

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Zemědělská fakulta**

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Biologie a ochrana zájmových organismů

Katedra: Katedra biologických disciplín

Vedoucí katedry: doc. Mgr. Michal Berec, Ph.D.

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Spontánní směrová preference u gekončíka nočního (*Eublepharis macularius*): Lateralita a preference světových stran**

Vedoucí diplomové práce: prof. RNDr. František Sedláček, CSc.

Konzultant diplomové práce: Mgr. Jitka Lásková, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Kateřina Votrubová

**České Budějovice, 2020**

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 jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis studenta

## **Poděkování**

S laskavým dolovením čtenáře bych na tomto místě ráda poděkovala svým školitelům Mgr. Jitce Láskové, Ph.D. a prof. RNDr. Františku Sedláčkovi, CSc., za jejich cenné a odborné rady týkající se chovu gekončků, psaní samotné diplomové práce a následného zpracování získaných dat. Mé díky patří i prof. RNDr. doc. Danielu Fryntovi, Ph.D. za poskytnutí pokusných gekončků, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Dále chci poděkovat Věře Trapkové ze studijního oddělení za její vstřícnost a neocenitelnou pomoc při vyřizování všech záležitostí souvisejících s mým studiem. Děkuji i své rodině, zejména Jirkovi, který mě vždy podpořil jak ve studijním, tak v osobním životě. Největší poděkování patří samotným gekončkům, kteří mi byli skvělými společníky v průběhu celého testování a vše zvládli bez větších komplikací.

## **Abstrakt**

Navzdory stále přibývajícím studiím, které se zabývají orientací, magnetorecepcí a lateralitou u živočichů, je jen velmi malá část z nich věnována plazům. Tato práce poukazuje na tento nedostatek a snaží se přinést nové informace ohledně orientace plazů v prostoru. Praktická část je zaměřena na zkoumání laterality u gekončíka nočního (*Eublepharis macularius*) pomocí testování v T-labyrintu. Dále se zabývá potenciálním vlivem magnetického pole Země na orientaci v bludišti a schopností gekončků toto pole vnímat. Součástí je i obecné zhodnocení etologie gekončků nočních v rámci celého pokusu.

**Klíčová slova:** gekončík noční (*Eublepharis macularius*), lateralita, magnetická orientace, alignment, etologie

## **Abstract**

Despite increasing numbers of studies on orientation, magnetoreception and laterality, there is only few of them focused on reptiles. This thesis points out this issue and tries to come up with a new information about orientation in reptiles. Practical part is aimed at laterality in leopard gecko (*Eublepharis macularius*) by testing it in T-maze. It also focuses on potential influence of the Earth's magnetic field on orientation in T-maze and geckos ability to perceive this field. Additionally, this thesis include some general evaluation of gecko's etology throughout the experiment.

**Key words:** leopard gecko (*Eublepharis macularius*), laterality, magnetic orientation, alignment, etology

# OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Prostorová orientace u obojživelníků a plazů .....	9
2.1	Magnetické pole .....	11
2.2	Magnetorecepce a magnetická orientace.....	12
2.3	Alignment.....	14
2.3.1	Magnetický alignment.....	14
3	Lateralita .....	16
3.1	Lateralita u obojživelníků a plazů .....	17
4	Biologie gekončíka nočního ( <i>Eublepharis macularius</i> ) .....	19
5	Cíle práce .....	21
6	Materiál a metodika.....	21
6.1	Pokusná zvířata a chovné podmínky .....	21
6.2	Použitá aparatura .....	22
6.3	Průběh experimentu.....	23
6.4	Rozvržení světových stran a pořadí gekončíků.....	24
6.5	Záznam měření .....	24
6.6	Další měření .....	25
	Vyhodnocení pokusu a získání primárních dat .....	25
6.7	.....	25
7	Výsledky .....	27
7.1	Stanovení pravolevé stranové preference při volné exploraci v T-labyrintu.....	27
7.2	Preference světových stran.....	28
7.3	Preference v závislosti na světových stranách.....	30
7.4	Porovnání etologie gekončíků .....	32
7.4.1	Učení v průběhu pokusu.....	33

8	Diskuse.....	34
8.1	Lateralita.....	34
8.2	Vliv magnetického pole na lateralitu.....	34
8.3	Magnetorecepce.....	35
8.4	Etologie .....	36
9	Závěr .....	37
10	Literatura .....	38
11	Přílohy	

# 1 Úvod

Orientace v prostoru je velmi komplexní záležitost. Organismy využívají při orientaci podněty, které jsou schopny zachytit svými smysly. Dále mohou tyto podněty využívat k tvorbě mapy a orientačních bodů. Tyto informace jsou pak využity k určení vlastní polohy v prostoru a následné navigaci na určité místo (migrace, vyhledávání potravy, úkrytu, partnera apod.). Jde o proces, který neprobíhá sám o sobě, ale je většinou součástí nějakého jiného chování, nejčastěji pohybu (lokomoce). Při studiu orientace u zvířat narážíme na tři hlavní překážky, kterými jsou variabilita v motivaci, využití více podnětů při navigaci a variabilita při vyhodnocování podnětů konkrétního jedince. Motivace je asi nejdůležitější a nejobtížnější (zejména u studenokrevných živočichů) složkou při pozorování. Pokud zvíře není dostatečně motivováno a nehýbe se, může se mylně zdát, že se neorientuje. Přitom může mít jasnou představu o své poloze, jen ho aktuálně tato skutečnost nezajímá a věnuje se jiné činnosti. Další problém je sama komplexita orientace. Vyhodnocení závisí na zpracování několika složek (vizuální, akustická, magnetická atd.), přičemž je skoro nemožné jednotlivé složky od sebe oddělit, jelikož jsou většinou vzájemně propojené a zastupitelné. Svou roli hraje i variabilita každého jedince. Jeho individuální reakce jsou většinou výsledkem vlastní personality a nabytých zkušeností. (Wiltschko a Wiltschko, 1995)

Rozeznáváme dva hlavní typy orientace v prostoru – geografická a topografická. Geografická navigace je využívána při pohybech na dlouhé zeměpisné vzdálenosti, spadají sem migrační cesty ptáků a mořských želv. Navigace na dlouhé vzdálenosti je zajišťována pomocí komplexu vnitřních kompasů, především se jedná o kompas magnetický, sluneční a hvězdný (celestiální). Každý z kompasů je využíván za určitých podmínek, takže se mohou vzájemně nahrazovat a doplňovat. Preference se může měnit i s ontogenezí zvířete – např. u holuba domácího (*Columba livia*) dochází k změně preference magnetického kompasu na sluneční (Stuchlík, 2003). Topografická navigace je orientace v rámci habitatu. Tento typ navigace může zahrnovat jak kompasovou navigaci, tak i navigaci pomocí blízkých a vzdálených navigačních bodů (allothetická navigace). Dále sem patří i idiothetická navigace, kdy jsou informace o poloze v prostoru získávány přímo z lokomoce a za pomoci smyslových orgánů. Sloučením výše zmíněných typů navigace si organismy vytvářejí

tzv. kognitivní mapu, díky které jsou schopny komplexní orientace v prostoru. (Jacobs, 2003)

Tato práce se zabývá lateralitou a potenciálním vlivem magnetického pole na orientaci gekončika nočního (*Eublepharis macularius*). V poslední době se magnetorecepce a magnetická orientace stala předmětem zájmu řady vědců. Nejspíše je to dáno tím, že po dlouhou dobu nebylo možné prokázat tuto schopnost u člověka (v současnosti se objevilo několik studií, které potvrzují jistou míru magnetorecepce i u lidí – viz např. Chae et al., 2019; Wang et al., 2019) , a tak je tato schopnost u jiných organismů fascinuje a podněcuje k dalšímu zkoumání.

## **2 Prostorová orientace u obojživelníků a plazů**

Plazi a obojživelníci sice netvoří monofyletickou skupinu, jedná se ale o terestrické obratlovce, kteří jsou si v mnoha směrech velice podobní. Spojuje je především jejich ektotermie a poikilotermie. Podobnost můžeme nalézt i ve způsobu jejich orientace v prostoru (Russell et al., 2005).

Studií, které se zabývají orientací u plazů, moc není. V zásadě byla orientace v prostoru vždy spojována především s migrací a až do nedávna byl za migraci považován pouze kontinuální přesun na dlouhé vzdálenosti, typický hlavně pro velké savce a ptáky. Není tedy divu, že plazi (kteří nejsou moc dobře uzpůsobeni k migracím na dlouhé vzdálenosti kvůli své ektotermii a ne příliš efektivní cévní soustavě) do této kategorie organismů nespádali (snad s výjimkou želv, např. Lohmann et al., 2004). Novější interpretace migrace však zahrnuje jakýkoliv pohyb, při kterém organismus opouští svůj domácí okrsek (home range). Terestriční plazi tak často migrují na menší vzdálenosti (do 20 km) mezi sezónními habitaty (Southwood a Avens, 2010). Důvodem k migraci může být změna klimatických podmínek (migrace do místa zimoviště), potřeba vody a potravy (Gregory, 1982). Dále je u plazů typická migrace za účelem vyhledání partnera (Rand, 1968; Kay, 2005)

Při navigaci se plazi spoléhají hlavně na chemické a vizuální podněty. K detekci chemických značek (nejčastěji se jedná o feromonovou stopu) slouží plazům vomeronasální orgán. Díky němu jsou schopni zachytit feromony jak na zemi, tak ve



vzduchu, a dokonce i na vodní hladině. Dobře prozkoumanou skupinou v tomto ohledu jsou hadi (Lemaster et al., 2001) a mořské želvy (Bartol a Musick, 2003).

Drtivá většina plazů se však orientuje pomocí vizuálních podnětů, které mohou mít různou podobu. Mezi takové podněty můžeme zařadit polarizované světlo, slunce, hvězdy, nebo tzv. landmarky (významné body v krajině, blízké či vzdálené). Orientace pomocí polarizovaného světla můžeme nalézt u želv a ještěřů. K detekci polarizovaného světla slouží ještěřům tzv. parietální oko (Ellis-Quinn a Simony, 1991). Pohyb slunce po obloze využívají k orientaci někteří zástupci hadů a mořských želv (Landreth, 1973; Avens a Lohmann, 2003). Solární a celestiální typ navigace byl pozorován u aligátorů (Murphy, 1981).

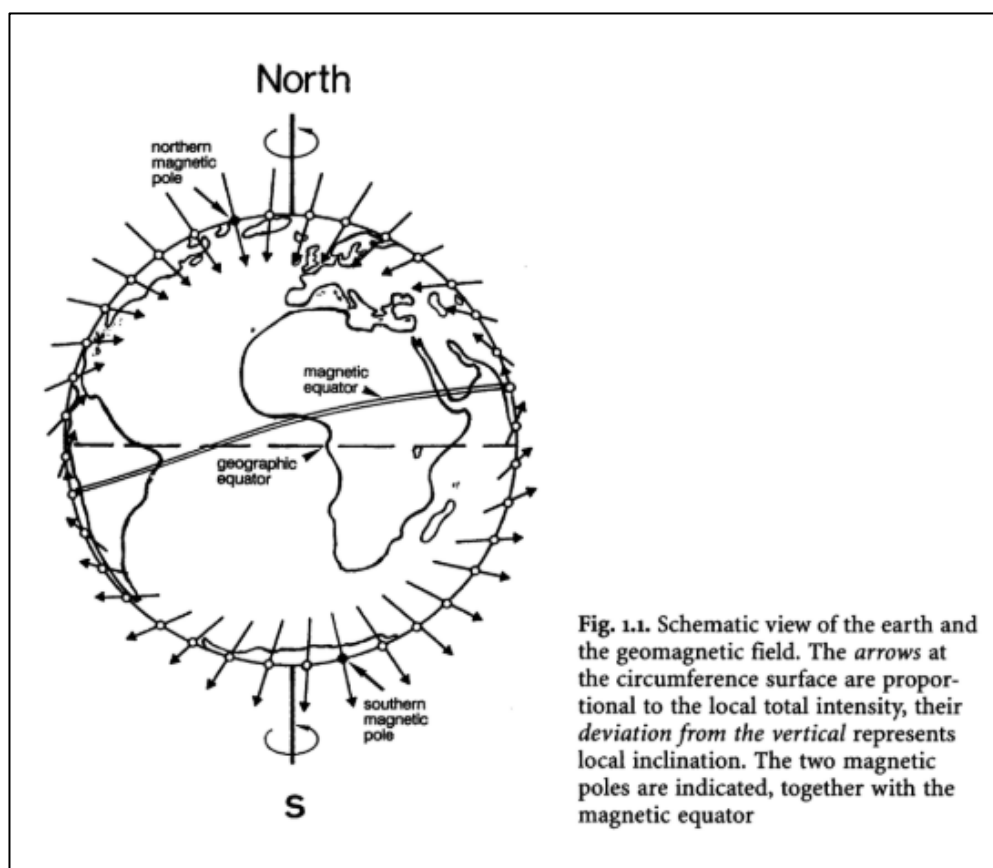
Orientace založená na využívání blízkých a vzdálených orientačních bodů se zdá být mezi plazi hojně rozšířena. Při testování tohoto typu orientace je zvíře často umístěno do bludiště a jsou mu poskytnuty značky uvnitř i vně bludiště, které jsou v různých kombinacích přidávány, nebo naopak odebírány. Ve valné většině případů výsledek studií potvrdil schopnost plazů orientovat se podle těchto orientačních bodů, navíc byl zaznamenán proces učení a zlepšování se v průběhu testování. Takto testovanými plazi byla užovka červená (*Elaphe gutata gutata*) (Holtzman et al., 1999), želva uhlířská (*Geochelone carbonaria*) (Wilkinson et al., 2009) želva nádherná (*Pseudemys scripta*) (Lopez et al., 2001) a gekončík noční (*Eublepharis macularius*) (Voňavková, 2013).

Kromě testů v laboratoři se při zjišťování orientace plazů uplatňují translokační testy, při kterých je zvíře odchyceno a převezeno na předem určené stanoviště. Následně je vyhodnocována jeho schopnost vrátit se zpět na původní místo odchytu (předpokládaného jako domácí okrsek, tzv. homing). Touto metodou byla zjištěna orientace pomocí významných bodů v krajině (konkrétně stromů) u gekona (*Gehyra variegata*) (Gruber a Henle, 2004), nebo například schopnost vnímat a možná se i orientovat pomocí magnetického pole u dalšího zástupce čeledi Gekkonidae (*Cyrtodactylus philippinicus*) (Marek et al., 2010).

Obojživelníci, podobně jako plazi, využívají při orientaci v prostoru akustické, olfaktorické, vizuální a magnetické podněty. Jejich kombinací jsou schopni vytvářet kognitivní mapy, pomocí kterých se pohybují v prostoru (Sinsch, 1990).

## 2.1 Magnetické pole

Geomagnetické pole vzniká pohybem tekutého zemského jádra a má charakter dipólu – severní a jižní pól. Osa tohoto pole neprochází přesně středem Země, ale je od něj o několik stupňů odkloněna (Obr. 1). Navíc se poloha magnetických pólů stále mění a za celou historii vývoje naší planety se i několikrát zcela převrátila (Hamilton, 2019). Ačkoliv je severní magnetický pól tak nazýván, z fyzikálního hlediska se jedná o jižní pól tyčového magnetu (přitahuje severní část strelky kompasu, směr siločar je od jižního zemského pólu k severnímu) (Wiltschko a Wiltschko, 1995).



Obr. 1 – Schéma magnetického pole Země, převzato z Magnetic orientation in animals (Wiltschko a Wiltschko, 1995).

Na naší planetě tedy siločáry vystupují z jižního zemského pólu a znovu se setkávají na pólu severním. Úhel, který siločáry svírají s povrchem země, se označuje jako inklinace. Inklinace na pólech je  $90^\circ$  (siločáry vstupují, nebo vystupují v kolmém směru), na rovníku jdou vodorovně s povrchem země a úhel je tedy  $0^\circ$ . Magnetické pole tvoří gradient, na pólech je jeho intenzita nejvyšší a na magnetickém rovníku nejnižší. Navíc je magnetické pole ovlivněno přítomností feromagnetických látek

(magnetit, hematit) v litosféře, odlišnosti také nalezneme mezi oceánskými a pevninskými oblastmi (Lanza a Meloni, 2006). Značný vliv má i elektromagnetické záření Slunce (Mead, 1964). Podobně jako poloha pólů se i intenzita magnetického pole v průběhu vývoje Země mění, přičemž tyto změny spolu úzce souvisejí (Valet a Meynadier, 1993).

## 2.2 Magnetorecepce a magnetická orientace

Magnetorecepce byla prokázána už v roce 1967 u včely obecné (*Apis mellifera*) (Von Frisch, 1967 ex Gould, 1980). Následoval výzkum u dalších skupin a brzy se schopnost vnímat magnetické pole prokázala u příčnoústých (Elasmobranchii) (Kalmijn, 1978), bakterií (Blakemore, 1975) a ptáků (Gould, 1980). V posledních cca 30 letech jsou stále více testováni také savci, přičemž asi nejprozkoumanější skupinou jsou hlodavci (Burda et al., 1990; Moritz et al., 2007; Malewski et al., 2018).

Aby organismy byly schopny vnímat magnetické pole, je zapotřebí mít vyvinuté příslušné magnetoreceptory. Pro pochopení, jak tyto receptory fungují, je nutné znát, na jakém principu funguje příjem magnetického signálu, které orgány ho jsou schopny zachytit a jaká část mozku je zodpovědná za jeho vyhodnocení (Němec et al., 2001). V současné době rozeznáváme dva hlavní principy magnetorecepce. První je lokalizován v sítnici oka a je založen na chemické reakci, kdy dochází k párování volných radikálů. Zmíněné radikály se vyznačují přítomností nespárovaného elektronu, přičemž tyto elektrony mají různý spin (vnitřní moment hybnosti). Při vytvoření radikálového páru tak vznikají páry s nesushlasnými (singletový stav), nebo souhlasnými (tripletový stav) spiny volných elektronů. Poměr vznikajících singletů a tripletů je ovlivněn magnetickým polem (Rodgers a Hore, 2009). Organismy jsou tak na základě tohoto poměru schopny určit směr, intenzitu a inklinaci magnetického pole. Průběh reakce je zajišťován pomocí světelné energie, jedná se tedy o magnetorepceci závislou na světle (Rozhok, 2008). Tento typ magnetorecepce hraje nejspíše roli při navigaci pomocí inklinčního kompasu (viz dále). Druhý princip předpokládá přítomnost feromagnetických látek v buňkách, mechanoreceptorech. Jedná se o drobné krystalky magnetitu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), které se vlivem magnetického pole posouvají a informace o jejich poloze je pak přenášena nervovým systémem do mozkového centra k vyhodnocení (Kirschvink et al., 2001).

Magnetické pole Země může sloužit jako mapa při navigaci. Organismy mohou v závislosti na jejich schopnosti vnímat magnetismus určit sever, popřípadě i svou pozici v prostoru. U organismů rozeznáváme dva hlavní typy magnetických kompasů. První funguje podobně jako technické kompas, které jsou využívány lidmi. Organismy tak rozeznají polaritu magnetického pole Země, takže jsou schopny odlišit severní a jižní pól (polarity compass). Druhý typ detekuje siločáry a jejich inklinaci (inclination compass). Organismy jsou v tomto případě schopny odlišit směr k pólu a k rovníku (Wiltschko a Wiltschko, 2006). Tento typ kompasu se vyskytuje hlavně u živočichů, kteří prodělávají migrace na dlouhé vzdálenosti (Wiltschko and Wiltschko, 2005; Merrill a Salmon, 2011). Jednotlivá zastoupení obou kompasů u různých skupin organismů znázorňuje následující tabulka (Tab. 1).

Animals demonstrated to use a magnetic compass				
Systematic group	Type of compass			
<b>Molluscs</b>				
Snails	1 order	1 family	1 species	???
<b>Arthropods</b>				
Crustaceans	3 orders	3 families	5 species	polarity compass
Insects	6 orders	7 families	9 species	polarity compass?
<b>Vertebrata</b>				
Cartilageous fish	1 order	1 family	1 species	???
Bony fish	2 orders	2 families	4 species	polarity compass?
Amphibians	1 order	2 families	2 species	inclination compass
Reptilians	1 order	2 families	2 species	inclination compass
Birds	4 orders	12 families	21 species	inclination compass
Mammals	2 orders	2 families	3 species	polarity compass

Tab. 1 - Tabulka znázorňující zastoupení jednotlivých typů kompasu napříč živočišnými taxony (Wiltschko a Wiltschko, 2006).

Vzhledem k evoluční příbuznosti ptáků a plazů můžeme předpokládat stejný typ kompasu u obou těchto skupin. U ptáků byla prokázána přítomnost inklinčního kompasu závislého na světle (Wiltschko a Wiltschko, 2001), nicméně při absenci světla jsou ptáci stále schopni magnetické orientace. Vysvětlením může být ještě výskyt magnetorecepce na základě feromagnetických částic (Stapput et al., 2008), nebo třeba využití jiného zdroje energie pro radikálovou reakci, než je světlo. Studie prováděné na želvách (Lohmann a Lohmann, 1993) a obojživelnících (Schlegel a Renner, 2007; Schlegel, 2007) naznačují, že i v těchto skupinách se jedinci orientují podle magnetického pole nezávisle na světle.

Magnetorecepce nemusí nutně sloužit jen k navigaci, může být faktorem ovlivňujícím obecně orientaci organismů v prostředí a udávat tak jejich směrovou preferenci jako určité výchozí postavení v prostoru (Begall et al., 2013).

## 2.3 Alignment

Pozice organismů v prostoru není náhodná. Obecně se tento jev nazývá alignment, jde o spontánní natáčení organismů v prostoru. Alignment je ovlivněn především abiotickými faktory jako je postavení Slunce, síla a směr větru či proudění vody. To má za následek natočení organismů v určitém směru – při vyhřívání je snaha exponovat co největší plochu těla, v proudící vodě je žádoucí plavat po (nebo i proti) směru proudění, kvůli ušetření energie. Kromě abiotických faktorů lze zmínit i faktory biotické, například pozice proti nepříteli, partnerovi nebo kořisti (Begall et al., 2013). V mnoha případech je organismus vystaven několika faktorům najednou, přičemž dochází ke střetu jednotlivých alignmentů. V takovém případě dochází k takzvanému trade-off mezi jednotlivými alignmenty a je třeba rozhodnout, jaký je v danou chvíli pro organismus výhodnější (Hetem et al., 2011).

### 2.3.1 Magnetický alignment

Magnetický alignment (MA) je pozice ovlivněná magnetickým polem Země a projevuje se natáčením těla ve směru siločar magnetického pole, přičemž nejvíce preferovaná se zdá být severo-jihní osa. Organismy preferující striktně jediný směr se nazývají unimodální, častěji se však setkáme s bimodálními organismy (preferují dva směry na jedné ose), popřípadě kvadrimodálními (preference čtyř směrů) (Begall et al., 2013).

Přítomnost MA je poměrně dobře prokázána u hmyzu jako je včela medonosná (*Apis mellifera*) (Hsu et al., 2007), octomilka obecná (*Drosophila melanogaster*) (Dommer et al., 2008) a šváb americký (*Periplaneta americana*) (Půžová et al., 2010). Celkem překvapivé bylo zjištění, že se tento fenomén vyskytuje také u známých obratlovců – u skotu (Hetem et al., 2011; Begall et al., 2013), jelena evropského (*Cervus elaphus*) (Begall et al., 2008), lišky obecné (*Vulpes vulpes*) (Červený et al.,

2011) a psa domácího (*Canis lupus*) (Adámková et al., 2017). MA byl nalezen i u ryb (Hart et al., 2012) a obojživelníků (Schlegel, 2007).

Při studiu MA je důležité, aby sledované zvíře a jeho chování nebylo ovlivněno pozorovatelem. To se dá zařídit pomocí pozorování z dálky (dalekohledy), popřípadě pomocí videozáznamů. Extrémní případ pozorování z dálky jsou záznamy ze satelitních snímků. Druhá možnost je testování v laboratoři, kdy je ovšem značně omezena velikost sledované populace i velikost samotného jedince (Begall et al., 2013).

Takřka všechny studie se shodují v preferenci severo-jihní osy, přičemž je upřednostňován směr přímo k magnetickému pólu Země před tím geografickým. Organismy preferovali tento směr jak při odpočinku, tak při lovu, nebo stavbě hnízda, tedy víceméně při maximální, nebo naopak minimální aktivitě.

V mnoha případech jde alignment jednoduše vysvětlit – organismus zaujímá takovou pozici, která je pro něj z nějakého důvodu výhodná. Magnetický alignment je naproti tomu někdy těžké rozeznat a jeho interpretace je často nejednoznačná. Přesto se s tímto fenoménem setkáváme čím dál častěji u různých živočichů. Vystává tedy otázka, jaké další taxony jsou schopny magnetického alignmentu a jaký je jeho biologický význam. Někteří vědci se domnívají, že seřazení podle siločar magnetického pole umožňuje plynulý pohyb v rámci stáda při pastvě, kdy si jedinci vzájemně nepřekázejí, ale také při ohrožení predátorem, kdy tato synchronizace dovoluje útek v jednom směru a předchází tak zmatení a narážení jedinců do sebe (Begall et al., 2013). Dále je tu možnost, že jde o pozůstatek z doby, kdy zvířata migrovala na dlouhé vzdálenosti (Wiltschko a Wiltschko, 1995). Této skutečnosti však odporuje fakt, že MA je dobře detekovatelný hlavně u zvířat, která zrovna nic nedělají. Zajímavý výsledek přinesla studie z roku 2011, podle které lišky využívají magnetický alignment při lovu. Postavení v severo-jihním směru by mohlo liškám pomáhat s určením vzdálenosti kořisti, především v husté, vysoké vegetaci, nebo při vyšší sněhové pokrývce (Červený et al., 2011). Podle mého názoru je velmi zajímavá i myšlenka, že MA může být použit k minimalizaci kompetice mezi smysly a optimalizaci při soustředění. Například pokud člověk chce dobře něco slyšet (neznámý zvuk, nebo při poslechu vážné hudby), má tendenci zavírat oči, aby slyšel lépe. Tím, že dočasně zastaví přísun vizuálních informací, se mozek může více soustředit na

informace přicházející z ostatních smyslů – v tomto případě především akustické. MA možná funguje na stejném principu, jestliže chápeme magnetosenzitivitu jako další smysl. Pokud je tedy organismus natočen ve směru os světových stran (nemusí nutně směřovat na sever), minimalizuje tak množství informací o pozici v prostoru. Tím pádem se pak může lépe soustředit na vjemy poskytnuté ostatními smysly (Begall et al., 2013).

### 3 Lateralita

Lateralita neboli přednostní užívání jednoho z párových orgánů, je dobře prozkoumána zejména u člověka. V úzkém slova smyslu jde o dominanci pravé nebo levé ruky. Obecně se ale jedná o preferenci, kdy je využíván více jeden párový orgán než druhý (ruka, noha, oko). Lateralita se uplatňuje i při určování směru (točivost, zatáčivost – někteří jedinci volí na křižovatce přednostně jeden směr).

Na počátku ontogeneze jsou asi všechny organismy z uvedeného hlediska víceméně symetrické, nicméně k postupné lateralizaci dochází již v raných stádiích vývoje. Je zde předpoklad, že jedinci, kteří jsou lateralizovaní, dosahují lepších výsledků než ti, kteří nejsou. Vysoká míra laterality tak vede k lepší orientaci v prostoru, úspěšnému lovu, učení a útěku před predátorem (Broder a Angeloni, 2014). Extrémní míru lateralizace nalezneme například u platýsů, kdy se v průběhu ontogeneze stane ze symetrické ryby zcela asymetrický organismus, který má obě oči na jedné straně těla a jeho životní strategie je ležet na dně moře a být maximálně kryptický (Bisazza et al., 1998).

Důležitým centrem laterality je koncový mozek. V základu je rozdělen na dvě hemisféry, každá řídí opačnou polovinu těla. U člověka je levá hemisféra spojována s řečí, seriálním analytickým zpracováním informací. V pravé se naopak nachází centrum emocí a informace jsou zde zpracovány spíše komplexním syntetickým způsobem (Bisazza et al., 1998). Většina lidské populace (cca 90 %) má dominantní pravou stranu těla, tedy levou hemisféru. Jedná se o druhově specifickou preferenci, která je utvářena ještě v prenatálním období a je geneticky podmíněná (Warren, 1980).

Rozeznáváme lateralizaci na úrovni jedince a na úrovni celé populace. Pokud je celá populace lateralizována, může to mít pozitivní vliv na sociální interakce a

strukturu uvnitř skupiny (podobně jako MA). Například u lidí se většina nástrojů (nářadí, psací potřeby, hudební nástroje...) vyrábí pro praváky a je to tak ekonomicky výhodné (Rogers, 1989). Lateralita může být i výsledkem tlaku vnějšího prostředí. Například byla nalezena populace křivky obecné (*Loxia curvirostra*), která měla zobák orientovaný na druhou stranu v důsledku toho, že šišky stromu (které křivkám slouží jako potrava), měli obrácenou točivost (Rajchard in verb, 2019).

Lateralita byla dlouhou dobu považována za znak typický pouze pro lidi, pravorukost byla spojována se specializací mozku na řeč (tj. specializací levé hemisféry). Studie za posledních třicet let však ukazují, že lateralita je rozšířena napříč obratlovci taxony. Nikoho nepřekvapí, že jedním z prvních zkoumaných živočichů na lateralitu byli primáti, jakožto blízcí příbuzní člověka. U nich se však lateralita na úrovni populace neprokázala. Navíc se zdá, že u primátů není ze začátku lateralita jasně daná, ale je spíše výsledkem učení a nabytých zkušeností. Často je také specifická pro konkrétní typ akce, kterou zvíře vykonává (Warren, 1980). Přednostní užívání pravé končetiny však bylo zaznamenáno u ptáků, především těch, kteří manipulují s potravou pomocí nohou (Rogers, 1989). Další známky laterality se našly i u hlodavců a nižších obratlovců. Tento objev naznačuje, že lateralizace by mohla být ancestrálním znakem, který vznikl již u prvních obratlovců a jako výhodný znak se tak přenášel dál. Ještě donedávna totiž převažoval názor, že jde o znak, který se vyvinul u savců a ptáků nezávisle na sobě (Bonati et al., 2008).

### **3.1 Lateralita u obojživelníků a plazů**

Lateralizace končetin byla v minulosti spojována především se živočichy, kteří používají končetiny k manipulaci s předměty. Poté, co byla popsána lateralita u kura domácího (*Gallus gallus*), který přednostně hrabe pravou nohou (těžko bychom toto chování mohli nazvat složitou manipulací), přesunul se výzkum i na další skupiny obratlovců (Rogers, 1997).

Bisazza (1996) se s kolegy zaměřil na výzkum laterality u dvou druhů ropuch (ropucha obecná, *Buffo buffo*; ropucha obrovská, *Buffo marinus*). Do jisté míry se jim podařilo lateralizaci prokázat, záleželo však na typu akce a na druhu žáby. Při pokusech, kdy žába měla sundat nepříjemný předmět z hlavy, převládala u ropuchy obecné pravá přední končetina. Ropucha obrovská lateralitu nevykazovala. V druhém



pokusu, který se týkal otáčení ve vodě, převládala u ropuchy obrovské naopak levá končetina.

Lateralita se u obojživelníků uplatňuje i při antipredačním, či epigamním chování. Při pokusu, kdy došlo ke střetu rosničky (*Hyla regilla*) s predátorem, převažovali únikové skoky vlevo. Navíc se ukázalo, že délka kostí na pravé končetině byla u všech zkoumaných jedinců větší než na levé, což favorizuje skoky doleva. Přímá korelace mezi délkou nohy a skokem vlevo se však neprokázala (Dill, 1977). U čolka obecného (*Triturus vulgaris*) byla prokázána lateralita při epigamním chování, samci se při předávání spermatoforu otáčeli doleva. Podle autora se jedná spíše o lateralizaci ocasu (samci čolků příliš končetiny k manipulaci nevyužívají). Z evolučního hlediska by se však mohlo jednat o jakýsi předstupeň lateralizace končetin (Green, 1997).

Plazi také vykazují známky lateralizace. Z morfologického hlediska jsou zajímaví hadi, kterým podle preference točení těla atrofuje jedna plíce. Při odpočinku hadi zaujímají pozici tzv. Archimedovy spirály, která může být pravotočivá nebo levotočivá (též někdy označována jako směr po a proti směru hodinových ručiček). Při lovu je hlava hadů stočena do smyčky, připravena vystřelit a polapit oběť. Tato strana je také specifická pro každého jedince (Davis, 1978). Určitou lateralizaci na úrovni jedince i populace zjistil Roth (2003) u ploskolebce (*Agkistrodon piscivorus leucostoma*). V klidovém stavu hadi vykazovali preferenci stočení po směru hodinových ručiček.

Lateralita je často zkoumána v kontextu vidění a přijímání signálu z okolí konkrétním okem. Ještěři jsou zajímavou skupinou pro zkoumání laterality, jelikož jejich oči jsou postaveny laterálně po stranách hlavy. Binokulární pohled je tak minimální a zvíře musí natáčet hlavu/tělo při přijímání vizuální informace. Je pak relativně snadné určit, kterým okem se jedinec při pokusu dívá. Další zajímavostí je fakt, že ještěři mají velmi málo spojení mezi oběma hemisférami mozku, a tak lze dobře stanovit, které stimuly přicházejí do očí z pravé a které z levé strany (Bonati et al., 2008).

Výzkum na ještěrech rodu anolis (*Anolis*) ukázal na lateralitu při agresivním chování, doprovázenou barvoměnou. Většina útočných jednání vůči druhému jedinci byla prováděna z levé strany a protivník byl fixován hlavně levým okem. Mozek

anolisů postrádá téměř všechna spojení mezi hemisférami, jedná se tak o takřka kompletně oddělený mozek. Díky tomu se dá snáze určit, které stimuly jsou vyhodnocovány konkrétní hemisférou. Navíc postavení očí vylučuje binokulární vidění, takže je jedinec nucen otáčet hlavou, pokud chce zachytit objekt oběma očima (Deckel, 1995). Vědci se domnívají, že agresivní chování u hlodavců, ptáků a lidí je řízeno pravou hemisférou a výsledek anolisů to potvrzuje i u plazů. Oproti tomu stimuly spojené s predací se zdají být řízeny levou hemisférou (pravým okem). U plazů to demonstruje studie zaměřená na chameleona obecného (*Chamaeleo chamaeleon*), kdy je při lovu využíváno přednostně pravé oko (Lustig et al., 2013), a na ještěrku zední (*Podarcis muralis*) (Bonati et al., 2008, Csermely et al., 2010).

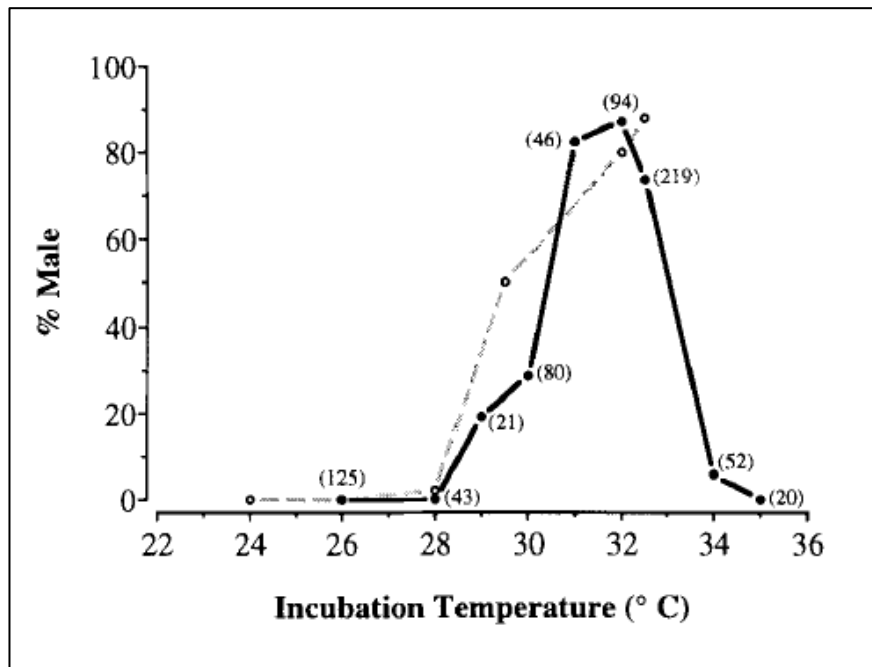
#### **4 Biologie gekončíka nočního (*Eublepharis macularius*)**

Gekončík noční (*Eublepharis macularius*, Blyth 1854) je řazen do čeledi Eublepharidae, a společně s ostatními gekony tvoří skupinu Gekkota. Oproti gekonům má však gekončík pohyblivá oční víčka a prsty jsou zakončeny drápkou (na spodní straně nemají adhezivní lamely). Jedinečným morfologickým znakem, který tuto čeleď vymezuje z celého řádu šupinatých (Squamata) a předpokládá tak její monofyletický charakter, je spojení obou prefrontálních kostí na lebce a velký počet sklerálních kůstek v oku (Seufer, 2005).

Jedná se o středně velkého ještěra s pohlavním dimorfismem a teplotně určeným pohlavím. Inkubační teplota se pohybuje od 26 do 35 °C, přičemž samice se líhnou buď při nízké, nebo naopak vysoké teplotě. Největší procento samců se líhne při teplotě 31–33 °C (Obr. 2) (Viets et al., 1993). Gekončík noční je teritoriální zvíře, samci vykazují vysokou míru agresivity vůči ostatním samcům (Kratochvíl a Frynta, 2002).

Pro gekončíky je typická změna zbarvení při ontogenezi, která má jistou spojitost s antipredačním chováním. Juvenilní jedinci mají výrazné aposematické černé pruhování, které s postupem času mizí a rozpadá se do nepravidelné skvrnitě kresby. S tím souvisí i antipredační strategie – mladí jedinci se snaží nepřítele zahnat (nápadné zbarvení, postoj, vokalizace), adultní jedinci naopak volí útěk (napomáhá tomu i nenápadné zbarvení) (Landová et al., 2013). Navíc byly u gekončíků objeveny

znaky (bílá místa na kůži), především na ocase a na hlavě, které svítí pod UV světlem. Význam těchto znaků není přesně znám, ale u juvenilních jedinců by mohl sloužit k podpoření aposematického zbarvení. Koneckonců právě u mladých jedinců se vyskytuje UV zbarvení nejvíce (Abramjan et al., 2020).



Obr. 2 - Graf závislosti líhnutí samců na teplotě, převzato z Temperature-dependent sex determination in the leopard gecko, *Eublepharis macularius* (Viets et al., 1993).

Gekončík noční obývá polosuché biotopy na území východního Íránu, Afghánistánu, Pákistánu a severozápadní Indie. Preferuje kamenitý substrát s řídkou vegetací. Aktivní je především za soumraku a v noci, přes den se kvůli vysoké míře evaporace schovává ve stínu pod kameny (Bruins, 2001). Má velmi dobře vyvinutý zrak, dokáže rozpoznat i nehybnou kořist. Jako u většiny nočních živočichů je zornice svíslá a stahuje se podle množství dopadajícího světla. Stejně dobře je u něj vyvinutý i čich, k tomuto účelu souží jako u všech plazů vomeronasální (Jakobsonův) orgán. Projevem získávání pachů z okolí je pak tzv. licking (lízání či zachytávání pachových molekul z okolí) (Seufer, 2005). Na ještěra má i překvapivě dobrý sluch, srovnatelný s většinou savců. Sluchové optimum se pohybuje v rozmezí 400–1000 Hz (Werner a Wever, 1972). Pro gekončíka je typická vysoká míra regenerace a schopnost autotomie ocasu. Ta je ovšem spojena s obrovskou ztrátou energie a zásobních látek, které jsou právě v ocasu jako zásoba uloženy. Ocas je původně článkovaný, případný regenerát nikoliv (Starostová et al., 2017).

Díky snadné manipulaci a nenáročnému chovu je gekončík noční vhodným pokusným zvířetem. Přispívá k tomu také teplotně určené pohlaví, a tedy i možnost regulace početnosti pohlaví, přiměřená velikost těla (cca 25 cm, 60 g), sezónní rozmnožování (které lze do jisté míry posunout oproti podmínkám v přírodě) a snůška, která obsahuje téměř vždy 2 vejce. Také dlouhověkost (kolem 25 let) a schopnost samic uchovat si plodnost do vysokého věku (až 14 let) mluví ve prospěch gekončíků jakožto pokusných organismů (Seufer, 2005).

## **5 Cíle práce**

- Stanovit pravolevou stranovou preferenci při volné exploraci v T-labyrintu.
- Tuto preferenci stanovit v T-labyrintu polohovaném do všech čtyř směrů světových stran stanovených podle kompasu.
- Z rozdílů stranových preferencí na jednotlivých směrech stanovit potenciální vliv orientace magnetického pole.
- Porovnat chování jednotlivých gekončíků v rámci celého pokusu.

## **6 Materiál a metodika**

### **6.1 Pokusná zvířata a chovné podmínky**

Pokusní gekončíci byli zapůjčeni z chovů profesora Frynty, který působí na Karlově univerzitě v Praze. Jedná se o první a druhou generaci potomků zvířat odchycených z přírody, tudíž je míra inbreedingu velmi nízká a neměla by mít vliv na výsledky pokusu. Stáří gekončíků se pohybuje v rozmezí 4 až 13 let. Celkem se pokusu zúčastnilo 20 gekončíků, z toho 19 samic a jeden samec. Zvířata byla chována ve stejných podmínkách. Každé zvíře bylo umístěno v dobře odvětraném plastovém boxu o velikosti 15 x 15 x 10 cm. Jako substrát byla použita směs lignocelu (kokosové vlákno) a písku, úkryt zabezpečovala rulička od toaletního papíru. Dále byly v boxu umístěny misky na vodu a potravu (Obr. 3).



Obr. 3 – Chovné zařízení pokusných gekončků. Foto K. Votrubová

Gekončičky jsem pravidelně krmila jednou týdně cvrčky a larvami potěmníků (*Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*). Do vody jsem přidávala Aquavit (vitamín A, D<sub>3</sub> a E) a na potravu sypala vitamínovou směs Roboran H (obsahuje vit. A, D<sub>3</sub>, E, měď, vápník a fosfor).

Místnost, ve které byli gekončičci umístěni, měla trvale zatemněná okna. Denní režim byl nastaven na 12 hod světelné fáze a 12 hod tmy. Teplota zde byla udržována v rozmezí 24–27 °C. Zdrojem tepla zde byly topné kabely, ústřední topení a elektrický přímotop.

## 6.2 Použitá aparatura

Gekončičci byli testováni v T-labyrintu. Pro naše účely bylo vybráno čtyřramenné bludiště, u kterého bylo možné zavřít jednotlivá ramena a tím docílit požadovaných směrů (Obr. 4). Ramena bludiště byla orientována tak, aby odpovídala světovým stranám. Nad bludištěm byla umístěna kamera, která celý experiment natáčela. Byla připevněna na kovovém rameni v dostatečné vzdálenosti tak, aby zabírala celé bludiště.



Obr. 4 – Bludiště orientované ve směru os světových stran. Foto K. Votrubová

V souladu se soumráchnou až noční aktivitou gekončků byl celý experiment prováděn ve tmě. Z důvodu minimalizace vnějších orientačních bodů (strop, stěny, vysoké předměty atd.) byl od kamery zavěšen černý samet, který zakrýval celé bludiště. Potřebné světlo pro kameru zajišťovala infračervená světla.

Teplota při testech byla udržována na  $26 \pm 0,6$  °C a byla vždy zaznamenána na konci jednotlivých testů. Všichni gekončci byli pravidelně po každém testu váženi na digitální váze, aby byly zjištěny případné odchylky v kondici, které by mohly poznamenat hladký průběh experimentu.

### 6.3 Průběh experimentu

Celý experiment probíhal v období od 10. 9. 2019 do 28. 5. 2020. Naplánováno bylo celkem 20 měření pro každého gekona, tedy 400 měření celkem. Tato měření byla rozdělena do 20 sezení, kdy jsem natočila všech 20 gekonů v jeden den. Některá měření jsem ale musela opakovat kvůli odchylce v teplotě zjištěné na konci testu.

Testování zvířat probíhalo jednou až dvakrát týdně, kdy mezi jednotlivými sezeními byla vždy alespoň dva dny pauza.

V průběhu experimentu byl gekončík umístěn do jednoho ramene a protilehlé rameno bylo uzavřeno. Gekončík si mohl zvolit buď jít do pravého či levého ramene (z jeho pohledu) anebo setrvat na místě. Na každé měření bylo vyhrazeno maximálně 10 minut, po této době bylo měření ukončeno.

#### **6.4 Rozvržení světových stran a pořadí gekončíků**

Každý gekončík byl pouštěn ze všech čtyř světových stran (5 x pro každou stranu). Na začátku jsem gekončíky náhodně rozdělila do dvou skupin – začínajících buď v západním, nebo východním rameni. Dále jsem náhodně určila pořadí, ve kterém v daném sezení půjdou. Náhodné rozdělení jsem zde zajistila tím, že jsem napsala číslo každého gekona na papírek a poté jsem poslepu losovala. Každé další sezení jsem pak vyměnila výchozí stranu na opačnou (západ ↔ východ). Pořadí jsem stále určovala náhodně. Po provedení 10 sezení jsem znovu gekončíky rozdělila do dvou náhodných skupin, tentokrát se začátkem na severu a na jihu. Dále jsem postupovala stejně jako v předešlých 10 měřeních.

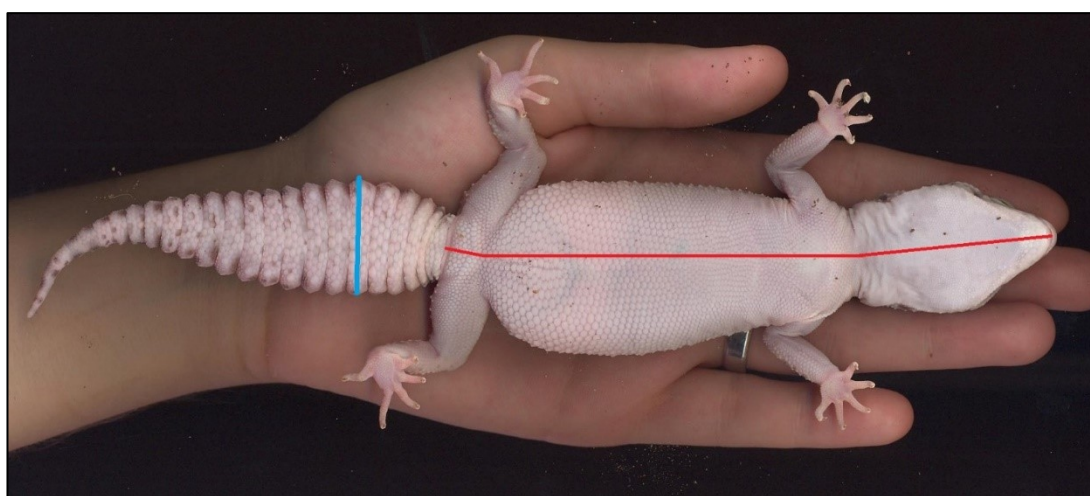
#### **6.5 Záznam měření**

Měření probíhalo ve dvou místnostech – v jedné probíhalo samotné měření, ve druhé byl umístěn počítač s programem, pomocí kterého byl pořizován videozáznam. Před začátkem pokusu jsem zkontrolovala teplotu uvnitř místnosti, zapnula kameru a infračervená světla. Bludiště jsem vydesinfikovala. Zapnula jsem program a umístila gekončíka do příslušného ramene bludiště. Během experimentu mohl gekončík volně explarovat T-labyrint. Pokus byl ukončen ve chvíli, kdy si gekončík zvolil pravé, nebo levé rameno, popřípadě po uplynutí 10 minut. Poté jsem gekončíka vyndala z bludiště, zvážila a dala zpět do chovného boxu. Zaznamenala jsem teplotu v místnosti, vydesinfikovala bludiště a šla připravit program pro dalšího gekončíka. Toto se opakovalo pro všech 20 gekončíků. Jelikož byli pokusní gekončíci zvyklí na manipulaci při krmení a vážení, přendávání z boxu do bludiště pro ně nebylo nijak

zvláště stresující a vše probíhalo přesně a rychle. Veškerá manipulace probíhala v latexových rukavicích, předešla jsem tak nadměrné kontaminaci lidskými pachy.

## 6.6 Další měření

V průběhu experimentu jsem také měřila délku těla a tloušťku ocasu gekončičků jako jeden z možných parametrů fyzické kondice. Gekončičky jsem oskenovala na stolním skeneru. Následně jsem dané parametry měřila pomocí programu ImageJ (Obr. 5).



Obr. 5 – Ukázka měření gekončička, červená čára představuje jeho délku, modrá tloušťku ocasu v nejširším místě. Foto K. Votrubová

## 6.7 Vyhodnocení pokusu a získání primárních dat

Pro natočení videozáznamů jsem použila program EthoVision XT, version 8.0 (Noldus), který umožňuje vyhodnocovat chování zvířat v různých typech arén. Jelikož je ale primárně určený pro hlodavce a za běžného osvětlení, automatické snímání trajektorie nebylo zcela přesné. Jednotlivá videa jsem proto vyhodnocovala manuálně v programu Solomon coder.

Každý pokus přinesl primárně dva výsledky – jakou stranu si gekončiček zvolil a jestli se jednalo o pravou, nebo levou stranu. Dále jsem zaznamenávala i etologii gekončičků. Veškeré sledované parametry byly: pořadí sezení (s datem, kdy bylo sezení prováděno), hmotnost gekončička po pokusu, teplota v místnosti po pokusu, startovní rameno, cílové rameno, lateralita (pravá/levá) a čas pokusu (tj. čas potřebný



k rozhodnutí, pokud se gekončík nerozhodl, byl čas stanoven na 10 min). V rámci etologie byla zkoumána aktivita, pasivita, freezing (stav, kdy gekončík zůstal nehnutě stát na místě), wall walking (gekončík se snažil lézt na stěnu bludiště), back (gekončík se vrátil do startovního ramene) a licking (gekončík, vystrkoval jazyk a snažil se tak zachytit pachy z okolí). V rámci těchto parametrů byl zaznamenán jejich celkový čas, latence (kdy poprvé došlo ke konkrétnímu chování) a frekvence (kolikrát se toto chování vyskytlo v průběhu pokusu). Pro dodržení podmínky normálního rozdělení dat byla v některých případech provedena jejich transformace.

Pro každého gekončíka byl spočítán index laterality podle vzorce:

$$LI = \frac{SR - SL}{SR + SL} \times 100$$

kde LI je index laterality, SR počet případů, kdy gekončík zvolil pravé rameno, SL počet případů, kdy gekončík zvolil levé rameno. LI se pohybuje v rozmezí  $-100$  a  $+100$ , kde záporné hodnoty ukazují na preferenci levé strany a kladné na preferenci pravé strany (Springer et al., 1999).

Signifikance jednotlivých preferencí byla určena pomocí z-skórů, užitím následujícího vzorce:

$$z - score = \frac{SR - \frac{SR + SL}{2}}{\sqrt{\frac{SR - SL}{4}}}$$

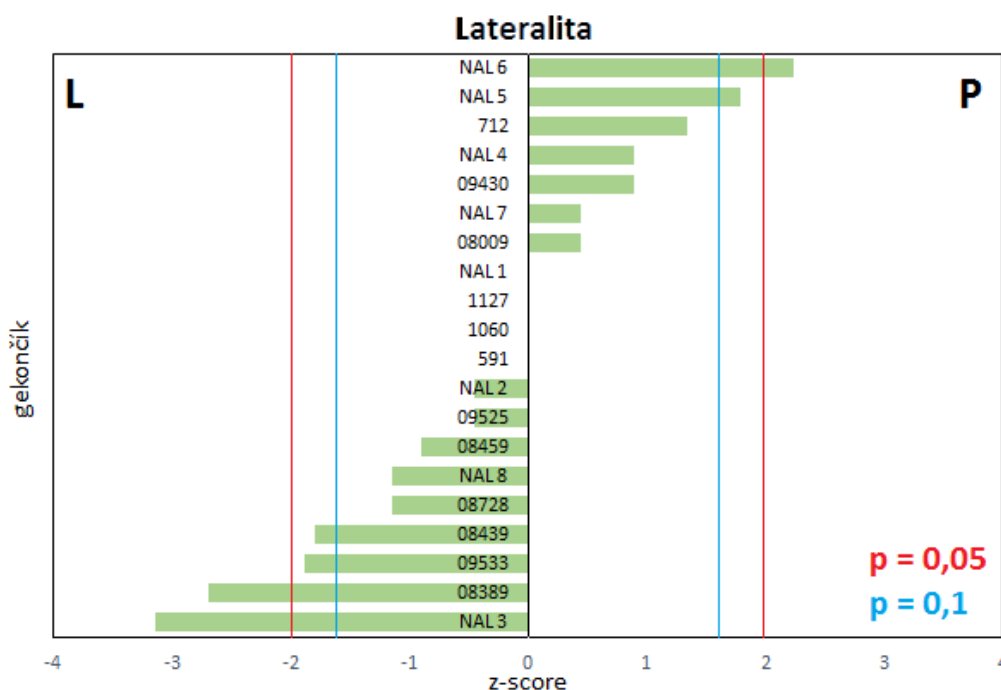
Za signifikantní se považují hodnoty, kdy z-score  $> \pm 1,96$  ( $p < 0,05$ ) (McGreevy et al., 2007).

Ostatní statistické vyhodnocení bylo provedeno v programech „R“ 3.5.3. a STATISTICA 12. V programu R byl proveden binomický test, který hodnotil preferenci strany v rámci celé populace. Dále byl v tomto prostředí vytvořen lineární model s korelacemi, konkrétně dvou-faktorový analog ANOVA s (quasi-)binomickým rozdělením (viz Pekár a Brabec, 2012). Ten byl použit k řešení závislosti na počátečním rameni a jeho součástí byl i odhad korelace mezi po sobě jdoucími rozhodnutími. Program STATISTICA 12 byl pak použit pro výpočet GLM, Spearmanova koeficientu a k vytvoření příslušných grafů.

## 7 Výsledky

### 7.1 Stanovení pravolevé stranové preference při volné exploraci v T-labyrintu

Individuální preference byla prokázána u tří gekončků, ve dvou případech se jednalo o preferenci levé strany (z-score = -2,68; -3,13, LI = -70; -60) a v jednom případě šlo o preferenci pravé strany (z-score = 2,24, LI = 50). Pokud rozšíříme akceptovatelné hodnoty z-score na  $> \pm 1,65$  ( $p = 0,1$ ) přibudou další 3 signifikantní případy (dvě preference levé strany a jedna pravé). Jednotlivé hodnoty z-score ukazuje graf č. 1. Při pohledu na graf můžeme vyvodit, že mezi gekončiky můžeme rozlišit jedince, kteří jsou praváci, leváci nebo ambivalentní (nevyhranění).



Graf 1 – Na ose x je hodnota z-score, na ose y jednotliví gekončici. Červené zvýraznění označuje hodnoty z-score  $\pm 1,96$  ( $p = 0,05$ ), modré označuje hodnoty z-score  $\pm 1,65$  ( $p = 0,1$ ).

Preferenze v rámci celé populace byla testována pomocí exaktního binomického testu v programu R. Výsledek nebyl signifikantní ( $p = 0,245$ ).

Podíváme-li se na lateralitu v kontextu kontinuálního rozhodnutí pro konkrétní stranu, signifikantní výsledek vychází již při šesti po sobě jdoucích stejných rozhodnutí. V tomto ohledu přibudou další dva gekončici, kteří preferují pravou stranu. Z naměřených parametrů kondice gekončků není patrné, že by měla vliv na

výsledky pokusu. Naměřené hodnoty a kontinuálnost rozhodnutí zobrazuje následující tabulka (Tab. 2).

gekon	délka	ocas	hmotnost	LI	z-score	kontinuální rozhodnutí	lateral.
591	12	2.2	45.6	0	0	3P	A
712	12.1	2.73	68.9	30	1.342	6P	P
1060	10.76	2.1	43.3	0	0	3A	A
1127	10.8	2.1	42.7	0	0	4P	A
08009	11,5	1.9	44.5	10	0.447	7P	P
08389	11.9	2.18	46	-60	-2.683	6L	L
08439	11.15	2.15	50	-40	-1.789	8L	L
08459	11.7	2.5	64	-20	-0.894	4L	A
08728	11.7	2.2	56.5	-26	-1.147	5L	A
09430	12.1	2.15	51.9	20	0.894	4P	A
09525	12.3	1.96	51.2	-10	-0.447	3L	A
09533	12.2	1.95	56.1	-44	-1.886	7L	L
NAL 1	10.9	2.1	54.2	0	0	5P	A
NAL 2	12.27	2.56	70.6	-10	-0.447	4L	A
NAL 3	11.2	2.3	49.7	-70	-3.131	13L	L
NAL 4	11.3	2.1	46.5	20	0.894	2A	A
NAL 5	13.1	2.58	69.9	40	1.789	8P	P
NAL 6	12.2	2.3	68.1	50	2.236	8P	P
NAL 7	12.04	2.75	64.2	10	0.447	4L	A
NAL 8	11.46	2.04	53.5	-26	-1.147	5L	A

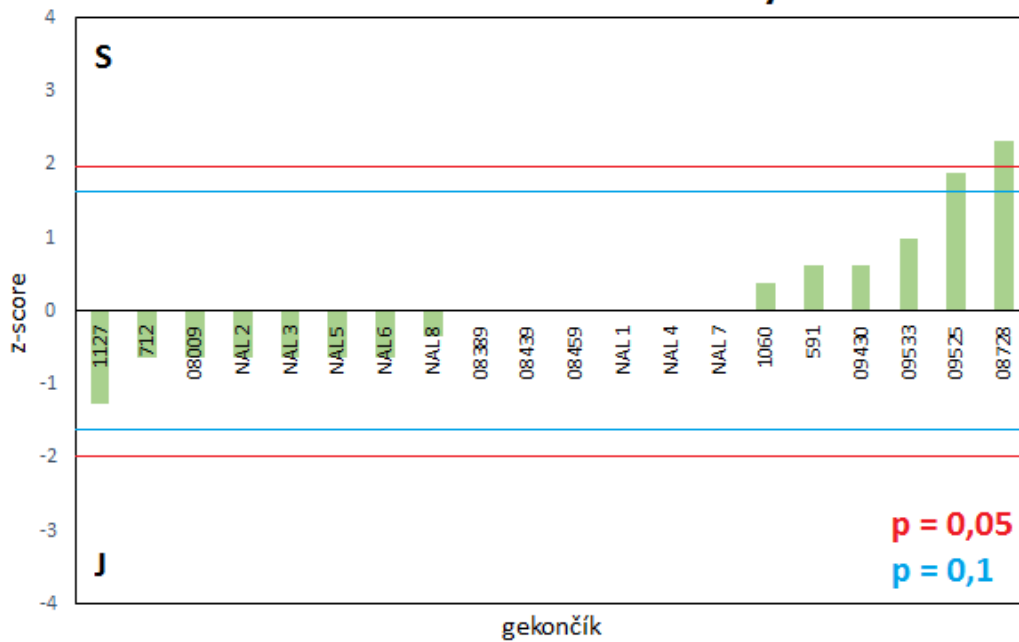
Tab. 2 – Souhrnná tabulka parametrů pro jednotlivé gekončíky. Délka představuje délku těla v cm, ocas jeho tloušťku v nejširším místě v cm, hmotnost je průměrná hmotnost v rámci celého pokusu v gramech, LI je index laterality. Kontinuální rozhodnutí udává maximální kontinuální počet rozhodnutí pro jeden směr. Zkratky P, L, A jsou pravá, levá a ambivalentní.

Shrneme-li všechny výsledky týkající se laterality, v našem souboru gekončků se nachází 4 praváci, 4 leváci a 12 ambivalentních jedinců.

## 7.2 Preference světových stran

Stejným způsobem jako byla testována laterality, byl proveden test preference jednotlivých světových stran. Z podstaty pokusu mohli gekončci volit mezi severem a jihem, nebo západem a východem. V rámci S-J osy se significance prokázala u jednoho gekončika, kdy preferoval severní stranu (z-score = 2,33) (Graf 2.).

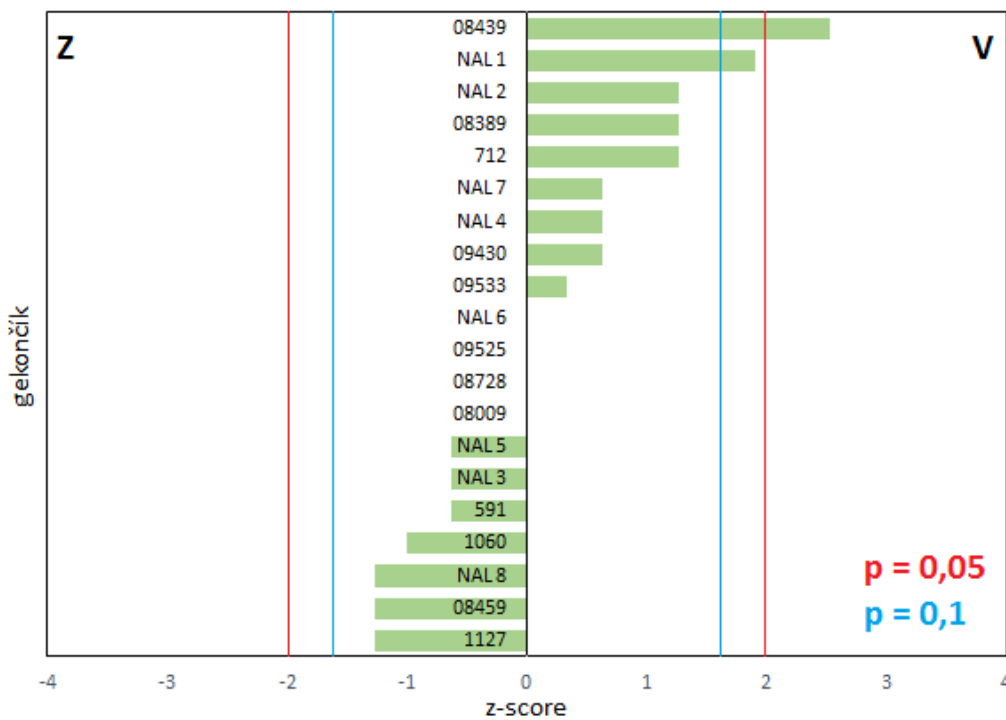
### Preference v rámci S-J osy



Graf 2 - Na ose y je hodnota z-score, na ose x jednotliví gekončici. Červené zvýraznění označuje hodnoty z-score  $\pm 1,96$  ( $p = 0,05$ ), modré označuje hodnoty z-score  $\pm 1,65$  ( $p = 0,1$ ).

Z-V osa byla signifikantní také pouze v jediném případě, ve kterém byla preferována východní strana (z-score = 2,53) (Graf 3).

### Preference v rámci Z-V osy



Graf 3 - Na ose x je hodnota z-score, na ose y jednotliví gekončici. Červené zvýraznění označuje hodnoty z-score  $\pm 1,96$  ( $p = 0,05$ ), modré označuje hodnoty z-score  $\pm 1,65$  ( $p = 0,1$ ).

Při vyhodnocení zde mohl hrát roli problém malého počtu pozorování, počet pozorování ( $n = 10$ ) zde byl pro každou stranu poloviční v porovnání s lateralitou ( $n = 20$ ). Preference v rámci celé populace nebyla signifikantní pro žádnou světovou stranu (binom.test, S-J  $p = 0,829$ ; Z-V  $p = 0,434$ ).

Z výše uvedených preferenčních testů byla až na jednu výjimku zaznamenána preference pouze jednoho směru či světové strany.

### 7.3 Preference v závislosti na světových stranách

Vliv výchozího umístění na stranovou preferenci byl testován pomocí z-score a binomického testu. V tomto případě bylo měření rozděleno podle os (S-J, Z-V), v rámci kterých si gekončící volili pravou, nebo levou stranu. Při výběru na S-J ose vyšel na individuální úrovni signifikantně jeden gekončík (z-score = -2,33). Na Z-V byl výsledek stejný – jeden gekončík vykazoval signifikantní preferenci levé strany (z-score = -2,53)

Na úrovni celé populace vyšel pro S-J osu signifikantní výsledek (binom.test,  $p = 0,037$ ), gekončící zde preferovali levou stranu. Pro Z-V osu výsledek signifikantní nebyl ( $p = 0,7224$ ).

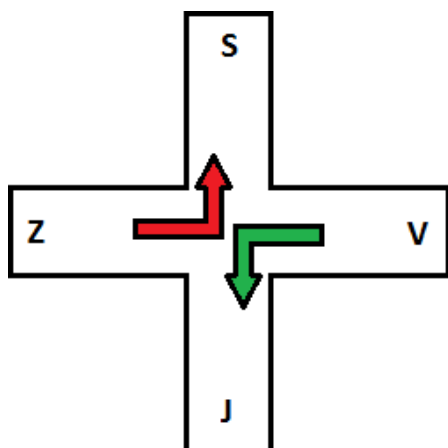
Závislost na počátečním rameni byla také testována lineárním modelem s korelacemi, dvou-faktorovým analogem ANOVA s (quasi-)binomickým rozdělením. Tento model byl použit, jelikož zde docházelo k opakovanému měření a v důsledku toho mohlo docházet k poklesu závislosti v průběhu času. Jedná se o obecný problém všech testů na zvířatech, kdy můžeme pozorovat habituaci, navykání na experimentální podmínky.

Vytvořený model počítal jako závislou proměnnou lateralitu a nezávislými vysvětlujícími proměnnými byly startovní pozice, pohlaví a počet sezení (Tab. 3).

startovní pozice	Estimate	Std.err	Wald	Pr (>  W )
jih	0.3967	0.3413	1.35	0.245
sever	-0.2433	0.3065	0.63	0.427
východ	-0.6039	0.3127	3.73	0.053
západ	-0.5549	0.3191	3.02	0.082
pohlaví	0.0856	0.1628	0.28	0.599
počet sezení	-0.0174	0.0200	0.76	0.384

Tab. 3 – Výsledek analýzy, červeně jsou znázorněny hodnoty blížíící se signifikanci.

Výsledek analýzy ukazuje, že počet opakování nemá vliv na volbu strany. Tento model dále potvrzuje vliv počátečního ramene, i když na samé hranici průkaznosti. Vložení zvířat na západovýchodní osu tak vedlo k preferenci levé strany ( $p = 0,053$  (V),  $p = 0,082$  (Z)). Gekončící měli tendenci stáčet se v kontextu světových stran z východu na jih a ze západu na sever (Obr. 6).



Obr. 6 – Schéma volby strany v závislosti na počátečním rameni

Vedle toho byl ještě v rámci výše popsaného modelu proveden odhad korelace mezi dvěma sousedními pozorováními (Tab. 4).

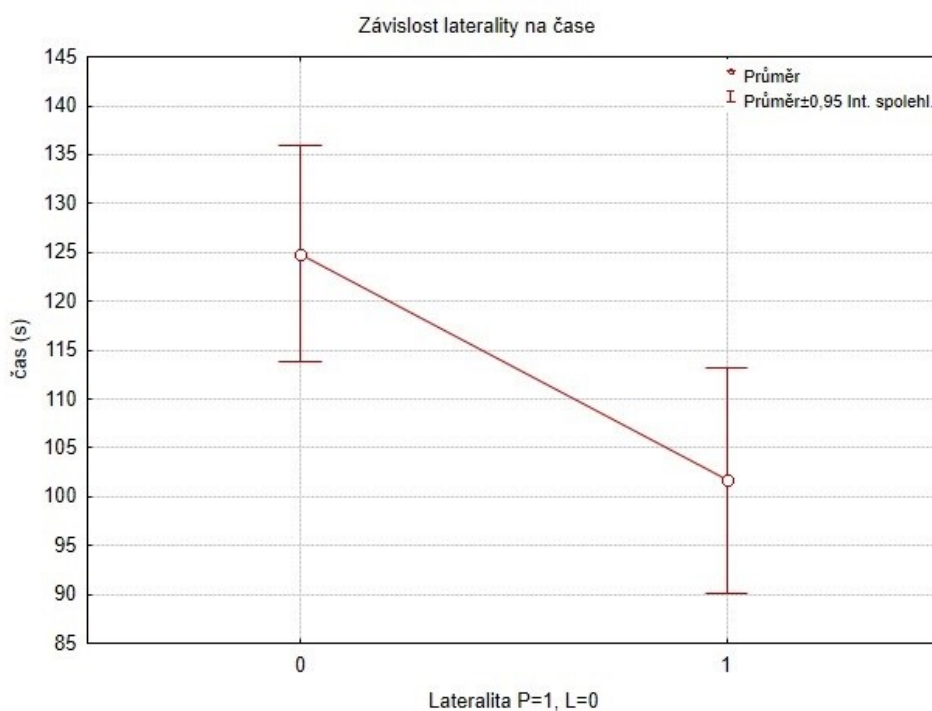
<b>Estimated Correlation Parameters</b>		
	Std.err	Estimate
alpha	-0.00358	0.0426

Tab. 4 – Odhad korelace

Z tohoto odhadu vyplývá, že korelace mezi dvěma sousedními měřeními je velmi slabá, což znamená, že volba jedné strany nebyla obecně následována volbou stejné strany. Tedy záznamy 1-1 nebo 0-0 (volba jedné strany byla následována opětovnou volbou téže strany) byly zhruba stejně četné jako volba 1-0 nebo 0-1 (volba jedné strany byla následována volbou opačné strany). O to více pak mohou do popředí vystupovat odchylky u jednotlivých zvířat (viz výše popsaná tabulka kontinuálních rozhodnutí).

## 7.4 Porovnání etologie gekončků

V rámci testování byl zkoumán vliv různých faktorů na čas potřebný k rozhodnutí (čas pokusu) pomocí GLM (zobecněný lineární model). GLM (Analysis of Covariance;  $F_{40,336}$ ;  $p < 0,0001$ ) model vysvětlující 26,3% variability a testující vliv různých faktorů na čas “rozhodnutí” obsahoval randomizovaný faktor „jedinec“ a fixní faktory „pořadí pokusu“, „výchozí pozice“ (tj. zvíře šlo z S, J, V nebo Z) a “lateralita” (tj. zvíře se rozhodlo jít doprava nebo doleva). Jako průkazný faktor vyšel „jedinec“, přestože byl tento faktor randomizovaný ( $F_{19,336} = 4,08$ ;  $p < 0,0001$ ) a fixní faktor “lateralita” ( $F_{1,336} = 7,37$ ;  $p = 0,007$ ). Čas pokusu tedy zjevně závisel na volbě strany, v případě volby pravé strany byl čas potřebný k rozhodnutí kratší (Graf 4).

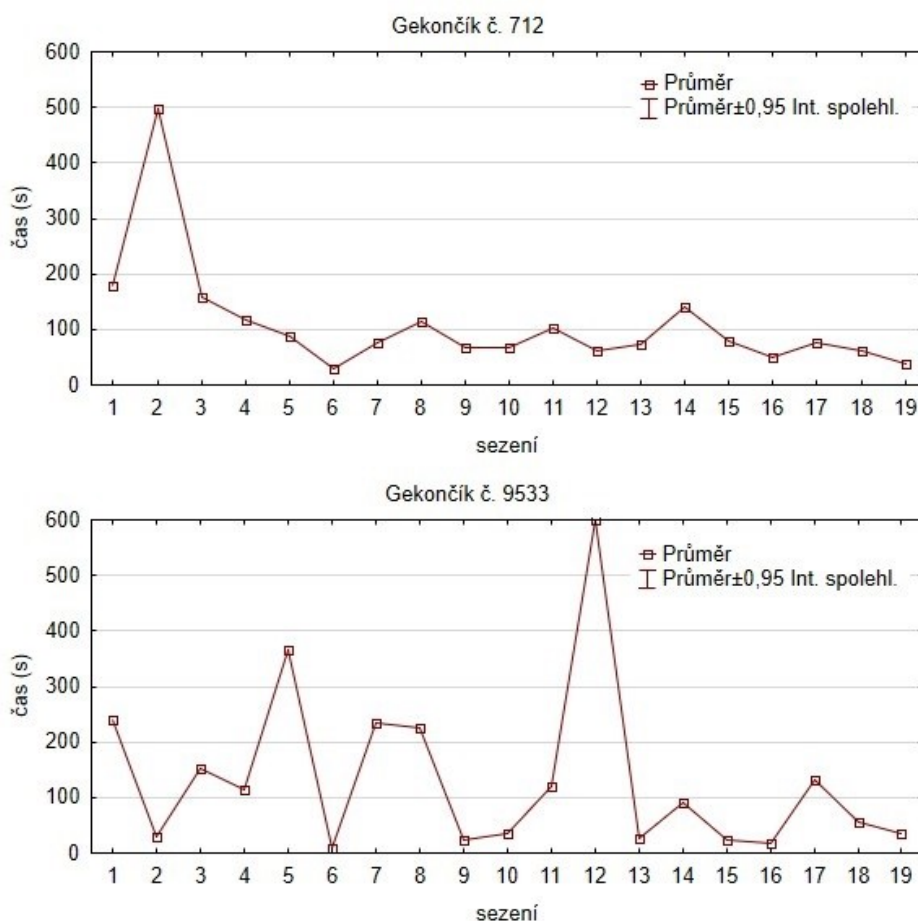


Graf 4 – Graf závislosti laterality na čase potřebného k rozhodnutí.

Jak „pořadí pokusu“ ( $F_{8,336} = 1,21$ ;  $p = 0,2922$ ), tak i „výchozí pozice“ ( $F_{2,336} = 0,82$ ;  $p = 0,4431$ ) nemají podle této analýzy vliv na čas rozhodnutí. Čas rozhodnutí silně koreloval s časem aktivity během pokusu, výsledky se shodovaly s touto analýzou.

### 7.4.1 Učení v průběhu pokusu

Výsledek GML analýzy vlivu pořadí jednotlivých sezení na čase v rámci populace sice nevyšel signifikantně, přesto byl zjištěn určitý trend v učení u jednotlivců. Závislost pořadí sezení na celkovém čase byla testována Spearmanovou korelací pro každého jedince zvlášť (Příloha 1). Téměř u poloviny (9 z 20) gekončků čas negativně koreloval s rostoucím počtem sezení ( $p < 0,05$ ). To znamená, že u gekončků docházelo v průběhu experimentu k učení a čas rozhodnutí pro příslušné rameno se zkracoval. U žádného gekončika nebylo prokazatelně pozorováno prodloužení času, který potřeboval k rozhodnutí. Motivace zvířat zůstala v průběhu opakování experimentů pro jednotlivé gekončiky stabilní. U gekončků, kde bylo zaznamenáno učení, grafy vykazovaly plynulé zkracování času. Naopak grafy gekončků, kteří nevykazovali signifikantní stupeň učení, byly plné značných výkyvů v čase mezi jednotlivými sezeními (Graf 5).



Graf 5 – Záznam průběhu pokusu v čase. Nahoře je gekončík, u kterého prokazatelně docházelo k učení. Dole se nachází gekončík, u kterého vliv učení nebyl průkazně detekován.



## **8 Diskuse**

### **8.1 Lateralita**

Výsledky této práce dokazují, že někteří gekončíci vykazují známky laterality při rozhodování o směru v T-labyrintu na individuální úrovni. Z výsledků však není patrná jasná preference jedné určité strany. V celé populaci nalezneme praváky, leváky i ambivalentní jedince – podobně jako u psů (Adámková et al., 2017). Tento výsledek zřejmě úzce souvisí s charakterem testování, lateralita se v kontextu volné explorace na plazech zřejmě ještě nikdy netestovala. U hlodavců byly provedeny podobné studie, které ukázaly na preferenci pravé strany, v testu však byly zahrnuti pouze samci (Schwartzing a Borta, 2005). V této práci se jednalo takřka jen o samice a je diskutabilní, do jaké míry lze srovnávat lateralitu plazů a savců. Testování při volné exploraci tak nelze jednoduše srovnávat z ostatními studiemi, kde byla zvířata testována na konkrétní stimul – odstranění nepříjemného předmětu (Bisazza et al., 1996), predace (Lustig et al., 2013), agrese vůči druhému jedinci (Deckel, 1995).

Lateralita při volné exploraci u gekončků se tak zdá být čistě individuální pro každého jedince a nemusí nutně souviset s možnou lateralitou při predaci nebo jiném konkrétním chování, jelikož při testování nebylo zvíře nijak viditelně motivováno k dosažení určitého cíle. Motivace v tomto případě mohla pramenit pouze ze samotné personality gekončika a výsledná lateralita tak odráží jistou preferenci v rámci jedince. V našem souboru se například vyskytovala ambivalentní zvířata (v kontextu laterality), u kterých byla pozorována jistá preference pro konkrétní světovou stranu. Podporou pro toto tvrzení může být výsledek jednotlivých preferencí (světové strany i lateralita), které byly signifikantní vždy pro jiného gekončika.

### **8.2 Vliv magnetického pole na lateralitu**

V rámci populace můžeme pozorovat rozdíly v lateralitě v závislosti na počátečním rameni. Pokud gekončíci startovali na východní, nebo západní straně, volili častěji levou stranu (z jejich pohledu). Tento výsledek společně s prokázanou preferencí pro konkrétní světovou stranu naznačuje, že gekončíci nejspíše rozeznávají světové strany a mohli by být do jisté míry schopni magnetorecepce. Schopnost vnímat magnetické pole se koneckonců zdá být přítomna i u jejich blízkých příbuzných

z čeledi Gekkonidae (Marek et al., 2010). V případě mého pokusu se jedná hlavně o vliv severo-jihní osy. Pokud gekončici volili stranu v rámci této osy, ukázala se u nich preference levé strany. Tento výsledek si vysvětlují tím, že světové osy fungují jako další parametr, který může ovlivnit rozhodování gekončika. Pokud tedy budeme brát severo-jihní osu, jako tu, podle které se zvířata nejčastěji alignmentují (Begall et al., 2013), omezí se tak gekončikovo rozhodování o tento parametr a může se tak více projevit jeho lateralita.

Převaha preference levé strany by mohla naznačovat, že rozhodování při volné exploraci je řízeno pravou hemisférou, stejně jako je tomu při agresivním chování (Deckel, 1995). Pro toto konstatování však zatím nejsou jasná data. Rozsah laterality pro behaviorální projevy je nejspíše do značné míry dán individuálně a umístit centrum řízení tohoto chování do konkrétní hemisféry není zatím vůbec opodstatněné.

### 8.3 Magnetorecepce

Jak již bylo zmíněno, gekončici jsou možná schopni vnímat magnetické pole. Je tedy otázkou, na jakém principu jejich magnetorecepce funguje. V rámci našeho pokusu můžeme vyloučit mechanismus párování volných radikálů, jelikož byl pokus prováděn ve tmě (pokud by ovšem k tomuto typu magnetorecepce nestačilo infračervené světlo, což zatím nebylo pozorováno, viz Stapput et al., 2008). Z logiky věci tak můžeme předpokládat přítomnost feromagnetických látek v buňkách, které slouží jako mechanoreceptory. Nemůžeme však vyloučit možnost, že zde může magnetorecepce fungovat na úplně jiném principu vzhledem k tomu, že je toto téma zatím poměrně neprobádané a schopnost magnetorecepce je zatím dokumentována víceméně behaviorálně (Mouritsen a Ritz, 2005; Wiltschko a Wiltschko, 2006; Lohmann et al., 2007). Studium magnetorecepce a alignmentu u některých druhů zvířat tak nemusí vždy končit pozitivním výsledkem. Studie ukazují, že magnetorecepce by mohla korelovat s některými faktory (jako je stranová preference), které jsou zatím přehlíženy. Čistě magnetická orientace je tak možná skutečně omezena jen na živočichy, kteří migrují na dlouhé vzdálenosti (ptáci, želvy) a na ty, pro které jsou jiné orientační body nedostupné – zvířata žijící pod zemí, popřípadě na mořském dně (Cain et al., 2005). Do dneška totiž nebyly nalezeny žádné speciální orgány, které by byli určené přímo k magnetorepceci. Také mechanismy samotné

magnetorecepce jsou prezentovány spíše jen jako modely, které zatím nebyly u žádných druhů jednoznačně prokázány (Beason, 2005; Pósfai a Dunin-Borkowski, 2009; Solov'yov a Greiner, 2009; Sedláček in verb, 2020).

## 8.4 Etologie

Schopnost gekončků učit se při opakovaných pokusech prokázala ve své práci Voňavková (2013). V jejím případě se však jednalo o pokus v Morrisově vodním bludišti, a tak není divu, že motivace ke zlepšení zde byla velká. Gekončici totiž nejsou primárně akvatická zvířata a jejich motivací byla kromě vody i občasné „strčení do zvířete“. O to zajímavější je náš výsledek, kdy docházelo k učení i při volné exploraci, kde byl vliv motivace nulový. V našem případě navíc zde nedocházelo ke zhoršování jedinců v čase. Vliv učení je však silně podmíněn kontinuitou testování. Pokud jsme do hodnocení přidali i sezení, která byla dodatečně provedena dva až pět měsíců od posledního kontinuálního měření (které do té doby probíhalo jednou až dvakrát týdně), pozorovali jsme opětovné zhoršení v čase (viz příloha 2). Z toho vyplývá, že gekončici jsou schopni se učit – habituovat se na pokusné podmínky, pokud jsou dlouhodobě vystavovány stejné situaci. Po uvedené časové odmlce, která v tomto případě byla dosti dlouhá, ale dochází k vyhasínání paměti a proces učení může opět začít od začátku (Bolivar et al., 2000; Bouton, 2007). Z našich výsledků vyplývá, že proces učení probíhá bez ohledu na počáteční rameno. Učení tedy nejspíše není ovlivněno polohou magnetického pole (což by ani být nemělo).

Otázkou je, jak interpretovat zjištění, že při volbě pravé strany je celkový čas pokusu kratší. Pokud se na tuto záležitost podíváme z pohledu laterality, tak ani jeden signifikantně vyhraněný pravák se podle Spearmanova koeficientu v průběhu testu prokazatelně nezlepšoval. Možným vysvětlením může být spojení funkce levé hemisféry (a tím pádem tendence zahýbat doprava) s predačním chováním. (Lustig et al., 2013; Bonati et al., 2008). Gekončík mohl pojmout pokus v bludišti jako výpravu za potravou, a tak bylo jeho rozhodnutí rychlejší než těch, kteří se rozhodli pro volnou exploraci, při které se rozhodovali podle jiných kritérií. Jedná se však pouze o mou domněnku, a jak už bylo zmíněno výše, umisťovat centrum řízení takto evidentně ne zcela jednoduchého chování do konkrétní hemisféry není dostatečně opodstatněné.

## 9 Závěr

Lateralita u gekončika nočního byla prokázána na individuální úrovni, v rámci populace nalézáme jedince preferující pravou, levou, anebo žádnou stranu (ambivalentní jedinci). V populaci nebyla zjištěna viditelná převaha preference jedné strany. Jedná se o lateralitu zjištěnou při volné exploraci, a tudíž může (ale nemusí) být odlišná od laterality při konkrétním chování (predační, agresivní, epigamní apod.)

Dále byl zachycen určitý vliv magnetického pole, určující se zdá být severojižní osa. Také byla u několika gekončiků zjištěna preference pro konkrétní světovou stranu, rozhodování při volné exploraci je tak zřejmě do značné míry ovlivněno individualitou jedince. Vliv magnetického pole na výsledky pokusu naznačuje, že by ho gekončici mohli být schopni vnímat. Z charakteru pokusu tak můžeme u gekončiků předpokládat přítomnost magnetorecepce nezávislé na světle.

Studií, které se zabývají touto problematikou je stále velmi málo. Tato práce je s největší pravděpodobností vůbec první, která zkoumá lateralitu u plazů při volné exploraci. Bude tedy zapotřebí provést další výzkumy, abychom se o tomto zajímavém tématu dozvěděli něco víc. Podle mého názoru může být použití gekončika nočního jakožto modelového organismu do budoucna dobrou volbou.

## 10 Literatura

- ABRAMJAN, A., V. BARANOVÁ, P. FRÝDLOVÁ, E. LANDOVÁ a D. FRYNTA, 2020. Ultraviolet reflectance and pattern properties in leopard geckos (*Eublepharis macularius*). *Behavioural Processes*. B.m.: Elsevier, **173**, 104060.
- ADÁMKOVÁ, J., J. SVOBODA, K. BENEDIKTOVÁ, S. MARTINI, P. NOVÁKOVÁ, D. TŮMA, M. KUČEROVÁ, M. DIVIŠOVÁ, S. BEGALL a V. HART, 2017. Directional preference in dogs: Laterality and "pull of the north". *PLoS one*. **12**(9), e0185243.
- AVENS, L. a K.J. LOHMANN, 2003. Use of multiple orientation cues by juvenile loggerhead sea turtles *Caretta caretta*. *Journal of Experimental Biology*. B.m.: The Company of Biologists Ltd, **206**(23), 4317–4325.
- BARTOL, S.M. a J.A. MUSICK, 2003. Sensory biology of sea turtles. *The biology of sea turtles*. B.m.: CRC Press Boca Raton, FL, **2**, 79–102.
- BEASON, R.C., 2005. Mechanisms of magnetic orientation in birds. *Integrative and Comparative Biology*. B.m.: Oxford University Press, **45**(3), 565–573.
- BEGALL, S., J. ČERVENÝ, J. NEEF, O. VOJTĚCH a H. BURDA, 2008. Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **105**(36), 13451–13455.
- BEGALL, S., E.P. MALKEMPER, J. ČERVENÝ, P. NĚMEC a H. BURDA, 2013. Magnetic alignment in mammals and other animals. *Mammalian Biology*. **78**(1), 10–20.
- BISAZZA, A., C. CANTALUPO, A. ROBINS, L.J. ROGERS a G. VALLORTIGARA, 1996. Right-pawedness in toads. *Nature*. B.m.: Nature Publishing Group.
- BISAZZA, A., L.J. ROGERS a G. VALLORTIGARA, 1998. The origins of cerebral asymmetry: a review of evidence of behavioural and brain lateralization in fishes, reptiles and amphibians. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. B.m.: Elsevier, **22**(3), 411–426.
- BLAKEMORE, R., 1975. Magnetotactic bacteria. *Science*. B.m.: American Association for the Advancement of Science, **190**(4212), 377–379.
- BOLIVAR, V.J., B.J. CALDARONE, A.A. REILLY a L. FLAHERTY, 2000. Habituation of activity in an open field: a survey of inbred strains and F1 hybrids. *Behavior genetics*. B.m.: Springer, **30**(4), 285–293.
- BONATI, B., D. CSERMELY a R. ROMANI, 2008. Lateralization in the predatory behaviour of the common wall lizard (*Podarcis muralis*). *Behavioural processes*. B.m.: Elsevier, **79**(3), 171–174.

- BOULTON, M.E., 2007. *Learning and behavior: a contemporary synthesis*. Sunderland, Mass: Sinauer Associates, Publishers. ISBN 978-0-87893-063-0.
- BRODER, E.D. a L.M. ANGELONI, 2014. Predator-induced phenotypic plasticity of laterality. *Animal Behaviour*. B.m.: Elsevier, **98**, 125–130.
- BRUINS, E., 2001. *Encyklopedie teraristiky*. Čestlice: Rebo. ISBN 978-80-7234-168-9.
- BURDA, H., S. MARHOLD, T. WESTENBERGER, R. WILTSCHKO a W. WILTSCHKO, 1990. Magnetic compass orientation in the subterranean rodent, *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae). *Experientia*. B.m.: Springer, **46**(5), 528–530.
- CAIN, S.D., L.C. BOLES, J.H. WANG a K.J. LOHMANN, 2005. Magnetic orientation and navigation in marine turtles, lobsters, and molluscs: concepts and conundrums. *Integrative and Comparative Biology*. B.m.: Oxford University Press, **45**(3), 539–546.
- CSERMELY, D., B. BONATI a R. ROMANI, 2010. Lateralisation in a detour test in the common wall lizard (*Podarcis muralis*). *Laterality*. B.m.: Taylor & Francis, **15**(5), 535–547.
- ČERVENÝ, J., S. BEGALL, P. KOUBEK, P. NOVÁKOVÁ a H. BURDA, 2011. Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biology letters*. **7**(3), 355–357. ISSN 1744-9561.
- DAVIS, T.A., 1978. Reversible and irreversible lateralities in some animals. *Behavioral and Brain Sciences*. B.m.: Cambridge University Press, **1**(2), 291–293.
- DECKEL, A.W., 1995. Laterality of aggressive responses in *Anolis*. *Journal of Experimental Zoology*. B.m.: Wiley Online Library, **272**(3), 194–200.
- DILL, L.M., 1977. „Handedness" in the Pacific tree frog (*Hyla regilla*). *Canadian Journal of Zoology*. B.m.: NRC Research Press, **55**(11), 1926–1929.
- DOMMER, D.H., P.J. GAZZOLO, M.S. PAINTER a J.B. PHILLIPS, 2008. Magnetic compass orientation by larval *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Physiology*. B.m.: Elsevier, **54**(4), 719–726.
- ELLIS-QUINN, B.A. a C.A. SIMONY, 1991. Lizard homing behavior: the role of the parietal eye during displacement and radio-tracking, and time-compensated celestial orientation in the lizard *Sceloporus jarrovi*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. B.m.: Springer, **28**(6), 397–407.
- GOULD, J.L., 1980. The Case for Magnetic Sensitivity in Birds and Bees (Such As It Is): Surprising concentrations of magnetite in the tissues of some animals may explain their sensitivity to the earth's magnetic field. *American Scientist*. B.m.: Sigma Xi, The Scientific Research Society, **68**(3), 256–267. ISSN 00030996.
- GREEN, A.J., 1997. Asymmetrical turning during spermatophore transfer in the male smooth newt. *Animal behaviour*. B.m.: Elsevier, **54**(2), 343–348.

- GREGORY, P.T., 1982. Reptilian hibernation. *Biology of the Reptilia*. **13**, 53–154.
- GRUBER, B. a K. HENLE, 2004. Linking habitat structure and orientation in an arboreal species *Gehyra variegata* (Gekkonidae). *Oikos*. B.m.: Wiley Online Library, **107**(2), 406–414.
- HAMILTON, E., 2019. *Earth's last magnetic field reversal took far longer than once thought* [online] [vid. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2019-08-earth-magnetic-field-reversal-longer.html>
- HART, V., T. KUŠTA, P. NĚMEC, V. BLÁHOVÁ, M. JEŽEK, P. NOVÁKOVÁ, S. BEGALL, J. ČERVENÝ, V. HANZAL a E.P. MALKEMPER, 2012. Magnetic alignment in carps: evidence from the Czech Christmas fish market. *PLoS One*. B.m.: Public Library of Science, **7**(12).
- HETEM, R.S., W.M. STRAUSS, B.G. HEUSINKVELD, S. DE BIE, H.H.T. PRINS a S.E. VAN WIEREN, 2011. Energy advantages of orientation to solar radiation in three African ruminants. *Journal of Thermal Biology*. **36**(7), 452–460.
- HOLTZMAN, D.A., T.W. HARRIS, G. ARANGUREN a E. BOSTOCK, 1999. Spatial learning of an escape task by young corn snakes, *Elaphe guttata guttata*. *Animal Behaviour*. B.m.: Elsevier, **57**(1), 51–60.
- HSU, Ch., F. KO, Ch. LI, K. FANN a J. LUE, 2007. Magnetoreception system in honeybees (*Apis mellifera*). *PloS one*. B.m.: Public Library of Science, **2**(4).
- CHAE, K., I. OH, S. LEE a S. KIM, 2019. Blue light-dependent human magnetoreception in geomagnetic food orientation. *PloS one*. B.m.: Public Library of Science San Francisco, CA USA, **14**(2), e0211826.
- JACOBS, L.F., 2003. The evolution of the cognitive map. *Brain, behavior and evolution*. B.m.: Karger Publishers, **62**(2), 128–139.
- KALMIJN, A.J., 1978. Experimental evidence of geomagnetic orientation in elasmobranch fishes. In: *Animal migration, navigation, and homing*. B.m.: Springer, s. 347–353.
- KAY, W.R., 2005. Movements and home ranges of radio-tracked *Crocodylus porosus* in the Cambridge Gulf region of Western Australia. *Wildlife Research*. B.m.: CSIRO, **31**(5), 495–508.
- KIRSCHVINK, J.L., Michael M. WALKER a Carol E. DIEBEL, 2001. Magnetite-based magnetoreception. *Current opinion in neurobiology*. B.m.: Elsevier, **11**(4), 462–467.
- KRATOCHVÍL, L. a D. FRYNTA, 2002. Body size, male combat and the evolution of sexual dimorphism in eublepharid geckos (Squamata: Eublepharidae). *Biological Journal of the Linnean Society*. B.m.: Oxford University Press, **76**(2), 303–314.
- LANDOVÁ, E., J. JANČUCHOVÁ-LÁSKOVÁ, V. MUSILOVÁ, Š. KADOCHOVÁ a D. FRYNTA, 2013. Ontogenetic switch between alternative antipredatory strategies in the leopard gecko (*Eublepharis macularius*): defensive

- threat versus escape. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. B.m.: Springer, **67**(7), 1113–1122.
- LANDRETH, H.F., 1973. Orientation and behavior of the rattlesnake, *Crotalus atrox*. *Copeia*. B.m.: JSTOR, 26–31.
- LANZA, R. a A. MELONI, 2006. *The Earth's magnetism*. B.m.: Springer.
- LEMASTER, M.P., I.T. MOORE a R.T. MASON, 2001. Conspecific trailing behaviour of red-sided garter snakes, *Thamnophis sirtalis parietalis*, in the natural environment. *Animal Behaviour*. B.m.: Elsevier, **61**(4), 827–833.
- LOHMANN, K.J. a C.M.F. LOHMANN, 1993. A light-independent magnetic compass in the leatherback sea turtle. *The Biological Bulletin*. B.m.: Marine Biological Laboratory, **185**(1), 149–151.
- LOHMANN, K.J., C.M.F. LOHMANN, L.M. EHRHART, D.A. BAGLEY a T. SWING, 2004. Geomagnetic map used in sea-turtle navigation. *Nature*. B.m.: Nature Publishing Group, **428**(6986), 909–910.
- LOHMANN, K.J., C.M.F. LOHMANN a N.F. PUTMAN, 2007. Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of Experimental Biology*. B.m.: The Company of Biologists Ltd, **210**(21), 3697–3705.
- LOPEZ, J., Y. GÓMEZ, F. RODRÍGUEZ, C. BROGLIO, J. VARGAS a C. SALAS, 2001. Spatial learning in turtles. *Animal Cognition*. B.m.: Springer, **4**(1), 49–59.
- LUSTIG, A., H. KETTER-KATZ a G. KATZIR, 2013. Lateralization of visually guided detour behaviour in the common chameleon, *Chamaeleo chamaeleon*, a reptile with highly independent eye movements. *Behavioural processes*. B.m.: Elsevier, **100**, 110–115.
- MALEWSKI, S., E.P. MALKEMPER, F. SEDLÁČEK, R. ŠUMBERA, K.R. CASPAR, H. BURDA a S. BEGALL, 2018. Attracted by a magnet: Exploration behaviour of rodents in the presence of magnetic objects. *Behavioural processes*. B.m.: Elsevier, **151**, 11–15.
- MAREK, C., N. BISSANTZ, E. CURIO, A. SIEGERT, B. TACUD a D. ZIGGEL, 2010. Spatial orientation of the Philippine bent-toed gecko (*Cyrtodactylus philippinus*) in relation to its home range. *Salamandra*. **46**, 93–97.
- MCGREEVY, P.D., J.P. LANDRIEU a P.F.J. MALOU, 2007. A note on motor laterality in plains zebras (*Equus burchellii*) and impalas (*Aepyceros melampus*). *Laterality*. B.m.: Taylor & Francis, **12**(5), 449–457.
- MEAD, G.D., 1964. Deformation of the geomagnetic field by the solar wind. *Journal of Geophysical Research*. **69**(7), 1181–1195.
- MERRILL, M.W. a M. SALMON, 2011. Magnetic orientation by hatchling loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) from the Gulf of Mexico. *Marine Biology* [online]. **158**(1), 101–112. ISSN 0025-3162, 1432-1793. Dostupné z: doi:10.1007/s00227-010-1545-y



- MORITZ, R.E., H. BURDA, S. BEGALL a P. NĚMEC, 2007. Magnetic compass: a useful tool underground. In: *Subterranean Rodents*. B.m.: Springer, s. 161–174.
- MOURITSEN, H. a T. RITZ, 2005. Magnetoreception and its use in bird navigation. *Current opinion in neurobiology*. B.m.: Elsevier, **15**(4), 406–414.
- MURPHY, P.A., 1981. Celestial compass orientation in juvenile American alligators (*Alligator mississippiensis*). *Copeia*. B.m.: JSTOR, 638–645.
- NĚMEC, P., J. ALTMANN, S. MARHOLD, H. BURDA a H.H.A. OELSCHLÄGER, 2001. Neuroanatomy of magnetoreception: the superior colliculus involved in magnetic orientation in a mammal. *Science*. B.m.: American Association for the Advancement of Science, **294**(5541), 366–368.
- PEKÁR, S. a M. BRABEC, 2012. *Moderní analýza biologických dat: lineární modely s korelacemi v prostředí r* [online] [vid. 2020-06-20]. ISBN 978-80-210-7719-5. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=992708>
- PÓSFAL, M. a R.E. DUNIN-BORKOWSKI, 2009. Magnetic nanocrystals in organisms. *Elements*. B.m.: Mineralogical Association of Canada, **5**(4), 235–240.
- PŮŽOVÁ, T., M. VÁCHA a M. KVÍČALOVÁ, 2010. American cockroaches prefer four cardinal geomagnetic positions at rest. *Behaviour*. B.m.: Brill, **147**(4), 425–440.
- RAND, A.S., 1968. A nesting aggregation of iguanas. *Copeia*. B.m.: JSTOR, 552–561.
- RODGERS, C.T. a P.J. HORE, 2009. Chemical magnetoreception in birds: the radical pair mechanism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. B.m.: National Acad Sciences, **106**(2), 353–360.
- ROGERS, L.J., 1989. Laterality in animals. *International Journal of Comparative Psychology*. **3**(1).
- ROGERS, L.J., 1997. Early experiential effects on laterality: research on chicks has relevance to other species. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*. B.m.: Taylor & Francis, **2**(3–4), 199–219.
- ROTH, E.D., 2003. ‘Handedness’ in snakes? Lateralization of coiling behaviour in a cottonmouth, *Agkistrodon piscivorus leucostoma*, population. *Animal Behaviour*. B.m.: Elsevier, **66**(2), 337–341.
- ROZHOK, A., 2008. *Orientation and navigation in vertebrates*. B.m.: Springer. ISBN 3-540-78718-6.
- RUSSELL, A.P., A.M. BAUER a M.K. JOHNSON, 2005. Migration in amphibians and reptiles: an overview of patterns and orientation mechanisms in relation to life history strategies. In: *Migration of organisms*. B.m.: Springer, s. 151–203.

- SEUFER, H., 2005. *The eyelash geckos: care, breeding and natural history*. Karlsruhe: Kirschner und Seufer. ISBN 978-3-9804207-8-5.
- SCHLEGEL, P.A., 2007. Spontaneous preferences for magnetic compass direction in the American red-spotted newt, *Notophthalmus viridescens* (Salamandridae, Urodela). *Journal of ethology*. B.m.: Springer, **25**(2), 177–184.
- SCHLEGEL, P.A. a H. RENNER, 2007. Innate preference for magnetic compass direction in the Alpine newt, *Triturus alpestris* (Salamandridae, Urodela)? *Journal of ethology*. B.m.: Springer, **25**(2), 185–193.
- SCHWARTING, R.K.W. a A. BORTA, 2005. Analysis of behavioral asymmetries in the elevated plus-maze and in the T-maze. *Journal of neuroscience methods*. B.m.: Elsevier, **141**(2), 251–260.
- SINSCH, U., 1990. Migration and orientation in anuran amphibians. *Ethology Ecology & Evolution*. B.m.: Taylor & Francis, **2**(1), 65–79.
- SOLOV'YOV, I.A. a W. GREINER, 2009. Iron-mineral-based magnetoreceptor in birds: polarity or inclination compass? *The European Physical Journal D*. B.m.: Springer, **51**(1), 161–172.
- SOUTHWOOD, A. a L. AVENS, 2010. Physiological, behavioral, and ecological aspects of migration in reptiles. *Journal of Comparative Physiology B*. B.m.: Springer, **180**(1), 1–23.
- SPRINGER, J.A., J.R. BINDER, T.A. HAMMEKE, S.J. SWANSON, J.A. FROST, P.S.F. BELLGOWAN, C.C. BREWER, H.M. PERRY, G.L. MORRIS a W.M. MUELLER, 1999. Language dominance in neurologically normal and epilepsy subjects: a functional MRI study. *Brain*. B.m.: Oxford University Press, **122**(11), 2033–2046.
- STAPPUT, K., P. THALAU, R. WILTSCHKO a W. WILTSCHKO, 2008. Orientation of birds in total darkness. *Current Biology*. B.m.: Elsevier, **18**(8), 602–606.
- STAROSTOVÁ, Z., L. GVOŽDÍK a L. KRATOCHVÍL, 2017. An energetic perspective on tissue regeneration: The costs of tail autotomy in growing geckos. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. B.m.: Elsevier, **206**, 82–86.
- STUHLÍK, A., 2003. Prostor a prostorová orientace. *Československá fyziologie*. **52**(1), 22–33.
- VALET, J. a L. MEYNADIER, 1993. Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years. *Nature*. **366**(6452), 234–238.
- VIETS, B.E., A. TOUSIGNANT, M.A. EWERT, C.E. NELSON a D. CREWS, 1993. Temperature-dependent sex determination in the leopard gecko, *Eublepharis macularius*. *Journal of Experimental Zoology*. B.m.: Wiley Online Library, **265**(6), 679–683.

VON FRISCH, K., 1967. The dance language and orientation of bees. B.m.: Harvard University Press.

VOŇAVKOVÁ, M., 2013. Testování prostorové orientace u gekončíka nočního (*Eublepharis macularius*). B.m.: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta.

WANG, C.X., I.A. HILBURN, D. WU, Y. MIZUHARA, C.P. COUSTÉ, J.N.H. ABRAHAMS, S.E. BERNSTEIN, A. MATANI, S. SHIMOJO a J.L. KIRSCHVINK, 2019. Transduction of the geomagnetic field as evidenced from alpha-band activity in the human brain. *eneuro*. B.m.: Society for Neuroscience.

WARREN, J.M., 1980. Handedness and laterality in humans and other animals. *Physiological psychology*. B.m.: Springer, **8**(3), 351–359.

WERNER, Y.L. a E.G. WEVER, 1972. The function of the middle ear in lizards: *Gekko gecko* and *Eublepharis macularius* (Gekkonoidea). *Journal of Experimental Zoology*. B.m.: Wiley Online Library, **179**(1), 1–16.

WILKINSON, A., S. COWARD a G. HALL, 2009. Visual and response-based navigation in the tortoise (*Geochelone carbonaria*). *Animal Cognition*. B.m.: Springer, **12**(6), 779.

WILTSCHKO, R. a W. WILTSCHKO, 1995. *Magnetic orientation in animals*. Berlin ; New York: Springer. Zoophysiology, v. 33. ISBN 978-3-540-59257-0.

WILTSCHKO, R. a W. WILTSCHKO, 2006. Magnetoreception. *Bioessays*. B.m.: Wiley Online Library, **28**(2), 157–168.

WILTSCHKO, W. a R. WILTSCHKO, 2001. Light-dependent magnetoreception in birds: the behaviour of European robins, *Erithacus rubecula*, under monochromatic light of various wavelengths and intensities. *Journal of Experimental Biology*. B.m.: The Company of Biologists Ltd, **204**(19), 3295–3302.

WILTSCHKO, W. a R. WILTSCHKO, 2005. Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of comparative physiology A*. **191**(8), 675–693.

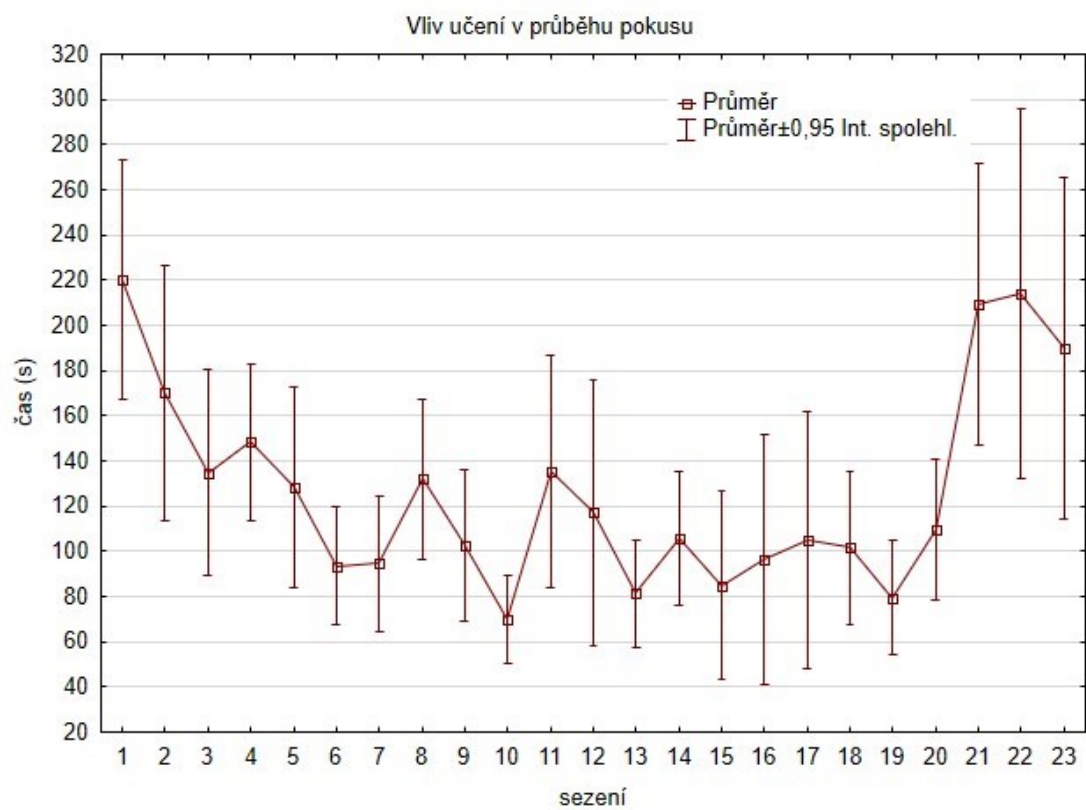
# 11 Přílohy

## Příloha 1 - Spearmanova korelace

	počet sezení	Spearman R	t(N-2)	p-hodnota	označení jedince
čas (s) & sezení	19	0,178947	0,749924	0,463554	591
	19	-0,622807	-3,28218	0,004396	712
	19	-0,159649	-0,666803	0,513847	1060
	19	-0,531579	-2,58764	0,019163	1127
	19	-0,110526	-0,458521	0,652386	8009
	19	-0,370175	-1,64299	0,118752	8389
	19	-0,484211	-2,28178	0,035659	8439
	19	-0,475439	-2,22823	0,039655	8459
	19	-0,261404	-1,11662	0,279691	8728
	19	-0,405263	-1,82776	0,085190	9430
	19	-0,508772	-2,43666	0,026112	9525
	19	-0,294737	-1,27172	0,220595	9533
	19	-0,536842	-2,62357	0,017790	NAL 1
	19	-0,473684	-2,21762	0,040494	NAL 2
	19	-0,149123	-0,621802	0,542322	NAL 3
	18	-0,292054	-1,22147	0,239602	NAL 4
	19	0,086880	0,359576	0,723592	NAL 5
	19	-0,179903	-0,754064	0,461129	NAL 6
	19	-0,517544	-2,49386	0,023238	NAL 7
	19	-0,522807	-2,52869	0,021637	NAL 8

Spearmanova korelace, červeně jsou vyznačeni jedinci, u kterých docházelo k signifikantnímu zlepšování v čase – rozhodovali se rychleji.

## Příloha 2 – Souhrnný graf všech měření



Graf znázorňující zlepšování se v čase (učení) v rámci celé populace a následné vyhasínání této paměti, která je následována opětovným učením.