a měření na Karlovarsku

5.2 Kladensko

Statistickým vyhodnocením 50 dat z lokality Kladno - Rozdělov byl zjištěn průměrný vektor $148,108^\circ$. Tento vektor je na axiálním histogramu (obr. č. 11) znázorněn šipkou. Délka šipky odpovídá délce průměrného vektoru. Statistická signifikance dosažená při 5% hladině významnosti Rayleigh testu je znázorněna vnitřním kruhem.



Obr. č. 11: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic v oblasti Kladna – Rozdělova

Variable	Axial
Data Type	Axial
Number of Observations	50
Data Grouped?	Yes
Group Width (& Number of Groups)	10° (18)
Mean Vector (μ)	148,108°
Length of Mean Vector (r)	0,513
Concentration	1,192
Circular Variance	0,243
Circular Standard Deviation	33,085°
One Sample Tests	
Rayleigh Test (Z)	13,174
Rayleigh Test (p)	1,90E-6

Tab. č. 3: Axiální vyjádření orientace růstu plodnic Kladna – Rozdělova

Výsledky sběru a měření na Kladensku

druh	lokalita sběru	datum sběru	orientace ve °
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	280
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	240
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	40

<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	280
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	320
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.10.2014	330
<i>Trametes versicolor</i>	Kladno	20.10.2016	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	240
<i>Fomitiporia robusta</i>	Kladno	16.05.2014	40
<i>Fomes fomentarius</i>	Kladno	24.09.2016	340
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Kladno	16.5.014	340
<i>Ganoderma applanatum</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Piptoporus betulinus</i>	Kladno	08.03.2017	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	300
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	16.05.2014	280
<i>Fomitiporia robusta</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	80
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	160
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	330

<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	320
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	260
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	40
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	80
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	340
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	320
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	330
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	Kladno	28.12.2014	320
<i>Daedalea quercina</i>	Kladno	16.05.2014	340
<i>Daedalea quercina</i>	Kladno	16.05.2014	340

Tabulka č. 4: Výsledky sběru a měření na Kladensku

K vyhodnocení nasbíraných dat byl použit jednovýběrový Rayleighův test rovnoměrnosti, kterým byla statistická data vyhodnocována na základě průměrného vektoru. V lokalitě Karlovarsko bylo nafoceno celkem 160 plodnic, z nichž se nejčastěji opakovaly: troudnatovec kopytovitý (*Fomes fomentarius*), březovník obecný (*Piptoporus betulinus*), lesklokorka ploská (*Ganoderma applanatum*), troudnatec pásovaný (*Fomitopsis piniola*), kožovka rezavá (*Hymenochaete rubiginosa*), sítkovec načervenalý (*Daedolopsis confragosa*) a outkovka pestrá (*Trametes versicolor*), ve dvou případech hlíva ústříčná (*Pleurotu ostreatus*). V lokalitě Kladno bylo pořízeno celkem na 50 snímků a nejvíce se vyskytoval: sítkovec načervenalý (*Daedaleopsis confragosa*), troudnatec kopytovitý (*Fomes fomentarius*), březovník obecný (*Piptoporus betulinus*), ve dvou případech sítkovec dubový (*Daedalea quercina*) a jednu ohňovec statný (*Fomitiporia robusta*).

Z 240 vyfotografovaných plodnic bylo úspěšně určeno a vyhodnoceno celkem 210 druhů. U třiceti druhů se pro nedostatečnou kvalitu fotografií

nepodařila data vyhodnotit. Kromě 12 snímků plodnic bylo naměřeno rozmezí vyrůstajících plodnic z kmene mezi 300 – 360 °. Z naměřených výsledků vyplývá, že se potvrdil severojižní směr růstu plodnic.

6. Diskuze

Z uvedených výsledků vyplývá, že se vliv magnetického pole Země na růst plodnic dřevokazných hub jednoznačně potvrdil. Z celkového množství pořízených fotografií téměř všechny plodnice vyrůstaly severojižním směrem. I když je pokus s fotografováním a měřením vyrůstajících plodnic zatím jediný, víme, že schopnost orientovat se pomocí magnetického pole Země existuje u mnoha dalších jedinců z živočišné říše. Dokazuje to celá řada experimentů.

Například poziční chování při pastvě a odpočinku u skotu a jelenovitých potvrdil ve své studii (Begall et al. 2008), kdy uvádí, že zvířata se při svých každodenních činnostech natáčejí severojižním směrem.

Výjimkou je přítomnost vedení vysokého napětí, nebo třeba elektřina v ohradnicích na pastvinách, kdy elektrický proud může rušit magnetické pole Země v okolí přibližně do 50 metrů (Burda et al. 2009).

Také pokusy věnované liškám obecným dokázaly, že lišky při svých útocích na kořist mají největší úspěšnost v severním směru (Červený et al. 2011).

Z vodní říše nelze opomenout měření kaprů v kádích, kteří jednoznačně přirozeně preferovali severojižní směr, jak uvádí ve svých studiích (Hart et al. 2012).

Řada pokusů proběhla i u ptactva. Kompasový smysl ptáků je závislý na vlnové délce světla. Ptáci jsou schopni orientovat se v bílém světle. Pokud je ale v experimentu použito monochromatické osvětlení, dokážou se orientovat pouze v modrozelené části spektra. Ve žlutém a červeném světle jsou dezorientováni. Pokud si však před experimentem přivyknou na červené světlo, jsou schopni se v něm orientovat (Vácha a Němec 2007).

Schopnosti magnetorecepce je v poslední době věnována čím dál větší pozornost a důkazů o ní přibývá. Tím jak živočichové vnímají magnetické pole Země, se zabývá mnoho českých i zahraničních vědců.

Je možné, že magnetorecepce funguje i u rostlin? Nevíme, zatím o tom nemáme žádné důkazy. Ve srovnání s ostatními výzkumy vlivu magnetického pole Země na různé druhy živočichů je pokus s fotografováním a měřením hub zatím jediný svého druhu.

7. Závěr

Cílem práce bylo zpracování literární rešerše k problematice dřevokazných hub, zahrnutí již prokázaných poznatků z oblasti mechanismů magnetorecepce a působení vlivu magnetismu na jednotlivé druhy živočichů.

Praktická část byla zaměřena na magnetickou orientaci dřevokazných hub. Výzkum probíhal v časovém období několika měsíců, ve dvou na sobě nezávislých lokalitách Karlovarska a Kladenska. V různých nadmořských výškách a v různém terénu bylo vyfotografováno přibližně 240 snímků plodnic, z nichž se podařilo vyhodnotit 210 snímků. Pomocí buzoly byl změřen směr vyrůstajících plodnic z jednotlivých kmenů stromů.

Vyhodnocením statistické analýzy naměřených dat za pomoci Rayleighova testu se potvrdila preference severojižního směru růstu plodnic. Až na 12 plodnic byly všechny orientovány severojižním směrem v rozmezí 300 - 360 °. Bylo prokázáno, že magnetického pole Země má vliv i na růst plodnic dřevokazných hub.

Z nasbíraných dat byl vytvořen souhrn nalezených dřevokazných hub z 22 lokalit Karlovarska a 3 lokalit Kladenska. Nejčastěji se houby vyskytovaly na stojících kmenech a pahýlech břízy bělokoré, smrku ztepilého, borovice lesní, modřínu opadavého, buku lesního a dubu letního. Část byla nalezena také na pařezech a stojících pahýlech stromů. Nalezeno a vyfotografováno bylo celkem 240 druhů hub, z nichž se podařilo určit a vyhodnotit 160 druhů z oblasti Karlovarska a 50 druhů z oblasti Kladenska. V největším zastoupení se opakovaly tyto druhy: troudnatec kopytovitý, který se nejvíce vyskytoval na mrtvém dřevě břízy bělokoré. Dále pak březovník obecný, lesklokorka ploská, troudnatec pásovaný, kožovka rezavá, sítkovec načervenalý, sítkovec dubový a outkovka pestrá. Největší výskyt plodnic byl zaznamenán v období září - říjen, kdy se teploty vzduchu pohybovaly okolo 15 - 20 °C. Značná část plodnic byla vyfotografována také v zimním období na přelomu prosince 2016 a ledna 2017 u břehů řeky Ohře při teplotách přibližně -5°C. Z uvedeného vyplývá, že se plodnicím daří celoročně i za velmi nízkých teplot a mrazů. Převážně převládalo zastoupení druhů troudnatce kopytovitého a troudnatce pásovaného.

8. Seznam použité literatury

Able. K. P.,1994: Magnetic orientation and magnetoreception in birds. *Progress in neurobiology* 42(4). 449-473.

Balabán K. a Kotlaba F.,1970: Atlas dřevokazných hub. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 133 s.

Baldrian P., 2009: Ectomycorrhizal fungi and their enzymes in soils: is there enough evidence for their role as facultative soil saprotrophs?. *Oecologia* 161. 657-660.

Baldrian P. Valášková V., 2008: Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS mikrobiology reviews* 32. 501-521.

Bartoš P. Bazalová O. Kvičalová M. Slabý P. Tomanová K. Doležel D. Vácha M., 2015: Magnetorecepce hmyzu – půlstoletí výzkumu za námi a kudy dál. In *Zoologické dny Brno*. ISBN 978-80-87189-18-4.

Begall S. Červený J. Neef J. Vojtěch O. Burda H., 2008: Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proceedings of the National academy of sciences. USA*. 105. 13 451-13 455.

Burianová T., 2012: Zvřata jsou citlivá na magnetické pole Země, mají jakousi GPS. Člověk musí používat techniku (online) [cit. 2012.11.12] dostupné z <http://www.rozhlas.cz/radio>.

Černý A., 1976: *Lesnická fytopatologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 347 s.

Černý A., 1989: *Parazitické dřevokazné houby*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 99 s.

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.

Denegre J. M. Valles J. M. Lin K. Jordan W. B. Mowry K. L., 1998: Cleavage planes in frog eggs are altered by strong magnetic fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 95.14729-14732.

Eder S. H. Cadiou H. Muhamad A. McNaughton P. A. Kirschvink J. L. Winklhofer M., 2012: Magnetic characterization of isolated candidate vertebrate magnetoreceptor cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109. 12022-12027.

Fraser K. Gosling, D. Sorcinelli M. D., 2010: Conceptualizing evolving models of educational development. *New Directions for Teaching and Learning*. 122. 49-58.

Fuentes-Farias A. L. Urrutia-Fucugauchi J. Gutiérrez-Ospina G. Pérez-Cruz L. Garduño-Monroy V. H., 2008: Magnetic features of marine black turtle natal beaches and implications for nest selection. *Geofísica internacional*. 47. 311-318.

Gabriel J., 2013: Dřevokazné houby v interiérech. *Živa*. 2: 54-57.

Gandelová L. Šlezingerová J. Horáček P., 2004: *Nauka o dřevě*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. 176 s.

Gould J. L. Kirschvink J. L. Deffeyes K. S. Brines M. L., 1980: Orientation of demagnetized bees. *Journal of Experimental Biology*. 86. 1-8.

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.

Holá M., 2009: Lov na magnetoreceptory. In XIII. Vědecká konference doktorandů. *Vysoké učení technické v Brně: Fakulta architektury*.

Chochel M. Hřčka D., 2016: *Vzácné a ohrožené houby Karlovarského kraje Karlovarský kraj*, 120 s.

Jankovský L. Čermák P., 2001: Tlející dřevo. *Sborník referátů*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. 128 s.

Johnsen S. Lohmann K. J., 2005: The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews neuroscience* 6. 703 – 712.

Johnsen S. Lohmann K. J., 2008: Magnetoreception in animals. *Physics Today*. 61. 29-35.

Kalina T. Váňa J., 2005: *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Univerzita Karlova. Nakladatelství Karolinum, Praha. 606 s.

Kirschvink J. L. Walker M. M. Chang S. B. Dizon A. E. Peterson K. A., 1985: Chains of single-domain magnetite particles in chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*. 157. 375-381.

Koukal M., 2011: Naslouchat se dá i kolenem! Jak se živočichové orientují? (online) [cit. 2014-02-10]. Dostupné z <http://21stoleti.cz/blog/2011/11/18/naslouchat-se-da-i-kolenem-jak-se-zivocichove-orientuji>.

Lambert N. De Liberato S. Emary C. Nori F., 2013: Radical-pair model of magnetoreception with spin – orbit coupling. *New Journal of Physics*. 15. 083024.

Lindner D. L. Vasaitis R. Kubartova A. Allmer J. Johannesson H. Banik M. T. Stenlid J., 2011: Initial fungal colonizer affects mass loss and fungal community development in *Picea abies* logs 6yr after inoculation. *Fungal ecology* 4. 449-460.

Lohmann K. J. Lohmann C. M., 2007: Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of experimental biology*. 210. 3697 – 3705.

Lohmann K. J. Putman N. F. Lohmann C. M., 2008: Geomagnetic imprinting: a unifying hypothesis of long-distance natal homing in salmon and sea turtles. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105. 19096-19101.

Lohmann K. J., 2010: Q&A Animal behaviour: Magnetic-field perception. *Nature*. 464. 1140-1142.

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

Mouritsen H. Ritz, T., 2005: Magnetoreception and its use in bird navigation. *Current opinion in neurobiology*. 15. 406-414.

Muheim R. Deutschlander M. E., 2010: Magnetic orientation in migratory songbirds. *Encyclopedia of animal behavior*. 2. 314-323.

Phillips J. B. Borland S. C., 1992: Wavelength specific effect of light on magnetic compass orientation of the eastern red-spotted newt, *Notopthalmus viridescens*. *Ethol. Ecol. Evol.* 4. 33-4.

Příhoda A., 1953: Houby a bakterie poškozující dřevo. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 216 s.

Rypáček V., 1957: Biologie dřevokazných hub. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha. 209 s.

Scháněl L. Plášek V., 2003: Aktuální poznámky k biologii dřevních hub. Dřevokazné houby. Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity, Ostrava. 183 s.

Soukup F. Pešková V. Lubojacký J., 2008: Mykologické poměry na zalesněných zemědělských půdách. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

Srinivasan G., 2010: Magnetoelectric composites. *Annual Review of Materials Research*. 40. 153-178.

Svatoň J., 2000: Ochrana dřeva. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. 203 s.

Svrček M., 1997: Houby. Aventium nakladatelství, s. r. o. Praha: 279 s.

Šimůnková E., 2000: Zpravodaj STOP č. 1. Ochrana dřeva v památkové péči. Praha. 44 s.

Thalau P. Ritz T. Burda H. Wegner R. E. Wiltschko, R., 2006: The magnetic compass mechanisms of birds and rodents are based on different physical principles. *Journal of the royal Society Interface*. 3. 583-587.

Vácha M. Dršťková D. Půžová, T., 2008: Tenebrio beetles use magnetic inclination compass. *Naturwissenschaften*. 95. 761-765.284-289.

Vácha M. Němec P., 2007: Kompas a mapa - orientace v geomagnetickém poli. *Vesmír*. 86. 224-228.

Vácha M. Němec P., 2007: Mechanizmy magnetorecepce. *Vesmír*. 86. 224 s.

Vácha M., 1994: Kompas zvířat a co o něm víme. *Vesmír*. 73. 249-251 s.

Voroncov A. Červinková H., 1986: Škůdci dřeva. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 168 s.

Walker M. M. Bitterman M. E., 1985: Conditioned responding to magnetic fields by honeybees. *Journal of comparative physiology A*. 157. 67-71.

Walker M. M. Kirschvink J. L. Chang S. B. R. Dizon A. E., 1984: A candidate magnetic sense organ in the yellowfin tuna. *Thunnus albacares*. *Science*. 224. 751-753.

Wiltschko R. Stapput K. Ritz T. Thalau P. Wiltschko W., 2007: Magnetoreception in birds: different physical processes for two types of directional responses. *HFSP journal* 1. 41-48.

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

Wiltschko R. Wiltschko W., 2010: Avian magnetic compass: its functional properties and physical basis. *Current Zoology*. 56. 265 – 276.

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

Wiltschko W. Wiltschko R., 1972: Magnetic compass of European robins. *Science*. 176 (4030). 62-64.

Winklhofer M., 2010: Magnetoreception. *J. R. Soc. Interface* 7. 131-134.

Wu L. Q. Dickman J. D., 2012: Neural correlates of a magnetic sense. *Science*.
336. (6084) 1054 – 1057.