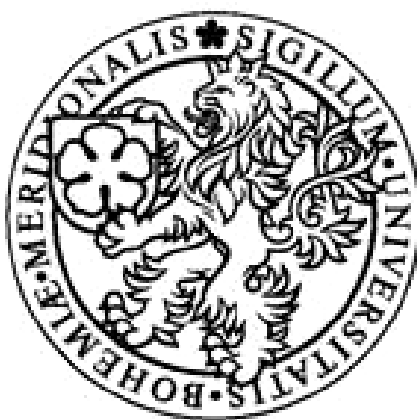


PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA JIHOČESKÉ UNIVERZITY V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

KATEDRA ZOOLOGIE



Magnetická orientace rypoše obřího a rypoše stříbřitého

Magisterská diplomová práce 2008

Autor: Bc. Ludmila Oliveriusová

Vedoucí práce: doc. RNDr. František Sedláček, CSc.

Oliveriusová L., 2008: Magnetická orientace rypoše obřího a rypoše stříbřitého [Magnetic orientation in the giant mole-rat and the silvery mole-rat; Mgr. Thesis, in Czech] 30pp., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic

Annotation:

The magnetic orientation was study in several species of rodents. Aim of this work was verify magnetic sense in two species of subterranean rodents: the giant mole-rat and the silvery mole-rat. A spontaneous directional preference in the magnetic field was tested in circular arena.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, dne 26. 4. 2008

Ludmila Oliveriusová

Ráda bych poděkovala především doc. Františku Sedláčkovi za jeho neocenitelnou pomoc a podporu s touto prací i jeho trpělivost při předávání znalostí. Zároveň bych chtěla poděkovat Radimu Šumberovi, Ph.D. za rady při zacházení se zvířaty a Pavlu Němcovi, Ph.D. za pomoc s vyhodnocováním kruhových dat.

OBSAH

1.	ÚVOD	5
1.1.	Magnetická orientace	5
1.2.	Savci	6
1.3.	Cíl práce.....	8
2.	MATERIÁL A METODIKA	9
2.1.	Materiál	9
2.2.	Experiment	9
2.3.	Statistické zpracování.....	11
3.	VÝSLEDKY	12
3.1.	Rypoš obří	13
3.2.	Rypoš stříbřitý	15
3.3.	Morče domácí.....	17
4.	DISKUZE	19
4.1.	Rypoš obří	19
4.2.	Rypoš stříbřitý	20
4.3.	Morče domácí.....	21
4.4.	Shrnutí	22
4.5.	Závěr	24
5.	POUŽITÁ LITERATURA	25
6.	PŘÍLOHY	29

1. ÚVOD

Již řadu let se v zájmu přírodovědců ocitá schopnost některých zvířat vnímat magnetické pole Země a orientovat se podle něj. Magnetická orientace byla studována u mnoha druhů organismů od bakterie až po člověka. (Wiltschko & Wiltschko 1995). Z obratlovců byla magnetická orientace prokázána u obojživelníků, želv, ptáků a savců (Phillips & Borland 1992, Lohmann & Lohmann 1994, Wiltschko & Wiltschko 1996).

V roce 1975 vzbudila zájem odborné veřejnosti práce publikovaná v časopise Science zabývající se magnetotaktickou bakterií (*Magnetospirillum magnetotacticum*) (Blakemore 1975). Ačkoliv u této bakterie se nedá hovořit o magnetické orientaci v pravém slova smyslu, jedná se o magnetotaxi. V buňce bakterie se vyskytují krystalky magnetitu, které přes magnetický moment přímo ovlivňují její prostorovou orientaci a pohyb dolů směrem do sedimentu. První zmínka o jednotné prostorové orientaci těchto bakterií se objevila již v šedesátých letech v práci mikrobiologa Salvatore Belliniho (Bellini 1963).

1.1. Magnetická orientace

Magnetická orientace je definována jako schopnost zvířete vnímat magnetické pole a orientovat se podle jeho vlastností: polarity (směr siločar), intenzity (mohutnost magnetického pole) a inklinace (úhel mezi magnetickými siločarami a horizontální rovinou) (Moritz et al. 2007). Různé druhy zvířat využívají z této nabídky různé vlastnosti magnetického pole pro prostorovou orientaci.

Zvířata pro svou orientaci či navigaci běžně využívají různá vodítka a podněty – hvězdnou oblohu, polarizované světlo, orientační body v krajině, pachové stopy, složení vody atd. To jim umožňuje stanovit vlastní polohu, nalézt cestu zpět do hnízda, nebo migrovat i na velmi velké vzdálenosti. Magnetická orientace se pravděpodobně uplatňuje v případech, kdy je nedostatek jiných orientačních vodítek, např. při snížené viditelnosti, nebo se vyskytuje u zvířat s redukováným zrakem a částečně i sluchem (Němec et al. 2007, Begall et al. 2007). Je spojována také především s navigací na dlouhé vzdálenosti např. ptáci a mořské želvy (Walker et al. 2002), nebo orientací na krátké vzdálenosti – spontánní směrová preference a homing (savci).

1.2. Savci

V porovnání s ptáky je stále ještě magnetická orientace savců prostudována jen omezeně. Magnetická orientace v rámci savců byla studována zejména u koní (Baker 1989), kytovců (Zoeger et al. 1981) a hlodavců (August et al. 1989). Poslední dobou začíná zájem i o další savce. Pozornost je věnována netopýřům (Wang et al. 2007) a velkým sudokopytníkům (Burda et al. 2008).

Studium magnetické orientace hlodavců se specializuje zejména na druhy adaptované na podzemní prostředí. Magnetická orientace byla prokázána u zástupců dvou skupin – Bathyergidae a Muridae. K testování magnetické orientace hlodavců se v dnešní době používá několik modelů pokusů.

- **Kruhová aréna** – sledování spontánní směrové preference při stavbě hnízda, potravních zásobáren apod. (pozn. nejběžnější metoda).
- **Homing** – schopnost návratu z cizího prostředí ke hnízdu nebo do domovského areálu (terénní i laboratorní experimenty).
- **Labyrint** – schopnost učení a orientace na cestě v labyrintu nejčastěji za potravou.

Hynek Burda si před lety povšimnul spontánní směrové preference v uspořádání tunelů druhu *Cryptomys anelli*. Zjistil, že hlavní osa těchto tunelů je orientována podle magnetického pole (Burda 1987), což bylo podnětem pro studium magnetorecepce u těchto a dalších hlodavců. Proběhla řada studií s cílem otestovat přítomnost magnetické orientace u různých druhů, i blíže porozumět jejímu principu a odhalit neurofyziologickou podstatu vnímání magnetického pole. Studie přinesly rozdílné výsledky.

Studie u druhu *Cryptomys hottentotus* (po revizi – *Fukomys anelli*) prokázala testováním spontánní směrové preference v jednoduché kruhové aréně schopnost rypošů orientovat se v magnetickém poli Země (Burda et al. 1990). Zároveň však odhalila řadu otázek ohledně principu této orientace, protože magnetický kompas rypošů se jevil odlišný od v té době známého mechanismu magnetorecepce.

Nové poznatky ohledně typu kompasu podzemních hlodavců přinesl tým S. Marhodla o sedm let později. Testování směrové preference při stavbě hnízda u rodu *Cryptomys* jednoznačně prokázalo schopnost orientovat se v magnetickém poli. Rypoši

vykazovali jednoznačnou spontánní preferenci jihovýchodního směru při stavbě hnízda. Tato preference nebyla prokazatelně ovlivněna obrácením inklinace ($+66^\circ/-66^\circ$) ani změnou osvětlení kruhové arény (osvětlená/neosvětlená). Tento poznatek vedl k myšlence, že u podzemních hlodavců se jedná o polaritní kompas nezávislý na světle (Marhold et al. 1997). Tedy o kompas principiálně odlišný od kompasu inklinčního, závislého na světle, který je znám u ptáků (Wiltschko et al. 1993)

Dalším druhem podzemního hlodavce, u kterého byla testována možnost geomagnetické orientace, byl *Spalax ehrenbergi* (Muridae). Tento druh projevil prokazatelnou spontánní směrovou preferenci při stavbě hnízda (Marhold et al. 2000). Testy v devítiramenném labyrintu ukázaly silnou směrovou preferenci pro jihovýchodní sektor, která byla udržována i při experimentálním otočení horizontálního vektoru magnetického pole (Kimchi & Terkel 2001).

Spontánní směrová preference při stavbě hnízda svědčí o magnetické orientaci, nikoliv však o magnetické navigaci. Úloha magnetického pole při navigaci byla potvrzena až v roce 2004. Testy prokázaly, že při návratu z místa krmení domů v labyrintu se rypoši řídí magnetickým polem, po otočení magnetického pole se otočil i směr jejich trasy (Kimchi et al. 2004).

Oproti tomu studie na podzemním hlodavci tukotuko talarském (*Ctenomys talarum*) jednoznačné výsledky neposkytla. Nebyl pozorován žádný vztah mezi orientací magnetického pole a hlavní osou podzemních systémů v přirozených podmínkách. Tukotuko také nevykazoval žádnou spontánní preferenci začátku hrabání chodeb v kruhové aréně. Změna horizontálního vektoru magnetického pole neovlivnila prokazatelně schopnost orientovat se v labyrintu na cestě za potravou (Schleich & Antinuchi 2004).

Magnetorecepce může právě pro podzemní zvířata představovat důležitý zdroj informací, neboť zde mají jen velmi omezené možnosti získávání podnětů pro orientaci v prostoru a určení své polohy. Potřebují spolehlivý systém vodítek, který by jim umožňoval orientaci v trojrozměrném prostoru (Moritz et al. 2007).

U pozemních hlodavců se testování magnetické orientace zaměřilo hlavně na naučenou orientaci magnetického pole podle světelného gradientu. Chovná klec byla umístěna na určité ose magnetického pole, část klece byla zakryta. Projev získané magnetické orientace byl následně ověřován pokusem se stavbou hnízda v kruhové aréně.

Deutschlander se svými kolegy studoval schopnost magnetické orientace u křečička džungarského (*Phodopus sungorus*). Test spontánní směrové preference při stavbě hnízda (stejný jako u rypošů) ukázal preferenci křečičků v přirozeném magnetickém poli v ose 118-298°, distribuce hnízd v posunutých magnetických polích se ale blížila náhodnému rozložení. Druhý experiment testoval samce křečičků prvotně chované v klecích rozdílně orientovaných v magnetickém poli. Křečičci vykazovali velmi silnou směrovou preferenci v závislosti na ose, jak byla umístěna chovná klec. To lze považovat za demonstraci magnetického kompasu, jehož projev je naučený (Deutschlander et al. 2003)

Dalším testovaným zvířetem byla laboratorní myš C57BL/6J. Zvířata byla opět chována ve čtyřech klecích s rozdílným postavením v magnetickém poli Země. Posléze byla vypuštěna do kruhové arény. Myši projevily silnou směrovou preferenci v závislosti na svém původním umístění v chovných klecích (Muheim et al. 2006)

Třetím typem testování magnetorecepce u hlodavců je tzv. homing – schopnost navrátit se z cizího prostředí do hnízda. Jedinci křečička bělonohého (*Peromyscus leucopus*) byli odchyceni a vypuštěni do kruhové arény. Křečičci vykazovali největší explorační aktivitu ve směru, který odpovídal směru domů. Při obrácení magnetického pole vykazovali křečičci největší aktivitu v opačném směru (August et al. 1989).

1.3. Cíl práce

Cílem práce bylo zjistit, jestli další dva druhy rypošovitých hlodavců mají schopnost geomagnetické kompasové orientace. Základem pro metodiku byla studie Burdy et al. (1990). Prokazatelná závislost umístění hnízda na orientaci magnetického pole byla považována za důkaz magnetorecepce.

2. MATERIÁL A METODIKA

2.1. Materiál

Pro experiment byly vybrány dva druhy hlodavců z čeledi Bathyergidae, která je vysoce specializovaná na život v podzemí. Prvním druhem je sociálně žijící rypoš obří (*Fukomys mechowii*). Druhým je soliterní rypoš stříbřitý (*Heliophobius argenteocinereus*). Oba druhy mají areály v Africe v oblasti jižně od Sahary (rypoš obří – Zambie a Malawi, rypoš stříbřitý – Keňa, Tanzánie, Zambie a Malawi) a v přírodě se živí převážně rostlinnou potravou – hlízkami a kořeny rostlin. U sociálního rypoše obřího zakládá skupinu nepříbuzný rodičovský pár. Rypoši stříbřití žijí odděleně v systémech, střetávají se pouze v krátkém období páření, kdy opouštějí podzemní systémy a vyhledávají partnera (Šumbera et al. 2007). Jako srovnávací druh bylo zvoleno morče domácí (*Cavia porcellus*), které je rypošům sice evolučně relativně příbuzné, liší se však zcela v ekologii a má zcela odlišný profil výkonnosti smyslových orgánů.

Experimentu se účastnilo 10 párů rypoše obřího a 10 jedinců (5 samců a 5 samic) rypoše stříbřitého z experimentálních chovů Přírodovědecké fakulty v Českých Budějovicích. 10 jedinců (5 samců a 5 samic) morčete domácího z laboratorních chovů firmy AnLab s.r.o., Praha. Všechna zvířata byla chována ve stejné místnosti a při stejných podmínkách: světelný režim 12:12 hodin, skleněných akváriích, nebo labyrintech z průhledného plastu. Pravidelně dostávala potravu a hnízdní materiál. Jako stelivo byla použita rašelina. Během experimentů nebylo manipulováno s jejich domovským akváriem, či labyrintem. Chovná místnost se nacházela bezprostředně vedle pokusné místnosti.

2.2. Experiment

Experimentální zvířata byla testována celkem ve čtyřech experimentech – přirozené pole, pole otočené o 90°, pole otočené o 180° a pole otočené o 270°. Intenzita a inklinace magnetického pole byla konstantní. Manipulace s horizontálním vektorem magnetického pole byla uskutečněna pomocí soustavy dvou Helmholtzových cívek obdélníkového tvaru o rozměrech 160 x 150 cm, vzdálenost mezi cívkami byla 110 cm.

V prostoru mezi cívkami, kde vzniká homogenní magnetické pole, byla na stole z nemagnetického materiálu umístěna kruhová aréna o průměru 80 cm a výšce 40 cm z neprůhledného plastu. Ke kontrole intenzity magnetického pole byl používán přístroj ELIMAG - F1 [A/cm]. Proud a napětí v cívkách byly generovány elektrickým zdrojem stejnosměrného proudu Voltcraft DPS-8003PFC. U stropu nad arénou byla na nastavitelném rameni uchycena digitální kamera Samsung SHC-730 vybavená infračerveným zdrojem pro snímání ve tmě. Pozice hnízd byla zaměřována buzolou.



Obr. č. 1 Experimentální sestava

V průběhu experimentu dno kruhové arény pokrývala vrstva rašeliny (u morčat byly použity hobliny), zvířata měla k dispozici uprostřed arény umístěné žrádlo (mrkev a brambory) ad libitum a volně v aréně materiál pro stavbu hnízda (filtrační papír).

Pokus probíhal vždy v tmavé fázi dne od 19.00 do 07.00 hodin v izolované místnosti v naprosté tmě. Ráno byla zaznamenána pozice hnízda, nebo místa spánku, pomocí buzoly vzhledem k severu. Průběh pokusu byl nahráván videokamerou. Z každé hodiny byla pořízena videonahrávka prvních pěti minut pro pozdější vyhodnocení chování zvířete během experimentu. Snímání kamerou umožnilo stanovit místa spánku i u rypoše stříbřitého, který si v laboratorních podmínkách hnízda nestaví.

Po každém pokusu byla kruhová aréna pečlivě vyčištěna a vymyta lihem pro odstranění pachových stop. Rašelina byla pokaždé vyměněna za novou. Série 4 experimentů probíhala vždy za sebou. Pořadí magnetických polí bylo voleno náhodně. Ráno, po ukončení experimentu, bylo zvíře vráceno do domovského akvária v chovné místnosti. Při pokusu, chovu a manipulaci se zvířaty byla dodržována pravidla etického zacházení se zvířaty. Projekt pokusů byl schválen odbornou komisí pro etické zacházení se zvířaty.

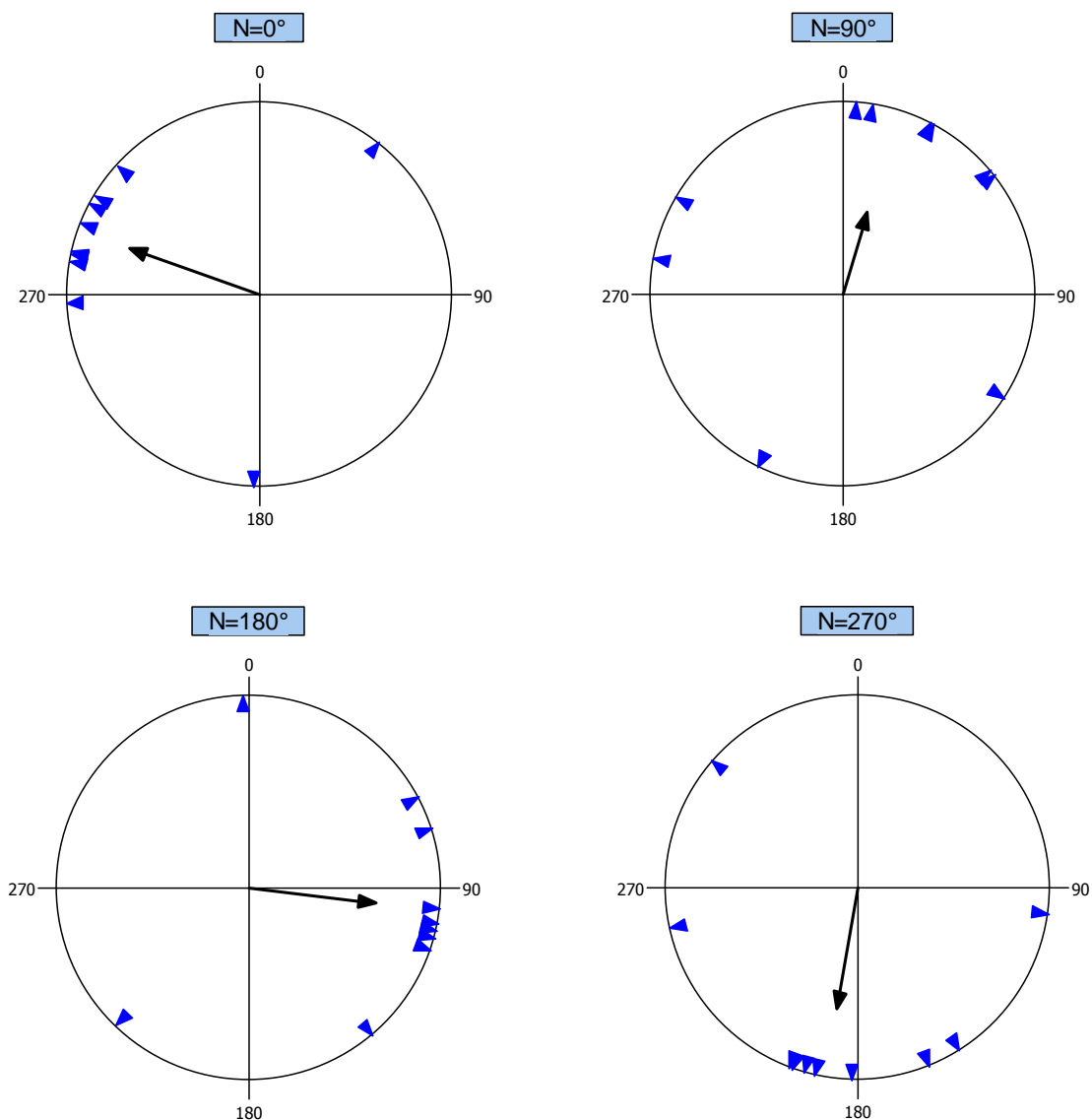
2.3. Statistické zpracování

K vyhodnocení dat bylo použito metod kruhové statistiky (Lehner 1996). Data byla zpracována pomocí software pro kruhovou statistiku Oriana verze 2.0 (Kovach 2006). Byly použity následující statistické testy: Rayleigh uniformity test – testování nulové hypotézy uniformní distribuce dat, Rao's spacing test – testování nulové hypotézy uniformního rozložení, na rozdíl od Rayleighova testu počítá na základě vzájemné vzdálenosti dat, takže rozlišuje i bimodální rozložení dat a Watson-Williams test – ověření vzájemné odlišnosti v distribuci dat mezi použitými čtyřmi poli.

3. VÝSLEDKY

V každém magnetickém poli byla vyhodnocena ranní pozice hnízda. U zvířat, která si nebudují hnízdo, byl použit poslední ranní záznam jejich místa spánku. Celkem proběhlo 120 experimentů na třech druzích hlodavců (rypoš obří, rypoš stříbřitý a morče domácí). Videozáznam byl pořízen z 60 experimentů (20 nočních záznamů s rypošem obřím a 40 záznamů s rypošem stříbřitým), což představuje celkem pokrytí 780 hodin pokusů. Výsledky jsou podány ve formě kruhových grafů v následujících kapitolách.

3.1. Rypoš obří



Obr. č. 2 Rozmístění hnízd rypoše obřího, $n=10$, v přirozeném poli, poli otočeném o 90° , poli otočeném o 180° a poli otočeném o 270° . Modré trojúhelníky označují polohu hnízda. 0° – sever přirozeného magnetického pole Země mimo cívku, N – sever magnetického pole vytvořeného cívkou. Směr šipky znázorňuje hlavní vektor a délka jeho velikost.

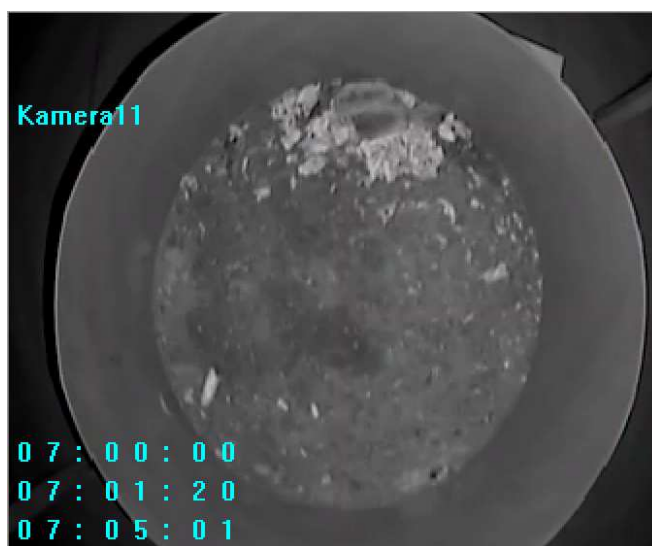
1) Přirozené pole: hlavní vektor $\mu=289,3^\circ$, medián je $287,5^\circ$, Rayleigh test $p=0,003$, Rao's spacing test $p<0,01$.

2) Pole otočené o 90° : hlavní vektor $\mu=16,4^\circ$, medián je $27,5^\circ$. Rayleigh test $p=0,139$, Rao's spacing test $0,5>p>0,1$

3) Pole otočené o 180° : hlavní vektor $\mu=97,0^\circ$, medián je 102° , Rayleigh test $p=0,008$, Rao's spacing test $p<0,05$.

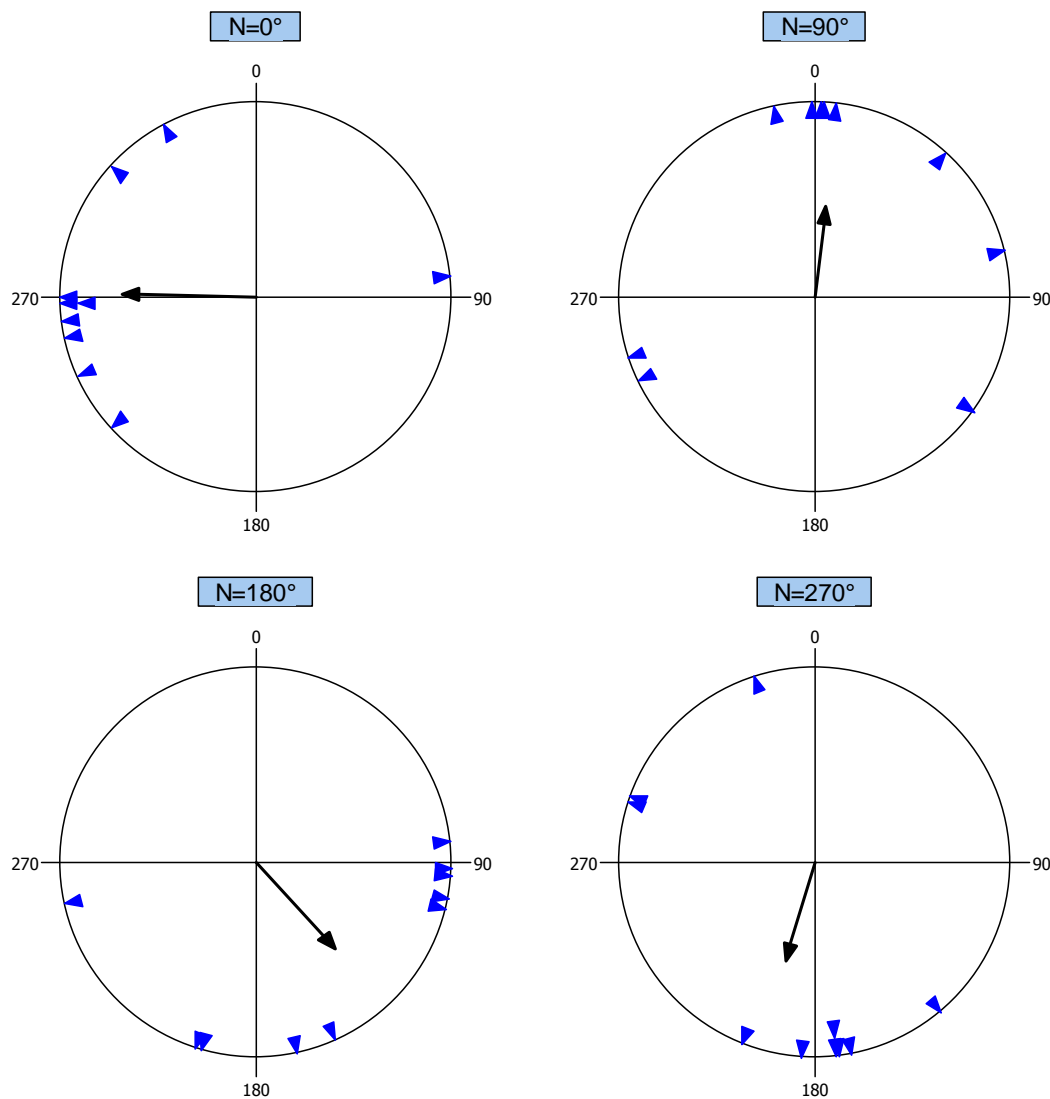
4) Pole otočené o 270° : hlavní vektor $\mu=198,7^\circ$, medián je $194,5^\circ$, Rayleigh test $p=0,013$, Rao's spacing test $0,1>p>0,05$.

Distribuce hnízd ve čtyřech různých magnetických polích se prokazatelně vzájemně lišila (Watson -Williams test $P_{1-2}=0,01$, $P_{1-3}<0,001$, $P_{1-4}<0,001$, $P_{2-3}=0,02$, $P_{2-4}=0,002$, $P_{3-4}<0,001$). Byla zjištěna prokazatelná závislost mezi pozicí hnízda a orientací magnetického pole. Rypoši obří měnili preferenci při stavbě hnízda v závislosti na otočení magnetického pole. Ve třech případech byla statisticky průkazná preference jednoho určitého směru, jeden případ (pole otočené o 90°) byl nad kritickou mezí významnosti v obou použitých testech. Na základě uvedených dat je možno konstatovat, že u rypoše obřího byla prokázána schopnost magnetické orientace.



Obr. č. 3 Snímek z pořízeného záznamu – pár rypošů obří v hnízdě.

3.2. Rypoš stříbřitý



Obr. č. 4 Rozmístění míst spánku rypoše stříbřitého, $n=10$, v přirozeném poli, poli otočeném o 90° , poli otočeném o 180° a poli otočeném o 270° . Modré trojúhelníky označují pozici spánku. 0° – sever přirozeného magnetického pole Země mimo cívku, N – sever magnetického pole vytvořeného cívkou. Směr šipky znázorňuje hlavní vektor a délka jeho velikost.

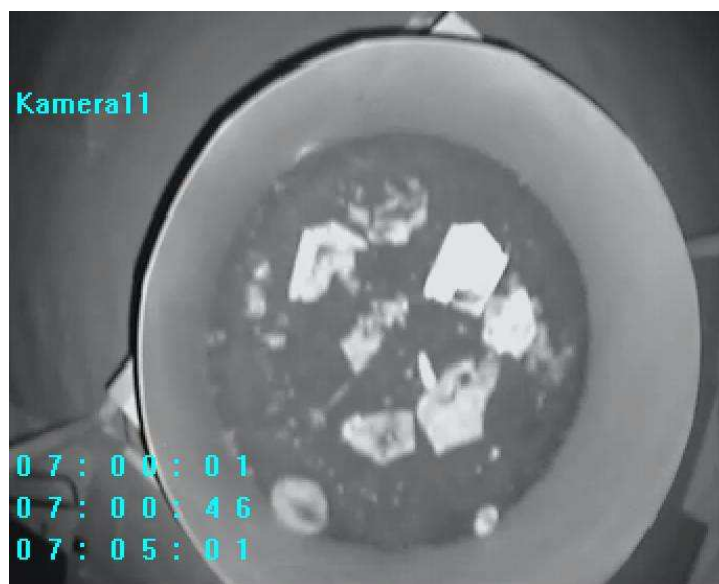
1) Přirozené pole: hlavní vektor $\mu=271,5^\circ$, medián je 268° , Rayleigh test $p=0,006$, Rao's spacing test $p<0,05$.

2) Pole otočené o 90° : hlavní vektor $\mu=6,8^\circ$ a medián je $2,5^\circ$, Rayleigh test $p>0,05$, Rao's spacing test $0,5>p>0,1$.

3) Pole otočené o 180° : hlavní vektor $\mu=138,0^\circ$, medián je 130° , Rayleigh test $p=0,02$. Rao's spacing test $p<0,05$.

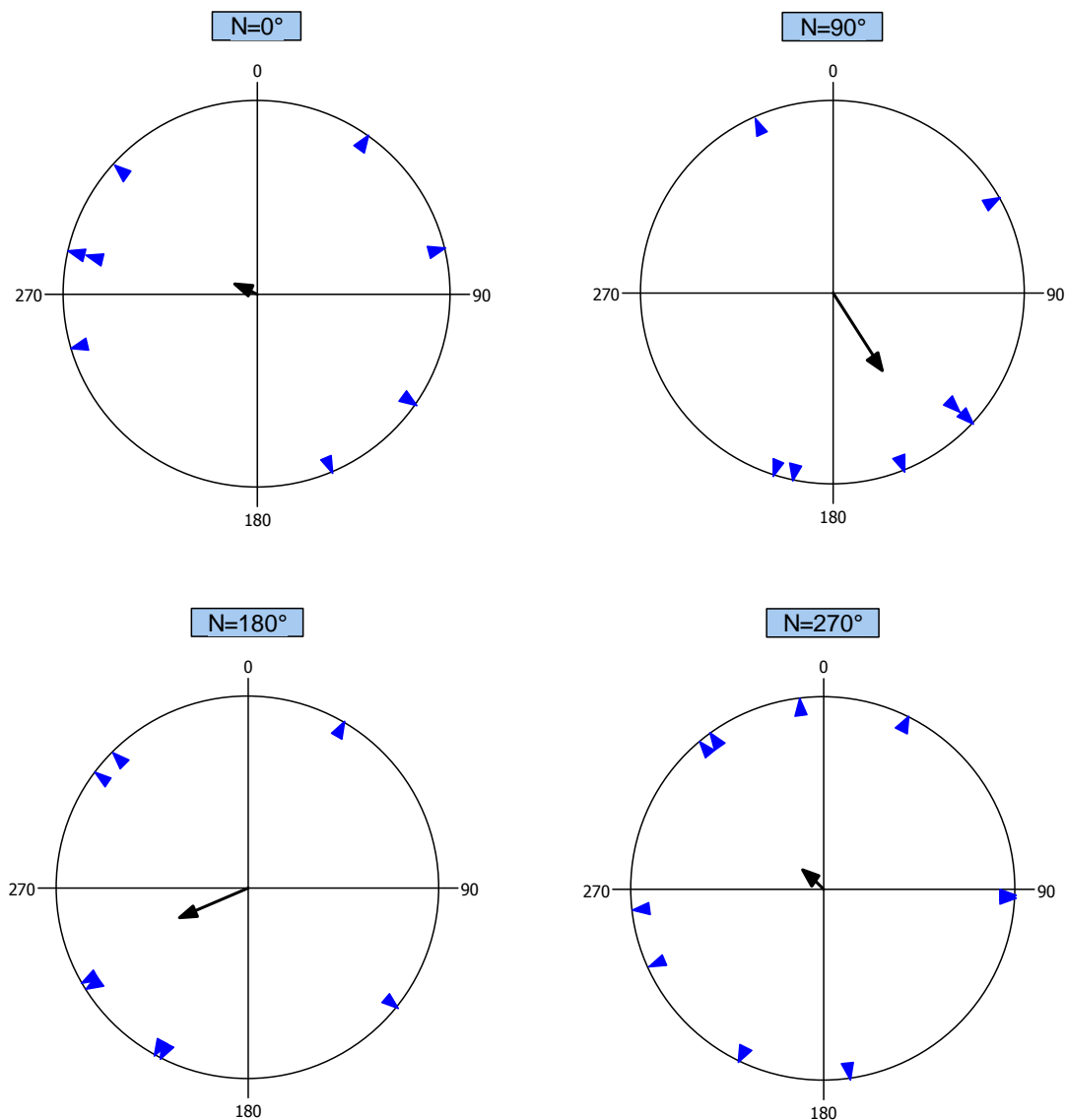
4) Pole otočené o 270° : hlavní vektor $\mu=196,3^\circ$, medián je 179° , Rayleigh test $p=0,05$, Rao's spacing test $p<0,05$.

Distribuce míst spánku ve čtyřech různých magnetických polích se prokazatelně vzájemně lišila (Watson -Williams test $P_{1-2}=0,006$, $P_{1-3}<0,001$, $P_{1-4}=0,006$, $P_{2-3}=0,001$, $P_{2-4}<0,001$, $P_{3-4}=0,07$). Byla zjištěna prokazatelná závislost mezi místem spánku rypošů stříbřitých a orientací magnetického pole. Rypoši měnili preferenci při stavbě hnízda v závislosti na otočení magnetického pole. Podobně jako u předchozího druhu, ve třech případech byla statisticky průkazná preference jednoho určitého směru, jeden případ (pole otočené o 90°) byl nad kritickou mezí významnosti v obou použitých testech. Na základě uvedených dat je možno konstatovat, že u rypoše stříbřitého byla prokázána schopnost magnetické orientace.



Obr. č. 5 Snímek z pořízeného záznamu – spící rypoš stříbřitý.

3.3. Morče domácí



Obr. č. 6 Rozmístění míst spánku morčete domácího, $n=10$, v přirozeném poli, poli otočeném o 90° , poli otočeném o 180° a poli otočeném o 270° . Modré trojúhelníky označují pozici spánku. 0° – sever přirozeného magnetického pole Země mimo cívku, N – sever magnetického pole vytvořeného cívkou. Směr šipky znázorňuje hlavní vektor a délka jeho velikost.

1) Přirozené pole: hlavní vektor $\mu=294,5^\circ$, medián je 283° , Rayleigh test $p>0,50$, Rao's spacing test $0,90>p>0,50$.

2) Pole otočené o 90° : hlavní vektor $\mu=147,6^\circ$, medián je 133° , Rayleigh test $0,50>p>0,10$, Rao's spacing test $0,50>p>0,10$.

3) Pole otočené o 180° : hlavní vektor $\mu=246,5^\circ$, medián je 238° , Rayleigh test $0,50>p>0,10$, Rao's spacing test $0,50>p>0,10$.

4) Pole otočené o 270° : hlavní vektor $\mu=311^\circ$, medián je 322° , Rayleigh test $p>0,50$, Rao's spacing test $0,90>p>0,50$.

V distribuci míst spánku v čtyřech polích nebyla prokazatelná odlišnost (Watson -Williams test $P_{1-2}=0,06$, $P_{1-3}=0,485$, $P_{1-4}=0,81$, $P_{2-3}=0,81$, $P_{2-4}=0,03$, $P_{3-4}=0,279$). Schopnost orientovat se v magnetickém poli nebyla u morčete domácího prokázána. Rozmístění míst spánku ve všech čtyřech magnetických polích se při použití různých statistických testů blížilo uniformnímu rozložení. Nebyla tedy pozorována žádná závislost mezi místem na spaní a orientací magnetického pole.

4. DISKUZE

4.1. Rypoš obří

Rypoš obří vykazuje silnou spontánní preferenci při stavbě hnízda. Páry rypoše začínají stavět hnízdo během několika hodin od vložení do arény. Na stavbě hnízda se podílejí oba partneři. V přirozeném poli byla jednoznačně prokazatelná preference při stavbě hnízda pro západní směr. Při otočení magnetického pole mění rypoši obří umístění svého hnízda v závislosti na změně pole – uchovávají si preferenci pro určitý okamžitý úhel. Průkazná preference západního směru byla v poli otočeném o 180° (převrácené pole – sever odpovídá jihu) a 270° (sever odpovídá západu). Preference nebyla průkazná pouze u pole otočeného o 90° (sever odpovídá východu). Spontánní směrovou preferenci při stavbě hnízda v kruhové aréně v přirozeném magnetickém poli, poli otočeném o 180° a 270° lze považovat za důkaz schopnosti vnímat magnetické pole Země a orientovat se podle jeho horizontálního vektoru.

Nejvíce preferovaný směr byl západní, azimut 282° , čímž se liší od dříve pozorovaných rypošů *Cryptomys* spp. a *S. ehrenbergi*, kteří preferovali jižní až jihovýchodní směr (Burda et al. 1990, Kimchi & Terkel 2001).

Preference jednotného úhlu při stavbě hnízda může sociálnímu rypoši obřímu poskytovat výhodu při vyhledávání společného hnízda. Zvířata adaptovaná na život v podzemí mají oslabenou schopnost termoregulace (Bennett et al. 1993). Spánek v rodinných skupinách, kdy se společně zahřívají, je pro ně zásadní. Hlavně při odchovu mláďat, která nejsou schopná bez zahřívání od rodičů a starších sourozenců přežít (vlastní pozorování). Pro rypoše obří je tedy poloha společného hnízda velmi důležitá.

4.2. Rypoš stříbřitý

Rypoš stříbřitý ukázal směrovou preferenci při volbě místa ke spánku v magnetickém poli. Ovšem distribuce míst ke spánku rypoše stříbřitého se liší od rypoše obřího. Na rozdíl od rypoše obřího, projevuje rypoš stříbřitý tendence k bimodálnímu uspořádání mimo osu. V přirozeném magnetickém poli preferuje rypoš stříbřitý prokazatelně západní směr (azimut 268°). Tato preference je patrná i u otočených polí o 180° a 270° . Opět se tedy jedná o jiný směr, než v předchozích studiích. Pole otočené o 90° ukazuje také preferenci pro východní směr, ale je slabší – nad kritickou hladinou pravděpodobnosti.

Při otočení o 180° a 270° je navíc patrná preference i pro severní směr (Rao's spacing test – bimodální rozložení distribuce).

Magnetický kompas rypošů byl určen jako polaritní (Marhold et al. 1997). Většinou u podzemních savců byla pozorována preference jen pro jednu stranu osy v magnetickém poli (Burda et al. 1990, Kimchi & Terkel 2001). Je tedy zajímavé, že u rypošů stříbřitých byla pozorována preference pro dva úhly, které navíc neleží na ose. Jako jedno z vysvětlení je možné, že zvířata jsou k vnímání magnetického pole citlivá a „poznají“, že s magnetickým polem bylo manipulováno, tedy že se jedná o nepřirozené magnetické pole. Pak je asi nejjednodušší určit polohu severu a vztáhnout svou pozici směrem k němu. Rypoši stříbřití jsou i více citliví na stres a vyrušení na rozdíl od rypošů obřích. Zatímco rypoši obří i morčata domácí jsou chováni v akváriích, rypoši stříbřití jsou chováni v systémech. Otevřený prostor arény tedy pro ně může být nepřirozený a matoucí. Pro další testování rypoše stříbřitého by zřejmě byl mnohem vhodnější osmiramenný labyrint (Kimchi & Terkel 2001).

Soliterní rypoši stříbřití žijí odděleně v podzemních systémech, v období páření však pravděpodobně cestují po povrchu, aby našli systém potenciálního partnera, a pak se zas vrátit zpět do vlastního labyrintu (Šumbera et al. 2007). Zároveň mají rypoši velmi redukovaný zrak (Němec et al. 2004), takže je nepravděpodobné, že by se na své cestě mohli orientovat podle vizuálních vodítek. Nabízí se zde tedy možnost, že rypoš stříbřitý využívá magnetickou orientaci právě při pohybu po povrchu země za rozmnožovacím partnerem. Polaritní magnetický kompas ve spojení s mapou by mu umožňoval stanovit nejkratší cestu návratu domů, aniž by se musel vracet po celé trajektorii pohybu při hledání

samice. Pro ověření, jestli rypoš stříbřitý skutečně využívá magnetické pole ke své navigaci, bude potřeba dalších experimentů zaměřených na navigaci.

4.3. Morče domácí

Morče domácí v této práci bylo zvoleno především jako kontrola pro ověření, jestli jsou podmínky ve vytvářeném magnetickém poli homogenní a nedochází k nějakému rušení z okolního prostředí. Distribuce míst spánku morčete ukazuje, že žádný úhel není preferován, ale ani se žádnému místu morčata nevyhýbala.

Ačkoliv u morčete domácího nebyl nalezen žádný vztah mezi orientací a změnami horizontálního vektoru magnetického pole a preferencí místa ke spánku, nemusí to nutně znamenat, že morče domácí není schopno vnímat magnetické pole Země. Neprůkaznost výsledků může být způsobena několika faktory.

- Morče domácí nepreferuje při vyhledávání místa ke spaní spontánně určitý magnetický úhel. Výběr vhodného místa ke spaní se může řídit podle jiných faktorů a orientačních vodítek – nabídka vhodných úkrytů atd.
- Jak známe od mnoha jiných zvířat, magnetická orientace bývá spojená se zrakem a se stimulací světlem (Deutschlander et al. 1999). Díky ekologické a smyslové odlišnosti morčete domácího od rypošů se může u morčete jednat o jiný typ magnetické orientace. Nejspíše typ spojený se světlem, kde je nutná stimulace světelným gradientem. Na světle nezávislý magnetický kompas byl potvrzen zejména u podzemních hlodavců (Marhold et al. 1997). Ale i mezi podzemními hlodavci studie odhalily druh, který tuto schopnost neprokázal (Schleich & Antinuchi 2004)
- Dřívější studie na pozemních hlodavcích prokázaly hlavně naučenou magnetickou orientaci pozemních hlodavců (Deutschlander et al. 2003, Muheim et al. 2006). Zvířata byla nejprve chována v klecích umístěných na určité ose magnetického pole Země, zakrytí části klece navíc vytvářelo stimulující světelný gradient, až následně byla testována jejich preference při stavbě hnízda v kruhové aréně. Před

návykem na světelný gradient ve spojení s magnetickým polem se u nich projevovala případně jen slabší preference (pouze v přirozeném magnetickém poli Země). Může se tedy jednat o to, nikoliv že zvíře není schopno vnímat magnetické pole a využívat ho jako informačního zdroje, ale že si nespojuje magnetické pole s preferencí místa na spaní. Jedná se tedy o nedostatek spontánního projevu magnetické preference, nebo nevhodně zaměřený pokus.

- Dalším faktorem, který mohl schopnost magnetické orientace morčete domácího negativně ovlivnit, je skutečnost, že zvířata pocházela ze standardizované laboratorní linie. Je prokázáno, že zvířata trpící albinismem mají sníženou výkonnost smyslových orgánů, včetně zraku (Gronskov et al. 2007). Zároveň bylo prokázáno, že magnetická orientace je i u podzemních savců vázána na oko (Wegner et al. 1996). Zopakování pokusu na zvířatech bez albinismu by mohlo přinést rozdílné výsledky. Odhalení vazby snížení schopnosti magnetické orientace na albinismus by mohlo přiblížit pochopení magnetické orientace jako smyslu.

Magnetickou orientaci u morčete domácího tedy nelze jednoznačně vyloučit. Můžeme pouze říct, že neprojevuje spontánní směrovou preferenci při výběru místa spánku v kruhové aréně. Pro vyloučení magnetické orientace by byl třeba rozsáhlejší pokus zaměřený například na naučené chování a stimulaci světlem.

4.4. Shrnutí

Ačkoliv dřívější studie nezávisle na sobě prokázaly jednotnou preferenci pro jižní až jihovýchodní směr u studovaných druhů podzemních savců (Burda et al. 1990, Marhold et al. 1997, Kimchi & Terkel 2001), oba druhy testovaných rypošů – rypoš obří i rypoš stříbřitý – preferovali západní směr k umístění hnízda nebo místa spánku. Preference určitého směru je považována za vrozenou (Marhold et al. 1997). Nabízí se tedy otázka, jestli je skutečně směr striktně vrozený, nebo volbu směru ovlivňují ještě nějaké další faktory, například návyk z domovského prostředí, jak tomu bylo u již dříve testovaných

pozemních hlodavců (Deutschlander et al. 2003, Muheim et al. 2006). Případně jestli vrozený směr nemůže být druhově, či populačně specifický.

Vliv prostředí v pokusné místnosti okolo cívky můžeme vyloučit, neboť při každém testu se díky manipulaci s magnetickým polem nachází sever v jiné části místnosti. Možný je ale např. vliv rušení ze stále stejného směru. Odpověď na otázku, proč se preferovaný směr rypošů v této práci liší od dříve pozorovaných, by mohla pomoci hlubšímu pochopení etologického principu magnetické orientace podzemních hlodavců. Je skutečně směr vrozený? Do jaké míry zde hraje roli vliv okolního prostředí nebo návyku? Většina dříve testovaných hlodavců byla odchycena z volné přírody (Burda et al. 1990, Kimchi & Terkel 2001, Kimchi et al. 2004). Zatímco všichni zde testovaní rypoši pocházejí již z fakulních chovů. Nabízí se otázka, jestli právě chov v zajetí může ovlivňovat směrovou preferenci.

Druhým společným rysem pro oba druhy rypošů je neprůkazná distribuce v poli otočeném o 90° (sever odpovídá východu). V testu bylo pořadí magnetických polí voleno náhodně, můžeme tedy vyloučit „předvídavost“ zvířete, nebo jeho neochotu spolupracovat v opakujícím se experimentu. Je možné, že při tomto uspořádání pokusu se dostává preferovaný směr do střetu s nějakým rušivým faktorem, který zvíře nutí změnit pozici. Při otočení pole o 90° je možné, že pole tvořené cívkou není dostatečně homogenní a je to pro zvířata matoucí. Chybí zde možnost srovnání s jinými studiemi, neboť bylo většinou pole otáčeno hlavně o 180° (sever odpovídá jihu) (Burda et al. 1990, Marhold et al. 1997, Kimchi et al. 2004).

Život v podzemí a hrabání tunelů je pro rypoše velmi energeticky náročný. Zároveň se zde nachází velmi málo vodítek, která by jim mohla sloužit k orientaci a navigaci. Magnetická orientace se jeví jako velmi dobré řešení této problematiky – poskytuje stabilní trojrozměrný informační systém. Umožňuje zvířatům orientovat se v neprobádaném prostoru, aby při nesystematickém hrabání tunelů zbytečně neztrácela energii.

4.5. Závěr

Závěrem lze říci, že se podařilo prokázat schopnost magnetické orientace u sociálního rypoše obřího a solitérního rypoše stříbřitého. Studie však odhalila rozdíly v preferenci mezi oběma druhy a mezi dříve studovanými hlodavci. Bližší odpovědi by mohlo přinést detailní prostudování pořízeného záznamu a další konkrétněji zaměřené experimenty.

5. POUŽITÁ LITERATURA

- August P., Ayvazian S., Anderson J.B.T., 1989: Magnetic orientation in a small mammal, *Peromyscus leucopus*. *Journal of Mammalogy* 70: 1-9.
- Baker R.R., 1989: Navigation and magnoreception by horses and other non-human land mammals. In: Orientation and navigation – birds, humans and other animals, Proc Int Conf Royal Inst Navig, Cardiff.
- Begall S., Lange S., Schleich C.E., Burda H., 2007: Acoustics, audition and auditory system. In: Begall S., Burda H., Schleich C.E. (Eds.), *Subterranean rodents: News from underground*. Springer-Verlag, Berlin: 97-112.
- Bellini S., 1963: Su di un particolare comportamento di batteri d'acqua dolce. *Istituto di Microbiologia dell'Universita di Pavia*: 3-7.
- Bennett N.C., Aquilar G.H., Jarvis J.U.M., Faulkes C.G., 1993: Thermoregulation in three species of Afrotropical subterranean mole-rats (Rodentia: Bathyergidae) from Zambia and Angola and scaling within the genus *Cryptomys*. *Oecologia* 97: 222-227.
- Blakemore R.P., 1975: Magnetotactic bacteria. *Science* 19: 377-379.
- Burda H., 1987: Magnetische Navigation bei den Graumullen, *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae)? *Z.Säugetierk.Suppl.* 61:12.
- Burda H., Begall S., Červený J., 2008: Magnetická orientace skotu, srnců a jelenů, aneb čeho si pastevci a lovci nikdy nepovšimli. In: Bryja J., Nedvěd O., Sedláček F., Zukal J. (Eds.), *Sborník abstraktů z konference Zoologické dny České Budějovice 2008*: 33.
- Burda H., Marhold S., Westenberger T., Wiltschko R., Wiltschko W., 1990: Evidence for magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus*, *Experientia* 46: 528-530.

- Deutschlander M.E., Freake M.J., Borland S.C., Philips J.B., Madlen R.C., Anderson L.E., Wilson B.W., 2003: Learned magnetic compass orientation by the Siberian hamster, *Phodopus sungorus*. *Animal Behaviour* 65: 779-786.
- Deutschlander M.E., Phillips J.B., Borland S.C., 1999: The case for light-dependent magnetic orientation in animals. *The Journal of experimental biology* 202: 891-908.
- Gronskov K., Ek J., Brondum-Nielsen K., 2007: Oculocutaneous albinism. *Orphanet journal of rare diseases* 2: 43.
- Kimchi T. & Terkel J., 2001: Magnetic compass orientation in the blind mole rat *Spalax ehrenbergi*. *Journal of Experimental Biology* 204 (4): 751-758.
- Kimchi T., Etienne A.S., Terkel J., 2004: A subterranean mammal uses the magnetic compass for path integration. *PNAS* 101/4: 1105-1109.
- Kovach W.L., 2006: Oriana – Circular statistic for Windows ver.2. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK.
- Lehner P.N., 1996: Spatial orientation and time: circular statistics and spatial patterns. In: Lehner P.N. (Ed.), *Handbook of ethological methods*. Cambridge university press: 485-521.
- Lohmann K.J. & Lohmann C.M.F., 1994: Detection of magnetic inclination angle by sea turtles: a possible mechanism for determining latitude. *The Journal of experimental biology* 194: 23-32.
- Marhold S., Beiles A., Burda H., Nevo E., 2000: Spontaneous directional preference in subterranean rodent, the blind mole-rat, *Spalax ehrenbergi*. *Folia Zoologica* 49 (1): 7-18.
- Marhold S., Wiltschko W., Burda H., 1997: A Magnetic polarity compass for direction finding in a subterranean mammal. *Naturwissenschaften* 84: 421-423.

- Moritz R.E., Burda H., Begall S., Němec P., 2007: Magnetic compass: A useful tool underground. In: Begall S., Burda H., Schleich C.E. (Eds.), *Subterranean rodents: News from underground*. Springer-Verlag, Berlin:161-174.
- Muheim R., Edgar N.M., Sloan K.A., Phillips J.B., 2006: Magnetic compass orientation in C57BL/6J mice. *Learning & Behavior* 34/4, 366-373.
- Němec P., Burda H., Peichl L., 2004: Subcortical visual system of the African mole-rat *Cryptomys anselli*: to see or not to see?. *European journal of neuroscience* 20(3): 757-768.
- Němec P., Cveková P., Burda H., Benada O., Peichl L., 2007: Visual systems and the role of vision in subterranean rodents: diversity of retinal properties and visual system designs. In: Begall S., Burda H., Schleich C.E. (Eds.), *Subterranean rodents: News from underground*. Springer-Verlag, Berlin: 129-160.
- Phillips J.B. & Borland S.C., 1992: Magnetic compass orientation is eliminated under near-infrared light in the eastern red-spotted newt *Notophthalmus viridescens*. *Animal Behaviour* 44: 796-797.
- Schleich Ch.E., Antinuchi C.D., 2004: Testing magnetic orientation in a solitary subterranean rodent *Ctenomys talarum* (Rodentia: Octodontidae). *Ethology* 110: 485-495.
- Šumbera R., Chitaukali W.N., Burda H., 2007: Biology of the silvery mole-rat (*Heliophobius argenteocinereus*). Why study a neglected subterranean rodent species? In: Begall S., Burda H., Schleich C.E. (Eds.), *Subterranean rodents: News from underground*. Springer-Verlag, Berlin:221-236.
- Walker M.M., Dennis T.D., Kirschvink L.J., 2002: The magnetic sense and its use in long-distance navigation by animals. *Neurobiology* 12: 735-744.
- Wang Y., Pan Y., Parsons S., Walker M., Zhang S., 2007: Bats respond to polarity of a magnetic field. *Proceedings of the Royal Society in biology* 274: 2901-2905.

- Wegner R.E., Begall S., Burda H., 1996: Magnetic compass in the cornea: local anaesthesia impairs orientation in a mammal. *The Journal of experimental biology* 209: 4747-4750.
- Wiltschko R. & Wiltschko W., 1995: *Magnetic orientation in Animals*. Springer, Zoophysiology Vol. 33, 297 pp.
- Wiltschko W. & Wiltschko R., 1996: Magnetic orientation in birds. *The Journal of experimental biology* 199: 29-38.
- Wiltschko W., Munro U., Ford H., Wiltschko R., 1993: Magnetic inclination compass: A basis for the migratory orientation of birds in the Northern and Southern Hemisphere. *Cellular and molecular life sciences* 49: 167-170.
- Zoeger J., Dunn J.R., Fuller M., 1981: Magnetic material in the head of common Pacific dolphin. *Science* 213(4510):892-894.

6. PŘÍLOHY



Příloha č. 1 Aréna před začátkem pokusu

	N=0°	N=90°	N=180°	N=270°
1	38	50	224	311
2	301	206	101	200
3	280	52	109	258
4	283	9	105	201
5	182	281	358	98
6	267	27	72	158
7	282	4	96	193
8	298	300	62	148
9	292	28	140	196
10	312	123	103	182

Příloha č. 2 Zdrojová data rypoš obří

	N=0°	N=90°	N=180°	N=270°
1	270	245	258	169
2	332	2	198	290
3	228	3	92	342
4	268	42	94	140
5	258	126	168	174
6	84	359	101	288
7	268	76	84	174
8	312	252	196	184
9	263	348	156	173
10	246	6	104	202

Příloha č. 3 Zdrojová data rypoš stříbřítý

	N=0°	N=90°	N=180°	N=270°
1	254	158	307	353
2	125	336		324
3	312	133	209	246
4			129	172
5	283	192	238	93
6	157		30	320
7	76	198		92
8	283		315	264
9	35	60	240	26
10		133	207	206

Příloha č. 4 Zdrojová data morče domácí