



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra biologických disciplín

Bakalářská práce

Mortalita velikostních skupin mravenců *Atta sexdens* v chovu

Autorka práce: Nikola Wágnerová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Irena Šetlíková, Ph.D.

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Cílem pokusu bylo zjistit úmrtnost různých velikostních skupin mravenců střihačů *Atta sexdens*, chovaných v Zoo Hluboká nad Vltavou. Literární přehled je zaměřen na biologii, biogeografii, etologii a ekologii, jejichž pochopení je pro tento druh velmi důležité. Pár kapitol je věnováno nárokům mravenců na prostředí, potravu a metody chovu. Praktická část se věnuje rozdílům šířky hlavy uhynulých mravenců mezi dvěma hromádkami odpadu, v souvislosti s podmínkami chovu (úbytek pěstované houby, návštěvnost a teplota v expozici) v jednotlivých obdobích roku. Z výsledků se podařilo prokázat polymorfní dělbu práce spojenou s velikostní variabilitou dělnic. V prostoru, kde byla umístěna potrava v podobě vegetace měli mravenci větší šířku hlavy (1,93 mm; 1,55-2,37 mm), než mravenci pocházejícího z prostoru, kam se potrava nedávala (1,54 mm; 1,16-2,09 mm) (medián; dolní – horní kvartil). Mortalita se měnila během roku. Se zvyšující se úmrtností mravenců rostl podíl jedinců s užší šířkou hlavy, a to v obou hrobečkách.

Klíčová slova: mravenec, *Atta sexdens*, Zoo Hluboká nad Vltavou, šířka hlavy, prostor, mortalita

Abstract

The aim of the experiment was to determine the mortality rates of different size groups of leaf-cutter ants *Atta sexdens* kept at the Hluboká nad Vltavou Zoo. The literature review focuses on biology, biogeography, ethology, and ecology, which are crucial for understanding this species. Several chapters are dedicated to the environmental requirements, food, and rearing methods of ants. The practical part examines the differences in head width of deceased ants between two waste piles, in relation to rearing conditions (decrease in cultivated fungus, visitor presence, and temperature in the exhibit) during different seasons of the year. The results successfully demonstrated a polymorphic division of labor associated with the size variability of worker ants. In the area where vegetation was provided as food, ants had a large head width (1,93 mm; 55- 2,37 mm) compared to ants from areas without food provision (1,54 mm; 1,16-2,09 mm) (median; lower – upper quartile). Mortality varied throughout the year. As ant mortality increased, the proportion of individuals with narrower head width increased in both waste piles.

Keywords: ant, *Atta sexdens*, Zoo Hluboká nad Vltavou, head width, area, mortality

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala všem, kteří mi pomohli k vytvoření mé bakalářské práce. Především své vedoucí doc. RNDr. Ireně Šetlíkové, Ph.D. za věnovaný čas, odborné konzultace a pevné vedení. Zároveň děkuji zaměstnancům ze Zoo Hluboká nad Vltavou za spolupráci a ochotu při poskytování vzorků a informací. Také bych ráda poděkovala doc. Mgr. Michalovi Berecovi, Ph.D. za ochotu v průběhu celého výzkumu. Také děkuji Janu Tomanovi Ing. et Ing. za pomoc s vizuální stránkou. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu během mého pokusu i celého studia.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární přehled.....	9
1.1 Systematické zařazení a historie	9
1.2 Rozšíření	9
1.3 Etologie	10
1.3.1 Vznik kolonie	11
1.3.2 Kastovní systém	12
1.3.3 Hloubení hnízda	14
1.3.4 Zpracování potravy	15
1.4 Ekologie	16
1.4.1 Symbióza s houbou	17
1.4.2 Predátoři a parazité.....	17
1.5 Chov v zajetí	19
1.5.1 Ubikace	19
1.5.2 Mikroklima.....	22
1.5.3 Potrava.....	23
2 Metodika	25
3 Výsledky	28
3.1 Relativní početnost velikostních kategorií ve všech odběrech	28
3.2 Rozdíly šířky hlavy mravenců mezi hrobečky v jednotlivých odběrech ...	30
3.3 Rozdíly šířky hlavy mravenců mezi hrobečky ve všech odběrech	31
3.4 Rozdíly šířky hlavy mravenců mezi odběry v jednotlivých hrobečkách ...	31
3.5 Úmrtnost.....	32
3.5.1 Vztah úmrtnosti a šířky hlavy	33
3.5.2 Vztah úmrtnosti a návštěvnosti Zoo Hluboká nad Vltavou	33

3.5.3	Teplota v expozici mravenců	34
4	Diskuse	36
	Závěr	38
	Seznam použité literatury	39
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek a grafů	51
	Přílohy	52

Úvod

V dnešní době není chov mravenců nic neobvyklého ani složitého, proto se stal velmi oblíbenou záležitostí nejen v zoologických zahradách, ale i u samotných soukromých chovatelů. Různé typy formikárií umožnily lidem sledovat pozoruhodnou sociální dělbu práce, a tím se jejich zájem ještě více zvýšil.

U mravenců je organizace práce založena na věkových rozdílech mezi dělnicemi (polyteismus). Mladí jedinci vykonávají činnosti uvnitř hnízda (péče o potomstvo a údržba hnízda), kdežto starší se věnují riskantním úkolům mimo hnízdo (hledání potravy a ochrana kolonie). Někteří mravenci, zejména střihači z rodu *Atta*, mají největší morfolgickou diferenciaci, vedoucí k omezené flexibilitě a specializaci na konkrétní úkol, například velcí jedinci jsou mnohem efektivnější při odrazování nebo obraně hnízda (Hölldobler et Wilson, 1998; Valadares et al., 2022). Díky svému zajímavému způsobu života, kdy fungují v oboustranně prospěšném soužití s houbou, kterou si sami pěstují, se stali atraktivní pro expozice v zoologických zahradách.

U *Atta sexdens* chovaných v Zoo Hluboká nad Vltavou byla zpozorována nestálá mortalita různě velkých jedinců v rámci jednoho roku. Cílem bakalářské práce je zjistit velikostní variabilitu skupin uhynulých mravenců v jednotlivých obdobích roku. Dále se zabývá okolními faktory, mající vliv na jejich úmrtnost jako je rozmístění uhynulých jedinců na různá místa v expozici, úbytek pěstované houby, návštěvnost lidí a teplota vzduchu.

1 Literární přehled

1.1 Systematické zařazení a historie

Čeďel' Formicidae (Mravencovití) (Latreille, 1809) patří do řádu blanokřídly (Hymenoptera) (Linné, 1758), podřádu štíhlopasí (Apocrita) (Gerstaecker, 1867) a nadčeledi vosy (Vespoidea) (Latreille, 1802). Dále se tato čeďel' rozděluje na několik podčeledí, z toho nejznámější jsou Ponerinae (Lepeletier, 1835), Dorylinae (Leach, 1815), Dolichoderinae (Forel, 1878), Formicinae (Lepeletier, 1836) a Myrmicinae (Lepeletier de Saint-Gargeau, 1835). Rod *Atta* (Fabricius, 1805) je klasifikován do podčeledi Myrmicinae a Tributu Attini (Smith, 1858) (The National Inventory of Natural Heritage (INPN), 2024). Druh *Atta sexdens* (Linné, 1758) se dále dělí na tři poddruhy *Atta sexdens sexdens*, *Atta sexdens piriventris* a *Atta sexdens rubropilosa*. Ve studiích, které analyzovaly tyto poddruhy, bylo zjištěno, že odpovídají evolučně odlišným taxonům (Solomon, 2007).

Mravenci se na Zemi objevili asi před 100 až 150 miliony lety (Holldobler et Wilson, 1997). Dnes se rozdělují do 16 podčeledí (Bolton, 1995). Některé druhy se zhruba před 50 miliony lety naučily pěstovat houby jako zdroj potravy (Mueller et al., 1998). Tito mravenci se řadí do tributu Attini a jsou monofyletickou skupinou odvozenou z jednoho společného předka (Holldobler et Wilson, 2010). Následně se rozdělili podle morfologie dělnic, struktury hnízda, velikosti kolonie a substrátu do tří kategorií. Mezi primitivnější skupiny se řadí rody *Cyphomyrmex*, *Mycetarotes*, *Mycocepurus*, *Myrmicocrypta* a *Apterostigma*, přechodná skupina zahrnuje rody *Sericomyrmex*, *Mycetosoritis* a *Trachymyrmex* a do pokročilé skupiny patří střihači z rodu *Acromyrmex* a *Atta*, řadí se mezi nejvyspělejší sociální hmyz (Leal et Oliveira, 2000; Wirth et al., 2003). *Acromyrmex* je druhově rozmanitější s počtem 25 druhů, zatímco *Atta* zahrnuje 15 druhů (Bolton, 1995).

1.2 Rozšíření

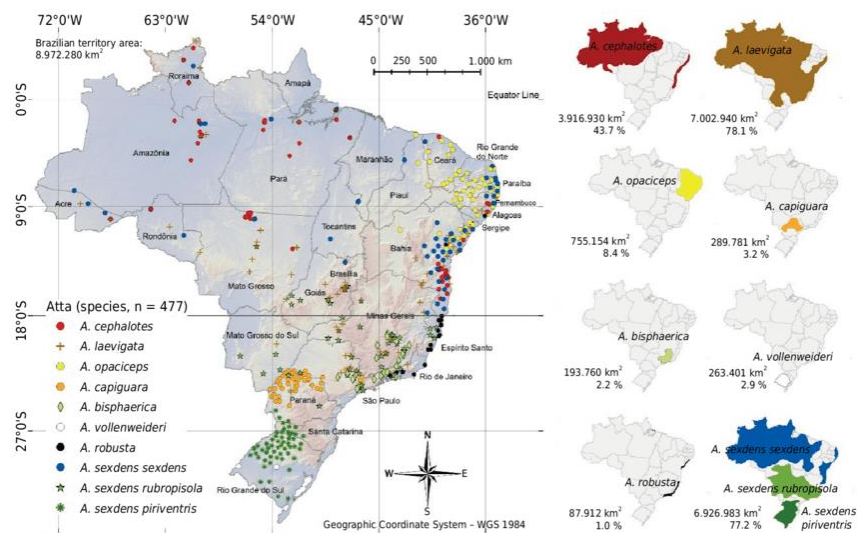
Mravenci střihači se vyskytují v zemích Nového světa. V tropických oblastech Mexika, Střední a Jižní Ameriky se nachází 230 druhů, z toho jsou některé druhy adaptovány na suchá stanoviště v jihozápadních státech či jižních částech Spojených států amerických (Holldobler et Wilson, 2010).

Nadměrné využívání zemědělské půdy, odlesňování a celkové narušování ekosystému snižuje růst populace těchto mravenců (Wirth et al., 2007). *Atta sexdens* může hnízdit na otevřených pastvinách, uzavřených korunách nebo na místech, která

jsou narušená člověkem (Solomon, 2007). Dále si vybírají místa podle vhodného mikroklimatu a jeho změny mohou vyvolat přemístění či smrt kolonie (Van Gils, 2012).

Dle studií se střihači nejčastěji nachází v lesích rané sukcese než ve starých lesích. Pionýrské druhy kolonizují na nově vzniklých nebo uvolněných stanovištích rané sukcese. Také jsou mnohem choulostivější ke stříhání listů než druhy v primárních lesích, které jsou mnohem tolerantnější k zastínění. Mravenci si patrně vybírají listy pionýrských druhů kvůli vysokému obsahu živin a nízké úrovni obranyschopnosti. Jejich dostupnost je jedním z faktorů určující hustotu hnízda (Farji-Brener, 2001).

Atta sexdens byl pozorován od Kostariky po severní Argentinu. Výskyt byl předpokládán i v západním Ekvádoru, na ostrovech v Malých Antilách, Trinidadu, Hispaniole a na Jamajce, ale nebyl zde potvrzen, vzhledem k neprozkoumané taxonomii. Mezi nejpravděpodobnější faktory omezující šíření do kontinentálních oblastí Jižní a Střední Ameriky jsou zřejmě fyzické překážky jako například hory a vodní toky. Tuto hypotézu vyvrací fakt, že *Atta sexdens* a *Atta cephalotes* se vyskytují v Andách. Je možné, že se zde rozšířili po vzestupu severních And v miocénu. Všichni mravenci rodu *Atta* se nalézají v nadmořských výškách okolo 1500 m a některé druhy až do výšky 2000 m (Solomon, 2007).



Obrázek 1.1: Rozšíření rodu *Atta* (Schaefer et al., 2021)

1.3 Etologie

Eusociální prostředí tvoří evolučně specifické vlastnosti, které částečně odporují Darwinovu přírodnímu výběru. Eusociální společenstvo znamená rozdělení jedinců do reprodukčních a nereprodukčních kast (Nowak et al., 2010). Tento jev je známý

nejvíce ve třídě hmyzu (Insecta), především u mravenců (Formicidae), termitů (Isoptera) vos (Vespidae) a včel (Apidae), které vytvářejí velice složité kolonie, lišící se svou sociální složitostí, zahrnující velké množství individuálních a koloniálních znaků, kupříkladu velikost kolonie, polymorfismus a strategie hledání potravy (Anderson et McShea, 2001).

1.3.1 Vznik kolonie

Růst začínající kolonie je v prvních dvou letech pomalý. Následující tři roky se zrychluje a zužuje, jelikož produkuje okřídlené samce a královny. Kolonie rodu *Atta* je obrovská, v jedné kolonii se odhaduje počet dělníků u *Atta colombica* na 1 až 2,5 milionu a 5 až 8 milionů u *Atta sexdens* (Holldobler et Wilson, 2010). Hustota a celková dynamika hnízda je ovlivněna silnými dešti, pády stromů a dalšími faktory (Van Gils et Vandewouden, 2012).

Každoročně každá dospělá kolonie mravenců rodu *Atta* produkuje během období dešťů reprodukční samice, které mohou dosahovat velikosti švába a samce nazývané se alaty, odlétající z rodičovské kolonie na pářící let tzv. snubní let. Snubní lety všech kolonií rodu *Atta* žijících ve stejném prostředí jsou synchronizované, proto není vyloučeno křížení mezi jednotlivými druhy. U *Atta sexdens* probíhají ve dne od konce října do poloviny prosince, ale u *Atta texana* pocházejícího z jihozápadu Spojených států amerických během noci (Wirth et al., 2003).

Kolonie jsou velmi početné a dlouhověké, jejich průměrná délka života je přibližně 7 let, proto mohou královny uchovávat spermie od jednotlivých samců 10 až 15 let či dokonce déle, než se jedna po druhé spotřebuje na oplodnění vajíček, přicházející z vaječníků (Holldobler et Wilson, 1997; Wirth et al., 2003; Meyer et al., 2009). Samice druhu *Atta sexdens* jsou oplodněny nejméně třemi až osmi samci, zatímco jiné druhy jako například *Atta colombica* má průměrný počet samců okolo tří (Wirth et al., 2003; Holldobler et Wilson, 2010). Odhadovaný počet spermií u jedné královny je 206-320 milionů. Bylo objeveno, že genitálie samců mají dvě vnější řady ostnitých zubů, které zapadají do specializovaného váčkového orgánu v pohlavním ústrojí samice. Spermie jsou přenášeny do spermatéky během ejakulace nebo po ní a nedochází ke smíchání se spermii jiných samců. Stejný proces je znám u trpasličí včely (*Apis andreniformis*) (Den Bear et Boomsma, 2006). Vysoká genetická diverzita může kolonii přinášet mnoho výhod, jako je větší odolnost vůči chorobám, pozitivní vliv na produktivitu a zlepšení vývoje morfologických podkast v koloniích (Wirth et al., 2003; Holldobler et Wilson, 2010).

Před svatebním letem si královna uchová malý chomáček mycelia symbiotické houby do své infrabukální kapsy (cibária), dutiny umístěné pod otvorem jícnu. Tento chomáček slouží k založení nové kolonie. Po pářícím letu všichni samci zemřou, jelikož jejich primárním úkolem je poskytnout samicím spermiie. Úmrtnost mladých královen během páření a po páření, kdy shodí svá křídla a pokouší se vytvořit novou kolonii, je velmi vysoká (Holldobler et Wilson, 2010). Oplodněná královna bez křídel vyhloubí do půdy svislou hnízdní chodbu o průměru 12-15 mm. V hloubce 30 cm rozšíří chodbu a vytvoří komůrku o průměru 6 cm, kde vyvrhne a napustí chomáček hyf tekutinami ze zadečku. Po nějaké době naklade 3-6 vajíček mimo houbovou zahrádku. Klást vajíčka k houbové zahrádce začne poté, kdy kolonie vytvoří 20 vajíček a houbová hmota se desetinásobně zvětší. V prvním měsíci je potomstvo tvořeno vajíčky, larvami a možná i kuklami, umístěnými na množící se houbě. Během této počáteční fáze zakládání kolonie si královna pěstuje houbovou zahradu sama, především hnojením svou vlastní fekální tekutinou (žluté či hnědé barvy), odtrhne malý kousek houbové hmoty a zadeček stočí dopředu mezi nohy. energii získává ze zbývajících křídelních svalů, tělního tuku nebo z vajíček, které pozře (až 90 procent) (Holldobler et Wilson, 1997; Holldobler et Wilson, 2010).

Po 40-60 dnech od založení houbové zahrádky se objevují dospělé dělnice a ihned se začnou živit houbou. Po týdnu si vydolují cestu ven z ucpaného vstupního vchodu a hledají potravu v blízkosti hnízda. Kolonie se postupně rozrůstá a je tvořena červeno-hnědo-černými neokřídlenými dělnicemi. Královna se v této fázi přestane starat o houbovou zahrádku a potomstvo, klade pouze vajíčka až po zbytek celého svého života. Během svého života může vyprodukovat stovky tisíc až dokonce milion dělnic různých velikostí a tvarů (Holldobler et Wilson, 1997; Holldobler et Wilson, 2010). Pokud se královně v počátcích nepodaří vybudovat zdravou houbovou zahradu, je celý proces zakládání kolonie odsouzen k záhubě (Holldobler et Wilson, 1997; Holldobler et Wilson, 2010; Schieb, 2021). Ve většině případů, pokud zemře královna, tak i s ní celá kolonie (Holldobler et Wilson, 2010). Umělé kolonie druhu *Atta cephalotes* po období osíření přijímají náhradní královnu a zůstávají stabilní a aktivní (Sotelo et al., 2015).

1.3.2 Kastovní systém

Kastovní systém, a tím i dělba práce u různých velikostních skupin, jsou základem chodu celé kolonie. Ten tvoří královna jakožto reprodukční jedinec a nereprodukční dělnice (Nowak et al., 2010; Valadares, 2016). *Atta sexdens* rozděluje svou kolonii do

čtyř skupin neboli podkast v závislosti na velikosti dělnice. Tyto podkasty vykazují rozdíl v chemických znacích, napomáhajících k rozlišení jednotlivců a skupin v hnízdě. Největší dělnice (sběrači) shánějí, řezou a přenášejí úlomky listů. Dělnice střední velikosti (generalisté) vykonávají velkou škálu úkonů od ošetření listového substrátu po péči o mláďata a matku. Zatímco menší dělnice (zahradnice) zůstávají uvnitř hnízda a upravují listový substrát (Valadares, 2016). Důležitou a nezbytnou součástí jsou vojáci, chránící svou kolonii. Jsou také rozděleni dle velikostí. Obrovský vojáci mají velmi ostrá kusadla sloužící v boji proti obratlovcům. V případě napadení jinými mravenci využívá kolonie o něco málo menší vojáky. Další skupinou jsou stopaři, jedná se o starší malé dělnice, které se vozí na útržcích listů, které nosí sběrači do hnízda. Jejich úloha je ochrana sběračů před útoky parazitických much (Holldobler et Wilson, 1997, Holldobler et Wilson, 2010).

Dělnice, co se starají o sběr vegetace, jsou rozděleny do skupinek. Malá skupina leze po stromech, seká velké množství vegetace a shazuje je na zem. Druhá skupina tyto listy stříhá na menší a přenechávají je na cestě třetí skupině dělnic, které odnášejí do hnízda (Fowler et Robinson, 1979). Nejčastěji se jedná o mravence s velikostí šířkou hlavy 2,00 až 2,2 mm. V hnízdě dělnice s šířkou hlavy 1,6 mm drtí listy na menší kousky. Následně jsou listy přežvykovány a rozmělnovány na kaši o něco málo menšími dělnicemi. Mravenci s hlavou širokou 1 mm olizují dužinu, kterou následně osévají chomáčky hub ze založené části zahrady. O něco menší dělnice s širokou hlavou 0,8 mm odstraňují plevel, bakterie, kvasinky a spory. Dělnice ve velikostním rozpětí 0,8 až 1,6 mm se starají o potomstvo. Po celou dobu tohoto procesu dělnice kálí na listy. Jejich výkaly obsahují amoniak, aminokyseliny a enzymy z hub a tím hnojí svou zahrádku, čímž podporují její růst a urychlují rozklad čerstvého substrátu (Moffett, 2010; Holldobler et Wilson, 2010). Houba zanechává spoustu vyčerpaného substrátu, který tvoří obrovský odpad, o něhož se starají starší dělnice. V neobydlených komůrkách v nejhlubších částech hnízda jsou odpadní komůrky sloužící k ukládání tohoto substrátu. Aby nedošlo ke kontaminaci patogenními organismy v hnízdě, nemají tyto dělnice přístup do dalších prostor mravenišť (Žďárek, 2013; Schieb, 2021).

Potravní stezky mravenců rodu *Atta* se skládají z několika hlavních cest s vedlejšími bočními cestami, které mohou přetrvávat i několik měsíců či dokonce let (Howard, 2001). Mravenčí kolonie v otevřených oblastech tvoří více větvené a delší stezky, které jsou méně nákladné na údržbu. Naopak kolonie žijící v lese vykazuje

menší větvení stezek, což může být způsobeno velkým množstvím překážek zvyšující údržbu a bohatým korunním porostem zmírňující slunečné záření a déšť (Farji-Brener et al., 2015). Potravní stezky si mravenci chemicky značí sekrety z jedových žlázových váčků, které obsahují těkavou sloučeninu, sloužící jako verbovací signál a méně těkavou, fungující jako orientační signál. Chemická struktura těkavé složky byla poprvé zjištěna u rodu *Atta*. Je to methyl-4-methylpyrrol-2-karboxylát (např. *A. cephalotes*) a 3-ethyl-2,5- dimethyl-pyrazin (např. *A. sexdens*) (Wirth et al., 2003).

Předpokládá se, že individuální zkušenost ovlivňuje dělnice v jejich rozhodování o provedení úkolu. Pokud dlouhodobě selhávají ve sběru potravy, zaměřují se na péči o potomstvo, ale v případě dlouhodobých úspěchů nadále hledají potravu. Specializace dělnic na různé úkoly s kombinací vzájemné spolupráce velkou mírou přispívá k úspěchu a efektivitě celé kolonie (Ravary et al., 2007). Na skupinovém chování může být postavena řada různých organizačních principů. Jedná se o klíčové jedince tzv. katalyzátory a organizátory, kteří působí na celou kolonii. Katalyzátoři zvyšují úroveň aktivity ostatních členů skupiny, zatímco organizátoři zajišťují soudržnost skupiny a plnění jednotlivých úkolů (např. hnízdní emigrace je organizována vysoce aktivní podskupinou jedinců) (Robson et Traniello, 1999).

Kolonie jako celek se považuje za noční, jinak jejich aktivita závisí na velikosti těla dělnic a zapojení do transportu vegetace. Noční dělnice jsou menší a méně zapojené do transportu, denní jsou větší a více zapojeni do transportu (Constantino et al., 2021). Mezi časté příčiny změny rozmístění kolonií spadá úmrtnost, založení a přesuny kolonií. Přesuny nejsou příliš časté a poznají se podle vyhrabání půdy na novém hnízdišti a přemístění odřezaných kusů rostlin a houbové zahrádky do nového hnízda. Přesuny ve vysokém zastoupení znamenají změnu půdy a početnosti travního porostu s přínosem živin na novém místě (Wirth et al., 2003).

1.3.3 Hloubení hnízda

Rod *Atta* a *Acromyrmex* si vyhrabávají dlouhověká hnízda, skládající se ze složitých podzemních systémů, poskytující úkryt před predátory a klimatickými změnami, umožňující rozmnožování a pěstování houbové zahrádky (Nascimento, 2023). Založení hnízda bývá velmi časově náročné a úspěšnost celé kolonie závisí na hloubce vyhloubení. Hloubení mělkých hnízd může být energeticky méně náročné pro královnu, ale na druhou stranu je kolonie vystavena měnícímu se prostředí. Naproti tomu hlubší komory mohou být více energeticky náročné, ale jsou klimaticky stabilnější. (Frohle et Roces, 2012). V případě zvětšující se kolonie musejí mravenci

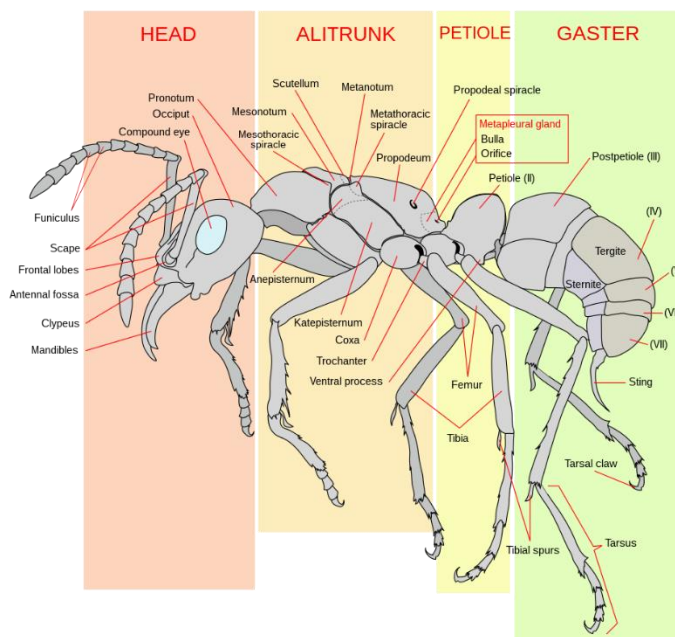
tvořit nové tunely a komůrky. Předpokládá se, že dělnice vyhloubí nové hnízdní komůrky na místech v půdním profilu, který nabízí vhodné podmínky prostředí pro líhnutí a pěstování houby. Hnízdní komůrky nejsou vyhloubeny předem, ale vznikají samovolně (Romer et Roces, 2014). U *Atta capiguara* v 6 až 18 měsíců je struktura hnízda vertikální. Po 18 měsících se hnízdo rozšiřuje do stran s přidáváním tunelů, komůrek a s první odpadní komůrkou. Mezi 18. a 54. měsícem se houbové komůrky zvětšují ze 2 na 30 a nacházejí se v půdě o hloubce 3 m, tak i na povrchu. Postupně se zvětšuje i počet odpadních komůrek (Farias et al., 2020).

1.3.4 Zpracování potravy

Při řezání úlomků listů jsou potřeba velmi silné čelisti (*maxilly*). U rodu *Atta* bylo zjištěno, že čelistní svaly obsahují více než 50 procent hmotnosti hlavového pouzdra nebo více než 25 procent celkové tělesné hmotnosti (Roces et Lighten, 1995). Každá z obou čelistí má odlišnou funkci. Jedna se aktivně pohybuje, zatímco druhá je skoro nepohyblivá (řezací čelist). Do listové tkáně se špičkou upevní otevřená pohyblivá čelist a nepohyblivá se vůbec neotevírá. Řezací čelist je během otevírání pohyblivé čelisti tlačena bočními pohyby hlavy proti listu, tím se pohyblivá čelist uzavře a řezací čelist se stále přitahuje k listu. Uzavřená čelist se stále pohybuje hluboko do povrchu listu, dokud se obě čelisti nesetkají, potom se celý proces znovu opakuje (Wirth et al., 2003). Směr řezání listu je ovlivňován kontaktem nohy s okrajem listu a bočního ohybu hlavy (Romer et al., 2023). Podle tloušťky řezané oblasti listu se mění řezací strategie, pokud musí řezat přes žilnatinu nebo silnější oblast, zmenší tak poloměr řezu (Van Breda et Strandling, 1994). Předpokládá se, že je pro ně obtížné odřezávat velké kusy z trojrozměrných objektů jako je ovoce, ve srovnání s dvojrozměrnými objekty, jako jsou listy (Evison et Raznieks, 2007).

Dělnice při řezání úlomku listu stridulují, aby přilákaly další mravence k danému místu či si mechanicky usnadnily řez listem (Roces et Holldobler, 1996). Vibrace vytvořené stridulačním orgánem, umístěným na zaoblené části zadečku, se šíří z těla dělnice na povrch rostliny a předá signál ostatním mravencům v okolí 15 cm (Tautz et Roces, 1995; Žďárek, 2013; Schieb, 2021). Mravenci mnohem více reagují na verbovací feromony a jejich účinnost se zvyšuje spolu s vibračním signálem (Wirth et al., 2003). Stridulace probíhá současně s pohyby čelisti, čímž vzniká celková vibrace čelistí. Pokud se jedná o jemný list, vibrace jsou mnohem menší a umožňují hladší řez (Tautz et Roces, 1995). Čím výživnější a chutnější hodnotu má list, tím vyšší je stridulační činnost (Roces et Holldobler, 1996). Dělnice sbírají menší náklad, než je

vyžadováno, aby optimalizovali činnosti jeho zpracování a údržbu v hníždě (Burd et Howard, 2005).



Obrázek 1.2: Stavba těla mravence (World Of Ant - WordPress.com, 2013)

1.4 Ekologie

Mravenci rodu *Atta* patří mezi významné klíčové druhy v ekosystému, kde v lesních a travinných porostech při vyhrabávání hnízd převracejí půdu. Tím půdu provzdušňují a ovlivňují dostupnost zdrojů stanoviště pro ostatní druhy. Vytvářejí různé povrchové reliéfy, které jsou snadno erodovány a přepracovány podél svahů odtokem. V povrchové vrstvě dochází v důsledku hrabání k třídění půdy a vývoji biogenních mikroagregátů, zvyšující pórovitost půdy, mající význam na zadržování vody (Swanson et al., 2019; Nascimento, 2023). Dále smíchávají relativně chudou půdu z hlubších vrstev s horními vrstvami bohatými na organické látky, čímž zvyšují heterogenitu uhlíku a živin v půdě hnízda (Swanson et al., 2019). Mravenci také pozitivně působí na šíření a koncentraci kritických makroživin v půdě. V tropických lesích a savanách je vápník limitující makroživina. V blízkosti hnízda mají listová pletiva vyšší koncentraci vápníku než pletiva vzdálených stromů (Sternberg et al., 2007). Důležitou složkou celkového toku energie v ekosystémech je tok energie mezi koloniemi mravenců. Je ovlivněn teplotou, tělesnou hmotností, dostupností potravy, velikostí skupiny a metabolismem jednotlivých jedinců (Lighton, 1989).

Na druhou stranu několik významných druhů jako je *Atta sexdens* a *Atta cephalotes* představují významné hospodářské škůdce, poškozující obilí v hodnotě několik

miliard dolarů ve Střední a Jižní Americe (Holldobler et Wilson, 1997). Pro jejich regulaci je potřeba znalost interakce s přirozenými nepřáteli a také nevyužívání nadměrného množství insekticidů (Della Lucia, 2014; Elizalde, 2019). Proto byla vyvinuta opatření ke snížení používání insekticidů, která jsou založena na monitorování mravenčích hnízd, na potřebě a načasování kontrolních metod (chemická, biologická, mechanická a kultivační) (Zanetti et al., 2014).

1.4.1 Symbióza s houbou

Všichni mravenci stříhači, až na jednu výjimku, žijí v obligátní symbióze s houbou *Leucoagaricus gongylophorus*, kterou pěstují ve svém hnízdě. Jsou dokonce schopni rozeznat svou vlastní symbiotickou houbu a chránit ji před konkurencí z jiných kolonií. Naočkují houbovou zahrádku svými výkaly, a tím omezují kolonii v pěstování jiného symbionta, protože interakce mezi konkurenčními symbionty poškozuje houbu a také snižuje růst a produktivitu celé kolonie (Holldobler et Wilson, 2010). Houbová zahrádka se udržuje přednostně zelenými listy v kombinaci s dalšími rostlinnými pletivy (Camargo et al., 2015). Mravenci mohou mít určité preference pro jednotlivé substráty, buď jen na jednoděložné nebo dvouděložné rostliny, ale většina druhů je schopna využívat široké spektrum organického materiálu (Solomon, 2007). Celkový výběr listového materiálu závisí nejen na fyzikálních faktorech, ale i na přítomnosti sekundárních sloučenin, které jsou toxické pro mravence nebo symbiotickou houbu (Bueno et al., 2019). Pokud listy obsahují nežádoucí sloučeniny, dělnice ukončí jejich sběr. Reakce na tyto látky mohou být okamžité nebo trvat několik hodin (Wirth et al., 2003). Při zavlečení nežádoucího toxického materiálu houba informuje mravence pomocí chemických látek (Green et Kooij, 2018). Kolonie je schopná odmítat tento materiál několik dní či dokonce týdnů (Wirth et al., 2003). Houboví symbionti přeměňují čerstvý rostlinný materiál bohatý na živiny a vytvářejí z něj hyfové hlízky, kterými se mravenci živí (Swanson et al., 2019). Zjistilo se, že v houbové zahrádce je mnohem větší koncentrace glukózy, než v listech nebo houbovém myceliu a s největší pravděpodobností tato glukóza pokrývá až 50 % potravy dělnic (Silva et al., 2003).

1.4.2 Predátoři a parazité

Mladé kolonie *Atta* mají přirozené nepřátele, na rozdíl od dospělých kolonií, žijících v rozsáhlých hnízdech s miliony dělnic. Podzemní mravenci *Nomamyrmex esenbeckii* pocházející z Nového světa jsou specializovaný na lov mladé kolonie. Ale v současné době je dokázáno, že se jedná o jediné známé predátory schopného lovit a zabít

i dospělé kolonie. Během napadení jsou mravenci rodu *Atta* a *Acromyrmex* schopný produkovat ze svých mandibulárních žláz feromon, kterým varují ostatní jedince z hnízda. Poprvé byl tento feromon objeven u *Atta sexdens* (Powell et Clark, 2004; Francelino et al., 2006; Holldobler et Wilson, 2010). Při nárazových útocích mravenci *Atta* okamžitě rekrutují své největší dělnice (vojáky) jako obrannou reakci proti útočníkům. Oba druhy využívají své největší jedince v první linii bitev a spolupracují, aby přemohly většího soupeře. Rychlost a velikost kolonie *Atta* je rozhodující k určení úspěšnosti proti útokům *Nomamyrmex esenbeckii* (Powell et Clark, 2004).

V přirozeném prostředí jsou parazitické mouchy z čeledi Phoridae přirozenými nepřáteli mravenců střihačů (Galvao et al., 2019). Uvádí se, že 30 druhů much v rámci 8 rodů je vázaných na mravence *Acromyrmex*, zatímco na *Atta* 39 druhů v 5 rodech. U rodu *Apocephalus* bylo zaznamenáno 8 druhů, které napadají mravence rodu *Atta*, a 6 dalších druhů, které využívají jako hostitele mravence rodu *Acromyrmex* (Folgarait, 2013). Nejčastěji se jedná o *Apocephalus attophilus* a *Apocephalus vicosae* (Feener et Moss, 1990; Galvao et al., 2019). *Eibesfeldtphora* se primárně specializuje na rod *Atta*. Je známo, že 9 z 10 druhů parazituje na tomto rodě. Především se jedná o *Eibesfeldtphora bragancai* a *Eibesfeldtphora tonhascai* (Folgarait, 2013; Galvao et al., 2019). U *Myrmosicarius* existuje 6 druhů napadajících *Acromyrmex*, ale jen 3 druhy u *Atta*. (Folgarait, 2013). Tyto parazitické mouchy napadají především dělnice při transportu listů na potravních stezkách nebo při stříhání úlomků listů. U rodu *Acromyrmex* mouchy napadají jak mravence na potravních stezkách, tak i dělnice opravující hnízda a zbavující se odpadu. Využívají strategii aktivního vyhledávání nebo přepadení. Samičky svá vajíčka nakladou na různé části těla mravenců, např. čelisti, hlavy, hrudníku, nohou a řitního otvoru. (Folgarait, 2013). *Myrmosicarius grandicornis* se nejdříve zakuklí v hlavových pouzdrech hostitele. Svůj vývoj dokončují uvnitř hnízda mravenců, dospělci se vynoří z ústní dutiny hostitele (Tonhasca Jr et al., 2001). Samičky rodu *Apocephalus* využívají strategii přepadení, přistávají na listech, které nesou mravenci a svá vajíčka jim nakladou v blízkosti čelisti. U *Neodohniphora* není příliš známá strategie, ale pravděpodobně využívají moment překvapení (Folgarait, 2013).

Samotnou mravenčí houbovou zahrádku ohrožují specializované mikroskopické houby rodu *Escovopsis*, vázání výhradně na mravence Attini. Přenáší se mezi koloniemi z infikovaného hnízda na hnízda zdravá (Moreira et al., 2015). Bylo zjištěno, že symbiotická houba rodu *Pseudonocardia* produkuje antibiotika, která

působí v obraně proti parazitickým houbám *Escovopsis*. *Pseudonocardia* se nacházejí na kutikule, mravenců jejíž rozmístění závisí na stáří. Jejich přítomnost naznačuje dávný koevoluční vztah mezi bakteriemi, mravenci, houbou a *Escovopsis* (Samuels et al., 2013). V případě napadení dělnice odstraňují spory z pěstované houby a následně tyto spory uloží do své infrabukální kapsy. Během toho používají svá kusadla k uvolnění a odstranění velkých, silně infikovaných kusů houbové zahrádky. Veškerého odpadu se zbavují mimo hnízdo (Abramowsky et al., 2011).

1.5 Chov v zajetí

Většina chovatelů mravenců dává přednost založení vlastní kolonie z jedné mravenčí královny, kterou jde zakoupit ve specializovaných obchodech zaměřující se na chov mravenců. V USA platí, že přeprava živých mravenčích matek přes hranice států je nezákonná. Proto se poskytují pouze dělnice, tím se zabrání zavlečení nepůvodních druhů a nedochází k zakládání nových kolonií, které mohou poškodit zemědělství či dokonce mít fatální následek na ekosystém (Hayes, 2018).

Výzkumníci pro svoje vědecké studie využívají různé organizace, chovající mravence nebo provádějí vlastní sběr. Sběr probíhá v období páření (při snubním letu) nebo půl roku po snubním letu, kdy už je založená houbová zahrádka a z hnízda vylézají první dělnice shánějící potravu (Nogueira et al., 2022).

1.5.1 Ubikace

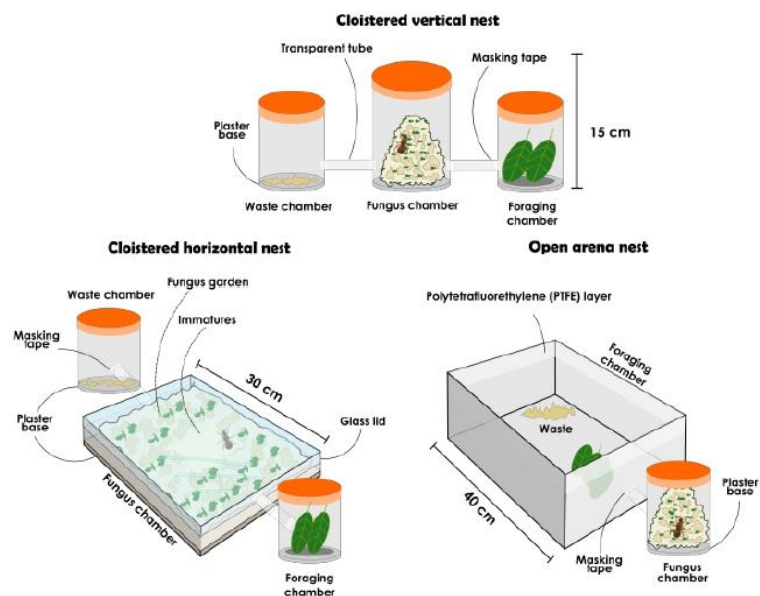
V případě jedné královny bez dělnic je nejvhodnější pro začátek zvolit zkumavku o velikosti 15 cm s průměrem 2,2 cm. To stimuluje hnízdní komůrku a královna zde nemá problém prospívat. Před jejím přemístěním je vhodné si umýt ruce a použít gumové rukavice, aby nedošlo k nežádoucímu šíření bakterií (Holldobler et Wilson, 1997; Hayes, 2018; Nogueira et al., 2022). Na dno se musí rychle umístit navlhčený chomáč vaty, protože tak nedojde k vzniku vzduchové bubliny. V tomto případě není nutné podávat vodu. Dále se ponechá cca 10 centimetrů dlouhý úsek, který se obalí hliníkovou folií. Hliníková folie je určena k ztemnění vnitřního prostoru a tím pobízí královnu, aby vešla dovnitř. V případě potřeby pozorování je možné ji časem odstranit. K udržení relativní vzdušné vlhkosti je vhodné zkumavku umístit do plastového boxu. Mravenčí královna zde zůstane několik týdnů či měsíců, dokud se nezačne objevovat počáteční skupina dělnic. Většina chovatelů čeká, až královna bude mít 10-20 dělnic, či bude zkumavka zcela zaplněná mravenci, teprve potom přemístí kolonii ze zkumavky (Holldobler et Wilson, 1997; Hayes, 2018).



Obrázek 1.3: Chov ve zkumavce (6legs2many - WordPress.com, 2013)

Větší kolonie mravenců se mohou chovat v plastových boxech např. o rozměrech 65x45x25 cm, velikost závisí na početnosti kolonie (Constantino, 2021). Takovéto chovy mohou sloužit pro výzkumné účely, zaměřující se na chování mravenců nebo enviromentální výchovu. Uvnitř boxu je k dispozici květináč, sloužící na odkládání odpadu spolu s houbovou zahrádkou, umístěnou v plastovém válci (24x25 cm), která je opatřena víkem s 2 otvory. Dřevěný můstek či trubka o délce 1,5 m spojuje kolonii s krmným a odpadním prostorem (Waddington et Hughes, 2010; Constantino, 2021). Mravenci se nechovají na substrátu kvůli zamezení šíření plísní (Dussutour et Simpson, 2009; Fourmiculture, 2024). Rovněž je možné pěstovat houbovou zahrádku v menším plastovém boxu (30 x 46 x 28 cm), spojenou průhlednou hadicí nebo trubicí o průměru 2 cm s větším plastovým boxem, sloužící jako potravní a odkladní prostor (Nogueira et al., 2022; Muratore et al., 2023).

Další možností je uspořádání plastových boxů nebo plastových válců do tří oddělených částí, které budou sloužit jako prostor pro pěstování houby, odpadní prostor a potravní prostor (Nogueira et al., 2022). První dva boxy (19x8,5x8,5 cm) jsou uzavřeny těsným víkem a jejich dno je pokryto keramzitovým substrátem nebo rašelinou k zachování vysoké vlhkosti a zabránění vysychání houby (Arenas et Rocés, 2016). Mezi chovateli je velmi oblíbený písek, ale ten neudrží tolik vzdušnou vlhkost (Hayes, 2018). Box na krmení o stejné velikosti je otevřený nebo také může být opatřen víkem. Jednotlivé prostory jsou propojeny pomocí průhledné PVC trubky, které jsou 15 cm dlouhé s průměrem 1,27 cm (Arenas et Rocés, 2016).



Obrázek 1.4: Názorné ukázky dvou typů ubikací (Nogueira et al., 2022)

Je možné mravence chovat i ve vertikálních hnízdech. Plastový box odpovídající velikosti kolonie se použije jako forma, do kterého se vylije 2 cm vysoká sádra. Do zatuhnuté sádry se vyryje 10-20 komůrek o šířce 2x3 cm a hloubce 1 cm. Všechny komůrky budou spojené chodbičkami (5x5mm) a přikryté velikostně odpovídající skleněnou deskou pomocí kovových svorek. Vedle hnízda je umístěn potravní prostor a je spojen s nejbližšími komůrkami 2-4 skleněnými trubicemi. Podobný chovný prostor jde zakoupit hotový ve specializovaných obchodech nebo si nechat vymodelovat na zakázku (Holldobler et Wilson, 1997).



Obrázek 1.5: Vertikální formikárium (Cults 3D, 2024)

V případě otevřeného boxu mohou mravenci velmi snadno uniknout, proto se často používají různé techniky k zamezení úniku. Dětský pudr není špatnou volbou, ale bohužel má spoustu nevýhod, například při velkém nánosu se kousky mohou dostat na mravence a způsobit jejich úhyn. Mnohem vhodnější alternativou je olej, kdy se rozetře 1 cm tlustá vrstva. Olej je spíše vhodný pro větší jedince, protože menší v něm mohou uváznout a zahynout, proto se využívá vazelína s vrstvou 2 cm. Při použití fluonu je důležitá správně větraná místnost, jelikož po aplikaci a vyschnutí vylučuje smrtelné výpary. Lze také použít víko s větráním (Hayes, 2018).

1.5.2 Mikroklima

Samotný chov stříhačů je velmi náročný, proto se jim věnují jen zoologické zahrady a malá skupina chovatelů. Pokud chovatel chce, aby kolonie prosperovala, je nutné dodržovat správnou teplotu a relativní vzdušnou vlhkost. Teplota by měla být okolo 23-26 °C. V hnízdech mravenišť v přirozených podmínkách se mění jen o 1 °C, proto by nemělo docházet k prudkým výkyvům. V případě přesáhnutí 30 °C může dojít poškození uložených spermií v královně nebo královna přestane zcela klást vajíčka. Pro kontrolu teploty je vhodné mít teploměr se sondou umístěný v hnízdě (leafcuttingants.com, 2024). Pokud není hnízdo správně vyhříváno, mohou se použít elektrické podložky nebo lampy. V případě lampy se musí dávat pozor, aby prostor hnízda zůstal stále tmavý, pomocí černého papíru nebo platu (Hayes, 2018).

Vlhkost hnízda je důležitá pro zdraví celé kolonie. V přirozeném prostředí je velmi vysoká kvůli častým padajícím srážkám (leafcuttingants.com, 2024). V ideální situaci by se měla blížit ke 100 %. V chovech se většinou udržuje

v rozmezí 60- 80 % (Evison et Hughes, 2011; Puffel et al, 2021). Stupeň vlhkosti v hnízdě lze ovlivnit substrátem, potravou, napáječkami, vatovými tampony, vodními komůrkami zvlhčovači vzduchu a udržování správné teploty vzduchu. Při příliš vysokých hodnotách způsobuje rozvoj plísní, s tím souvisí údržba chovného prostoru (Hayes, 2018). Každý dva týdny se odstraňuje vyprodukovaný odpad spolu se zbývajícím suchým rostlinným materiálem. Příliš velké množství odpadu se odstraňuje jednou za týden (Nogueira et al., 2022). Při nízké vlhkosti krmivo rychleji vysychá, což má za následek, že mravenci mají nedostatek potravy a trpí dehydratací. Nemají tolik energie k vykonávání práce, a především to má negativní důsledek na houbu, která začne hynout (Hayes, 2018; leafcuttingants.com, 2024). Pokud taková situace nastane, je dobré poskytovat mravencům denně potravu, ze které vlhkost získají. Pokud houba bude stále suchá, listy nabízené potravy se předem navlhčí. (Nogueira et al., 2022). Vhodný světelný režim je 12 hodin světla a 12 hodin tmy (Puffel et al., 2021).

1.5.3 Potrava

Při chovu ve zkumavce je dobré umístit potravu na malý kus alobalu, který pomáhá zkumavku udržovat čistou. Pomaličku se vloží do zkumavky a po snědení krmiva se vyndá (Hayes, 2018). Důležitou složkou stravy jsou cukry (sacharidy), sloužící jako zdroj energie pro dělnice a bílkoviny (aminokyseliny), potřebné pro produkci vajíček královnou a růst larev (Dussutour et Simpson, 2009). Mezi tyto zdroje patří cukrová či medová voda (roztok), ovoce, náhražka medovice a vajíčko (Hayes, 2018). Příprava cukrové vody je velmi snadná. Do odměrky se naleje po okraj destilovaná nebo balená voda a smíchá se s 3 lžícemi cukru. Takto se nachystá i medová voda (USDA NIFA, 2024).

Voda by měla být pro mravence k dispozici ad libitum. Většinou ji mravenci získávají z potravy jako jsou listy, ovoce a cukrová voda. I přesto by měla být součástí ubikace napáječka s vodou. Miska s vodou se nedoporučuje, protože může dojít k utonutí mravence. Vyhovující alternativou je zkumavka naplněná vodou, její konec je utěsněn vatou, ze které mravenci budou pít (Hayes, 2018).

Hlavní složkou potravy rodu *Atta* a *Acromyrmex* tvoří vegetace například morušovník černý (*Morus nigra*), ostružník (*Rubus*), mangovník indický (*Mangifera indica*), blahovičnick (*Eucalyptus* sp.), hřebíčkovec šabrejový (*Syzygium cumini*), *Acalypha* sp., ibišek (*Hibiscus* sp.) a ptačí zob lesklý (*Ligustrum lucidum*) (Puffel et al, 2023; Nogueira et al, 2022). Dále listy rododendronu, růže, šeríku, dubu, javoru, vrby a buku. Pro zpestření baby špenát, římský listový salát, rukola a mango. Mohou

se jim také podávat ovesné a kukuřičné vločky, ale pozor, aby nedošlo k vysušení houby, proto by se měly střídát s vlhkými listy (Nogueira et al., 2022; Muratore et al., 2023). Před samotným podáváním se zkontroluje čerstvost potravy a zdali nejsou ošetřeny insekticidy nebo jinými chemickými přípravky. Velikost nabízeného krmiva by měla být alespoň 7 cm. Četnost a množství krmení závisí na velikosti a rychlosti jakou mravenci dokážou pracovat. U mladé začínající kolonie postačí frekvence krmení 3x týdně. Dospělé kolonie se krmí 2 - 3x denně (Nogueira et al., 2022).

2 Metodika

Vzorky pro tuto bakalářskou práci byly odebírány v Jihočeské zoologické zahradě Hluboká nad Vltavou. Tato Zoo má od roku 2017 velkou expozici „Mravenčí hnízdo“ s různými druhy mravenců (Zoo Hluboká, 2024). Zpracování vzorků, zahrnující vážení, počítání, a především měření pod binokulární lupou probíhalo na Katedře biologických disciplín, na Fakultě zemědělské a technologické.

Sběr vzorků mravenců *Atta sexdens* probíhal ve dvoutýdenním intervalu s odstupem šesti týdnů. Celkově bylo tedy v průběhu jednoho roku (listopad 2022–listopad 2023) provedeno sedm odběrů v termínech 14.12.2022, 8.2.2023, 5.4.2023, 31.5.2023, 26.7.2023, 20.9.2023, 15.11.2023. Během této doby si mravenci v expozici tvořili několik hromádek s uhynulými jedinci. Hromádky se vždy vyfotografovaly a zakreslilo se jejich umístění v expozici. Označovaly se pod pojmy hrobeček 1 (dál hnízda) a hrobeček 2 (blíže hnízda) (Obrázek 2.1).



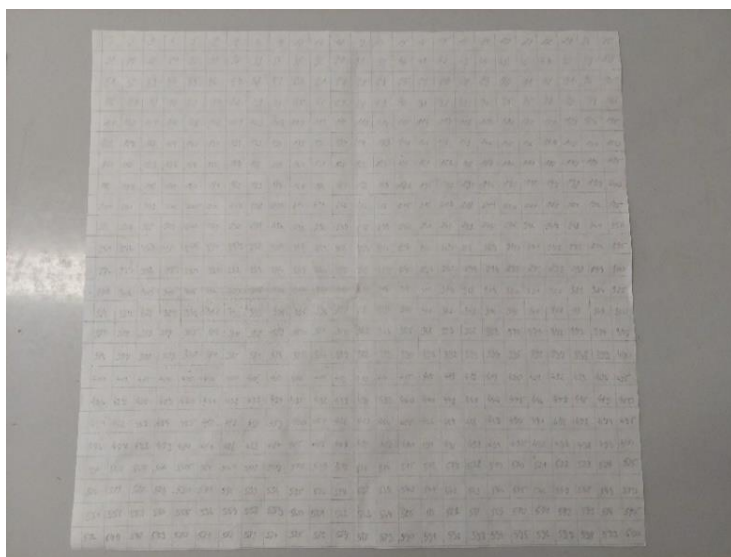
Obrázek 2.1: Expozice s mravenci s označením hrobečku 1 a hrobečku 2

Vlastní sběr uhynulých jedinců prováděl většinou přímo chovatel mravenců (Pavel Kössl) nebo já, a to smetením pomocí malířského štětce do předem označených plastových krabiček s víčkem (o objemu 500 ml) a dočištění ručním vysavačem (Sencor SVC 190R). Jelikož se mezi uhynulými jedinci nacházeli i jedinci živí, museli

se odstranit. Vyndávali se pomocí entomologické pinzety a vrátili se zpět do expozice nebo po příjezdu do laboratoře se usmrtili ponořením do 99% ethanolu.

Po dobu 8 týdnů bylo nutné zaznamenávat teplotu a vlhkost celé expozice pomocí dvou dataloggerů. Sběr dat z těchto přístrojů začal od třetího odběru a umístily se o prostoru, kam měli přístup jen zaměstnanci. Po odstranění nečistot se všechny hromádky vysušily v sušárně Memmert (typ:UFB 400) po dobu 2 hodin při teplotě 80°C. Po vysušení byla na základě hmotnosti celé hromádky a hmotnosti padesáti jedinců odhadována početnost jedinců v jednotlivých hromádkách. Hmotnost byla zjišťována na analytických vahách značky Sartorius (MC1 Analytic AC 210 S).

Mravenci z jedné hromádky byli vždy rovnoměrně rozprostřeni na papírovou čtvercovou mřížku o velikosti 48 × 50 cm s velikostí čtverců 2 × 2 cm (Obrázek 2.2). Následně bylo pro každou hromádku mravenců pomocí náhodného generátoru čísel bez opakování, pomocí příkazu `sample(1:600, 600, replace=FALSE)` v programu R (R version 4.2.2 (2022-10-31 ucrt)) vygenerováno 600 náhodných čísel čtverců. Mravenci byli měřeni v těchto náhodně vygenerovaných čtvercích postupně až do dosažení 500 jedinců v každé hromádce.



Obrázek 2.2: Papírová čtvercová mřížka

Náhodně vygenerované vzorky se poté ukládaly do eppendorf tubes o objemu 1,5 ml a 0,5 ml. Pro měření velikosti byla zvolena nejtvrdší, a tudíž nejméně porušená část těla a to hlava, proto se oddělila od těla pinzetou. Hlava se umístila na podložní sklíčko a měřila se její šířka v nejširší oblasti programem QuickPHOTO CAMERA 3,2 (Obrázek 2.3). K mikroskopování se využíval binokulární mikroskop Olympus model SZX 7 při zvětšení 10x 0,5x až 5,6x. Vzorky byly vloženy zpět do

eppendorf tubes pro následnou archivaci. Naměřené hodnoty se exportovaly do Microsoft Excelu, které byly rozděleny do několika souborů, z nichž byly vytvořené grafy. Normalita dat byla testována Shapiro-Wilkovým testem. Kvůli nenormálnímu rozdělení dat šířek hlav mravenců se použil Kruskal–Wallisův test. Pro porovnání mortality mravenců v jednotlivých hrobečkách byl použit párových t-test. Všechny statistické analýzy byly provedeny v programu Statistika 12.0.

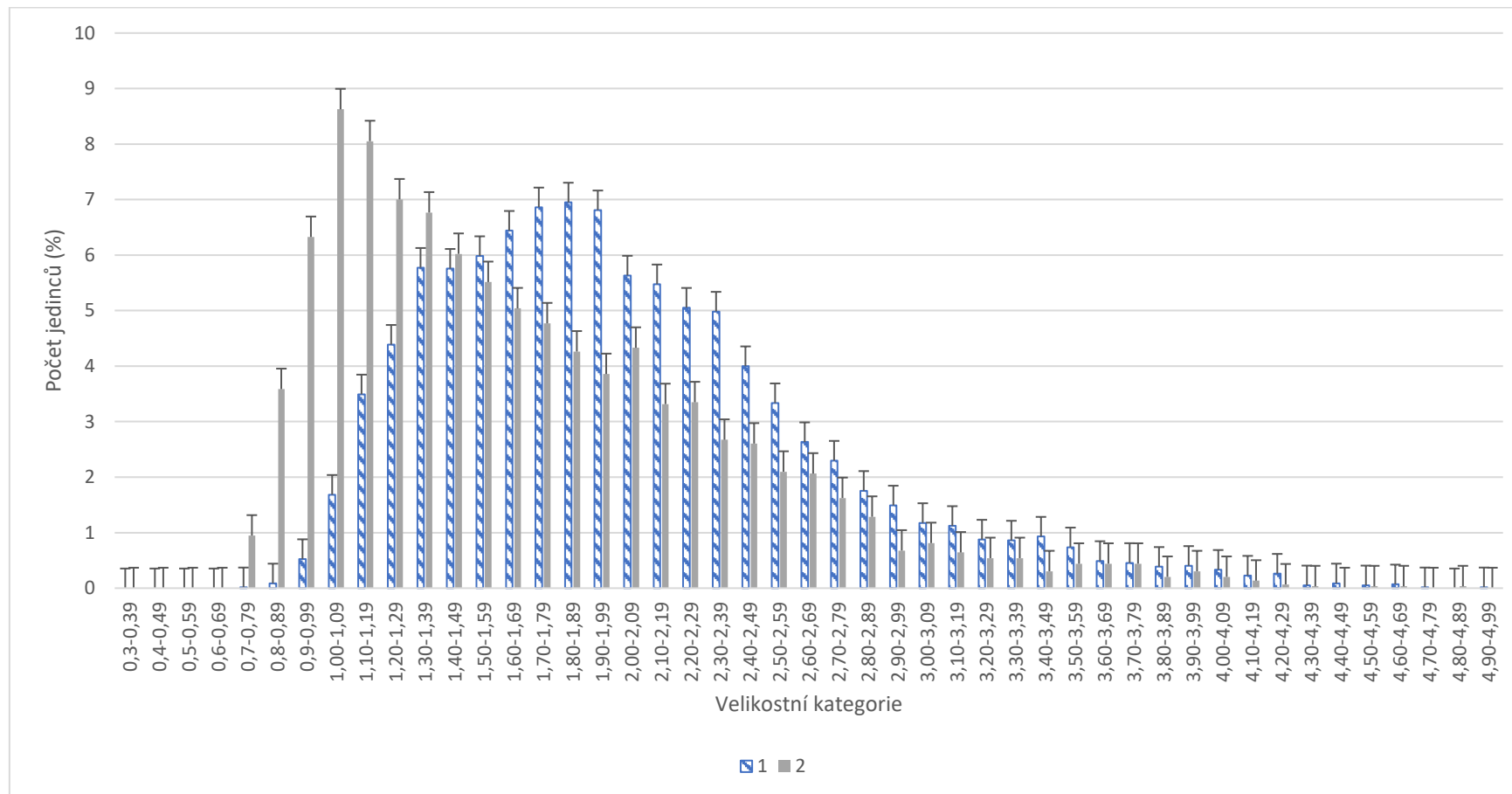


Obrázek 2.3: Hlava mravence *Atta sexdens* zblízka

3 Výsledky

3.1 Relativní početnost velikostních kategorií ve všech odběrech

Velikostní kategorie šířky hlavy mezi hrobečkem 1 a hrobečkem 2 se lišily. V hrobečku 1 převažovali jedinci s šířkou hlavy od 1,50-1,59 mm do 2,30-2,39 mm (1,93 mm; 1,55-2,37 mm). Oproti tomu v hrobečku 2 bylo nejvíce jedinců s šířkou hlavy od 0,90-0,99 mm do 1,20-1,29 mm (1,54 mm; 1,16-2,09 mm) (medián; dolní – horní kvartil) (Graf 3.1). V příloze 1-7 se nacházejí histogramy zobrazující relativní početnost velikostních kategorií mravenců v jednotlivých odběrech.



Graf 3.1: Histogram průměrné šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* a její variability (+S.D.) v jednotlivých hrobečkách

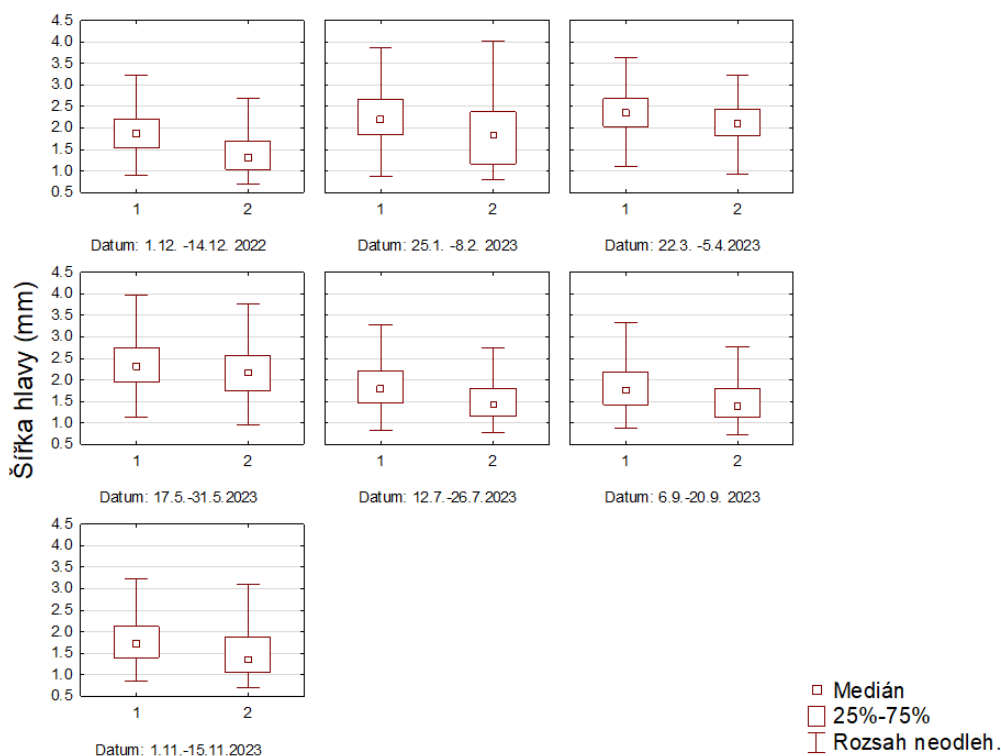
3.2 Rozdíly šířky hlavy mravenců mezi hrobečky v jednotlivých odběrech

Šířka hlavy se mezi hrobečky statisticky průkazně lišila (viz výsledky Kruskal-Wallisova testu v Tabulce 3.1), a to ve všech odběrech.

Tabulka 3.1: Rozdíl šířky hlavy (mm) v jednotlivých odběrech vyhodnocené Kruskal-Wallisova testem

Datum	Kruskalův-Wallisův test
1.12. - 14.12. 2022	$H(1, N = 1546) = 316,8, p < 0,001$
25.1. - 8.2. 2023	$H(1, N = 863) = 62,9, p < 0,001$
22.3. - 5.4. 2023	$H(1, N = 657) = 10,4, p < 0,001$
17.5. - 31.5. 2023	$H(1, N = 1018) = 23,8, p < 0,001$
12.7. - 26.7. 2023	$H(1, N = 1528) = 139,9, p < 0,001$
6.9. - 20.9. 2023	$H(1, N = 1524) = 140,6, p < 0,001$
1.11. - 15.11. 2023	$H(1, N = 1522) = 110,7, p < 0,001$

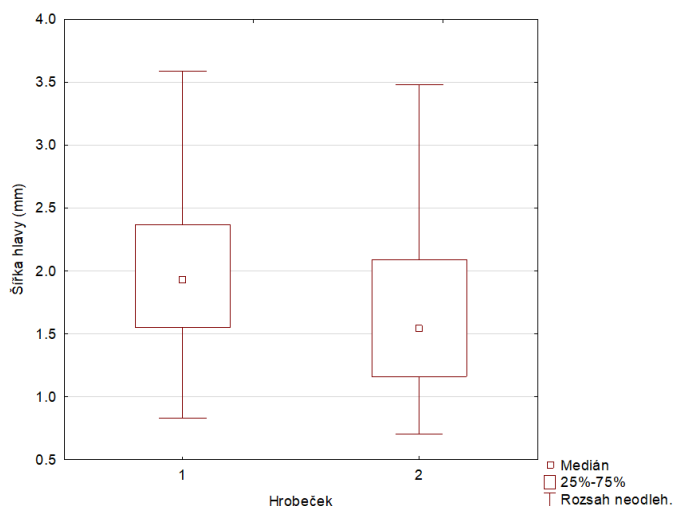
V uvedeném krabicovém Grafu 3.2 jsou znázorněny různé datумы odběrů a k nim spjaté šířky hlavy ve dvou zkoumaných hrobečkách. Jedinci pocházejících z hrobečku 1 měli ve všech odběrech větší šířku hlavy než jedinci z hrobečku 2.



Graf 3.2: Šířky hlavy (mm) v hrobečku 1 a hrobečku 2 v jednotlivých odběrech

3.3 Rozdíly šířky hlavy mravenců mezi hrobočky ve všech odběrech

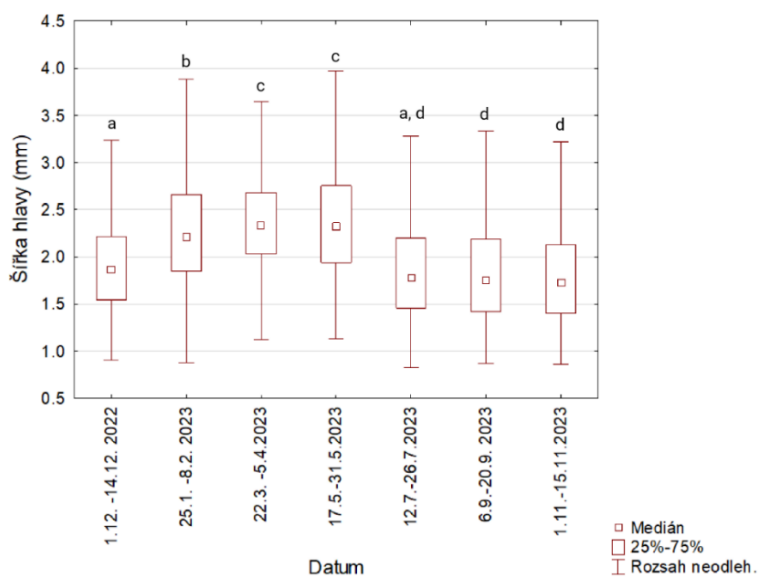
Šířka hlavy mravenců pocházejících z hrobočku 1 a hrobočku 2 se statisticky průkazně lišila v průběhu všech odběrů. V hrobočku 1 se vyskytovali jedinci s větší šířkou hlavy, než v hrobočku 2, kde byl výskyt jedinců s menší šířkou hlavy (Graf 3.3).



Graf 3.3: Šířka hlavy (mm) v hrobočku 1 a hrobočku 2

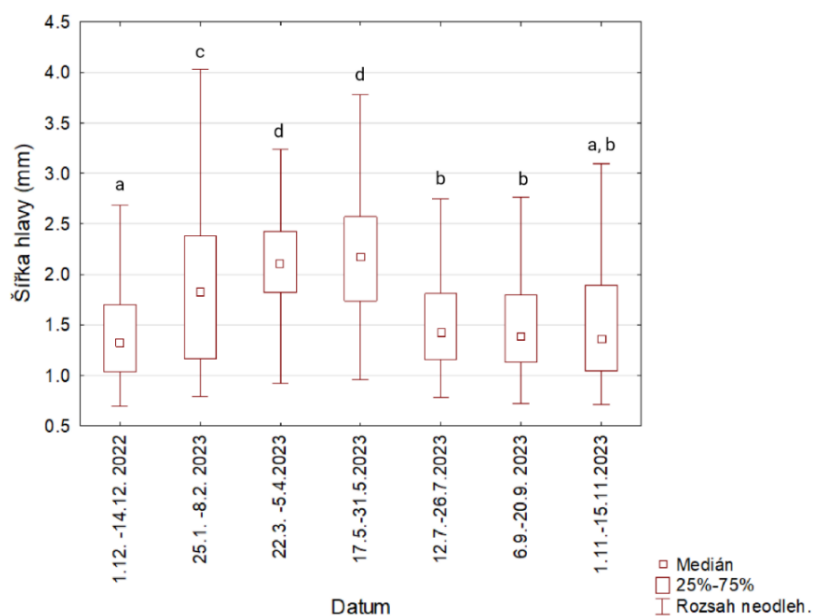
3.4 Rozdíly šířky hlavy mravenců mezi odběry v jednotlivých hrobočkách

Šířka hlavy mravenců pocházejících z hrobočku 1 se statisticky průkazně lišila mezi jednotlivými odběry ($H(6, N = 5703) = 751,73; p < 0,001$). Ve druhém 25.1.-8.2.2023, třetím 22.3.-5.4.2023 a čtvrtém odběru 17.5.-31.5.2023 měli mravenci v hrobočku 2 statisticky širší hlavy než v předešlých odběrech (Graf 3.4).



Graf 3.4: Porovnání šířky hlavy (mm) v hrobočku 1 v jednotlivých odběrech

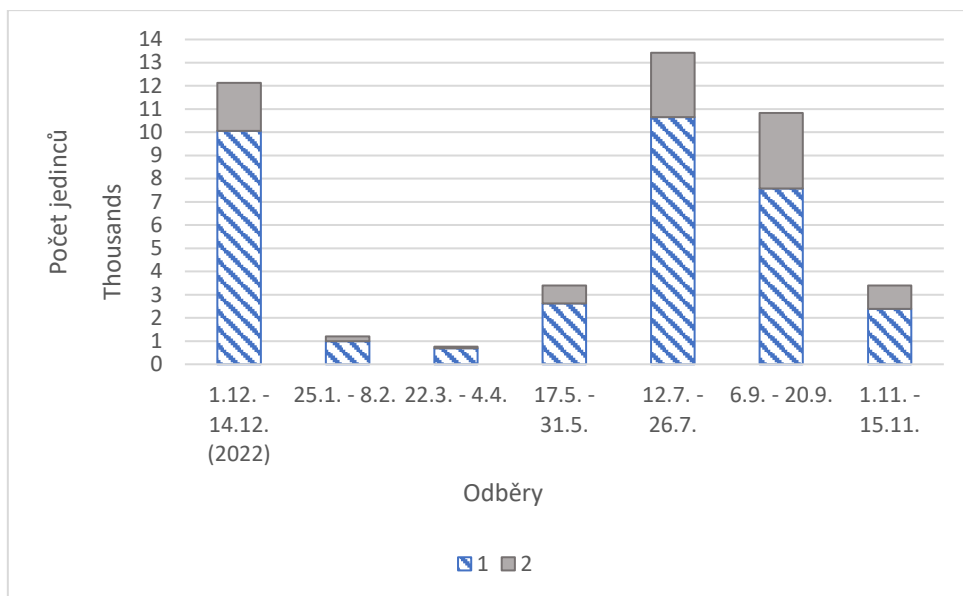
Šířka hlavy mravenců pocházejících z hrobečku 2 se statisticky průkazně lišila mezi jednotlivými odběry ($H(6, N = 2955) = 541.978, p < 0,001$). Ve druhém 25.1.- 8.2.2023, třetím 22.3.-5.4.2023 a čtvrtém odběru 17.5.-31.5.2023 měli mravenci v hrobečku 2 statisticky širší hlavy než v předešlých odběrech (Graf 3.5).



Graf 3.5: Porovnání šířky hlavy (mm) v hrobečku 2 v jednotlivých odběrech

3.5 Úmrtnost

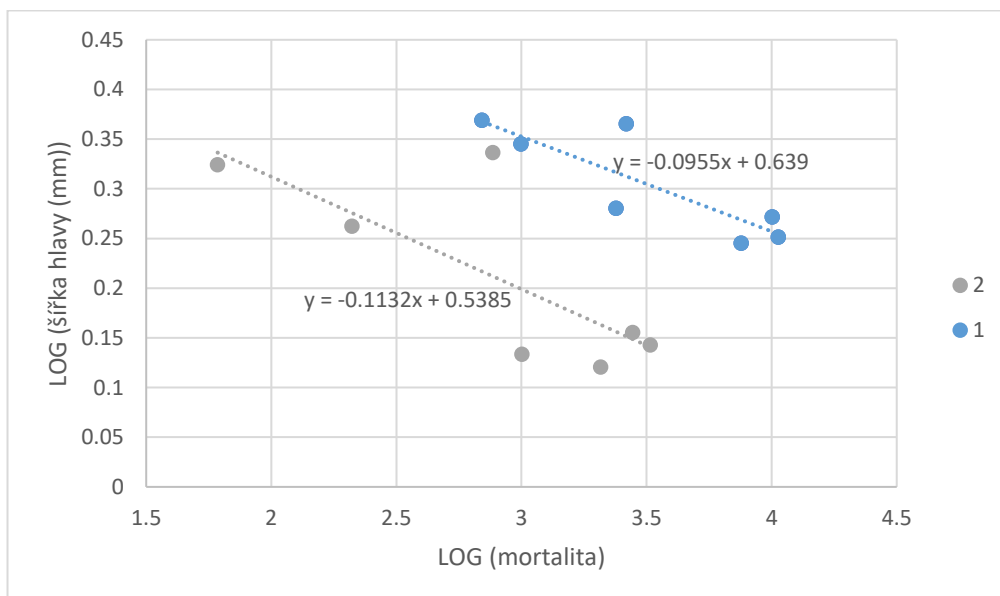
Mortalita v jednotlivých hrobečkách se statisticky průkazně lišila ($t_6 = 2,29, p = 0,027$). Průměrný počet uhynulých jedinců v hrobečku 1 (prostoru dál od hnízda) byl zhruba trojnásobný oproti počtu uhynulých jedinců v hrobečku 2 (hrobeček 1: 4998 ± 4303 versus hrobeček 2: 1453 ± 1265 (\pm S.D.)). Početnost mravenců v každém odběru se lišila v závislosti na okolních faktorech jako je teplota vzduchu či úbytek houbové zahrádky v období 25.1. do 31.5. 2023. Největší početnost byla v odběru 12.7.-26.7. 2023 s 13 432 mrtvými jedinci naopak nejmenší byla v odběru 22.3.-4.4. 2023 s 756 mrtvými jedinci (Graf 3.6).



Graf 3.6: Absolutní četnost mravenců v hrobečku 1 a 2 v jednotlivých odběrech

3.5.1 Vztah úmrtnosti a šířky hlavy

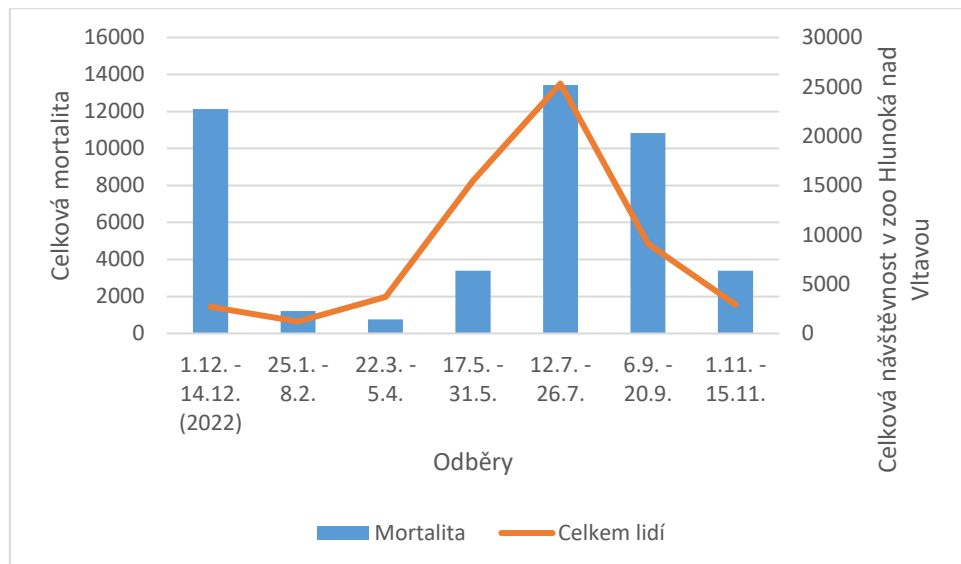
Se zvyšující se mortalitou mravenců rostl podíl jedinců s užší hlavou, a to v obou hrobečkách (Graf 3.7).



Graf 3.7: Vztah šířky hlavy (mm) a mortality všech naměřených mravenců dle hrobečku

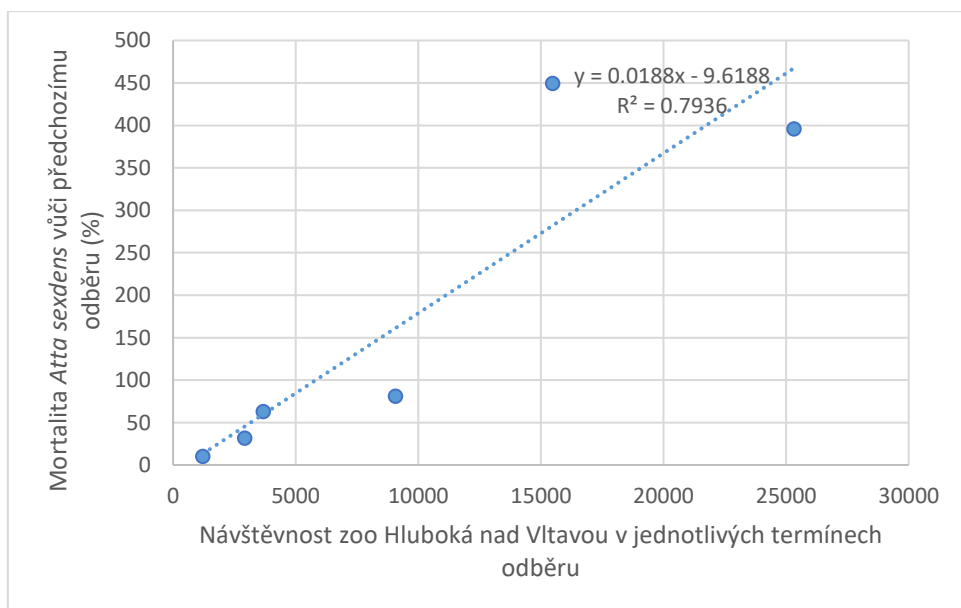
3.5.2 Vztah úmrtnosti a návštěvnosti Zoo Hluboká nad Vltavou

Graf 3.8 znázorňuje jak celkovou mortalitu mravenců, tak návštěvnost Zoo Hluboká nad Vltavou v jednotlivých odběrech. V prvním odběru 1.12.-14.12. 2022 byla návštěvnost nízká, zatímco úmrtnost mravenců byla vyšší. Největší mortalita mravenců, a i návštěvnosti byla pozorována v pátém odběru (12.7.-26.7. 2023).



Graf 3.8: Kombinovaný graf se dvěma osami celkové mortality mravenců s návštěvností lidí Zoo Hluboká nad Vltavou v jednotlivých odběrech

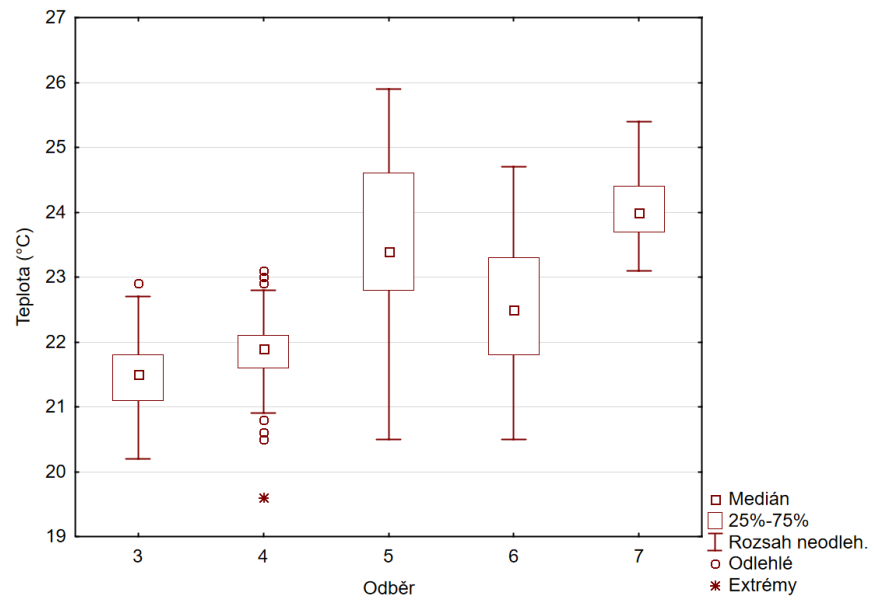
Graf 3.9 ukazuje poměrně úzký lineární vztah relativního počtu uhynulých jedinců *Atta sexdens* (vztaženého vždy k počtu jedinců uhynulých v předchozím odběru) a počtu návštěvníků Zoo Hluboká nad Vltavou.



Graf 3.9: Vztah celkové mortality mravenců vůči celkové mortalitě mravenců z předchozího odběru (%) návštěvnosti lidí v Zoo Hluboká nad Vltavou v jednotlivých odběrech

3.5.3 Teplota v expozici mravenců

Graf 3.10 znázorňuje, jak se teplota vzduchu v expozici mravenců měnila v průběhu posledních pěti (ze sedmi) 14denních odběrů. Nejnižší rozmezí teplot bylo ve třetím odběru 22.3.-5.4. 2023 (teplota v rozmezí 20,2-22,9 °C). Naopak nejvyšší bylo v pátém odběru 12.7.-6.7. 2023 (teplota v rozmezí 20,5-25,9 °C).



Graf 3.10: Teplota vzduchu (°C) v expozici mravenců v průběhu pěti posledních odběrů

4 Diskuse

Sociální hmyz v průběhu svého života ztrácí členy své kolonie. Pro udržení hygieny hnízda provádějí kooperativní péči o mrtvoly a projevují behaviorální a fyziologické reakce, podporující odolnost vůči chorobám a ochranu celé kolonie. Mezi různé strategie chování s nakládáním mrtvol patří jejich pohřbívání, kanibalismus, vyhýbání se jim či jejich odstraňování (Asokan et al., 2023). Mravenci používají odstraňování mrtvol (nekroforeza), kdy jsou vynášeny z hnízda a odhozeny na hromádky odpadu umístěné daleko od kolonie. Toto chování bylo pozorováno u mravenců *Pogonomyrmex badius* a *Solenopsis saevissima* (Wilson et al., 1958), *Myrmecia vindex* (Haskins et al., 1974), *Solenopsis invicta* (Howard et al., 1976), mravence argentinského (*Linepithema humile*) (Choe et al., 2009) a dalších. Naopak Moser et al. (1963) zjistili u *Atta texana* transport mrtvol do odpadních komůrek uvnitř hnízda. Z výsledků lze konstatovat, že mravenci *Atta sexdens* v chovech vytvářeli hromádky odpadu mimo hnízdo. Nicméně o existenci odpadních komůrek se dá jen spekulovat. Dle Farji-Brener et al. (2015) reakce umístění odpadu do vnitřních komor nebo na vnější hromádky závisí na daném biotopu a velikosti odpadu, proto se reakce mohou lišit i v rámci stejného druhu.

Dělba práce střihačů souvisí s variabilitou velikosti hlavy rozdělených do čtyř podkast (zahradnice, sběrači, generalisté a vojáci). Nejběžnější velikostní skupinou jsou sběrači s šířkou hlavy 2,0-2,2 mm, oproti tomu dělnice pracující v hnízdě mají mnohem menší šířku hlavy 0,8 mm (Wirth et al., 2003). Moffett (2010) ve své knize uvádí, že rozpětí šířky hlavy u malých dělnic pracujících v hnízdě se pohybuje v rozmezí 0,8-1,6 mm. Wilson (1980) zkoumal na *Atta sexdens*, jaká velikostní skupina se podílí na sběru vegetace. Došel k závěru, že mravenci se střední šířkou hlavy 1,8–2,8 mm sbírali potravu, kterou lépe řezali pomocí velkých silných kusadel, umožňující lepší řez a manipulaci s materiálem. Ze získaných výsledků vyplývá, že v hrobečku 1, prostoru dál od hnízda, kde byla umístěná potrava v podobě vegetace, umírali především jedinci mající větší šířku hlavy. To mohlo souviset s tím, že se zde shromažďovali jedinci s větší šířkou hlavy, tudíž s většími kusadly, kteří zde stříhali předpokládanou rostlinnou potravu. Zatímco v hrobečku 2, v prostoru nacházející se blíže hnízdu, byl větší počet jedinců s menší šířkou hlavy.

Brown et al. (2006) zjistili významný vztah mezi velikostí mravenců a jejich úmrtností. Výzkum probíhal na mravenci *Atta colombica*, který vykazoval větší

úmrtnost menších dělnic, který je pravděpodobně způsoben většími zásobami energie u velkých dělnic. Získané výsledky jsou ve shodě s tímto zjištěním, neboť pokud byla vysoká úmrtnost, tvořili ji jedinci s menší šířkou hlavy, a to v obou hrobečkách. Podle Hölldobler et Wilson (1998) jsou větší dělnice pro kolonii důležitější a cennější, protože mohou vykonávat úkol déle než menší dělnice.

Sun et al. (2013) vysvětlují ve svém výzkumu, že úmrtnost v kolonii nastává v důsledku různých abiotických a biotických faktorů spojených s procesem přirozeného stárnutí. Duarte et al. (2019) studovali reakce na změny teplot u mravence *Atta sexdens*, *Odontomachus bauri* a *Ectatomma brunneum*. Při extrémně vysokých hodnotách dosahující až 40 °C mravenci hynuli, ve výrazně nižších přežívali. Lime et al. (2022) tvrdí, že je to způsobené delší dobou strávenou hledáním potravy při vysokých teplot. Z výsledků lze odhadovat negativní vliv vysoké teploty na úmrtnost, neboť záznamy proběhly pouze v pěti odběrech kvůli technickým potížím. V odborné části rešerše je vysvětleno, jak náhlé změny teplot mohou negativně ovlivnit životnost jedinců. Toto tvrzení nelze prokázat ani vyvrátit. Nicméně stabilnější teplota je vhodnější pro přežití královny i celé kolonie minimálně při jejím zakládání (Sousa et al., 2022).

Mezi biotické faktory, které byly řešeny ve výzkumu, je problematika vlivu návštěvnosti expozice na mortalitu mravenců. Počet lidí, kteří navštívili expozici „Mravenčí hnízdo“ mohlo spolu s úbytkem pěstované houby zvýšit mortalitu mravenců. Prvním podnětem mohlo být napadení houbové zahrádky plísní. To vysvětluje Jaccoud et al. (1999) ve svém výzkumu na mravencích *Atta sexdens* za použití entomopatogenních hub. V prvních deseti dnech po vysazení se hnízdo vyznačovalo vysokou mortalitou, sníženou aktivitou a zhoršením houbové zahrádky. Po deseti dnech se výrazně snížila mortalita a byla zpozorována vysoká aktivita mravenců, zapojujíc se do péče o hnízdo (Jaccoud et al., 1999). Druhou příčinou může být vyschnutí pěstované houby kvůli nedostatku šťavnaté potravy obsahující vodu podstatnou pro udržení vlhkosti v hnízdě. Muratore et al. (2023) uvádí, pokud je dlouhodobě podáváno vločkové krmivo, dochází k vysušení houbové zahrádky. Arêdes et al. (2022) se zabývali procesy učení při výběru vegetace na *Atta sexdens*. Mravenci si nevytvořili žádné preference mezi vhodnými nabízenými rostlinami. Nicméně pokud rostlinný materiál obsahoval škodlivé látky, mravenci se sběrem přestali a následně daný typ rostliny odmítali.

Závěr

Během jednoho roku byla v rámci sedmi odběrů studována velikostní variabilita dvou skupin uhynulých jedinců mravenců střihačů *Atta sexdens* chovaných v Zoo Hluboká nad Vltavou, která je jednou ze dvou českých zoo s expozicí mravenců. Byla prokázána polymorfní dělba práce dělnic spojená s velikostní variabilitou těla (šířka hlavy). V průběhu roku se měnila mortalita mravenců v expozici. Pokud se zvyšovala úmrtnost mravenců, stoupal podíl jedinců s užší šířkou hlavy v obou hrobečkách. Početnost mrtvých jedinců mohla být také ovlivněna návštěvností Zoo a teplotou vzduchu v expozici, ale toto tvrzení nelze s jistotou potvrdit. Pro přesnější určení působení abiotických a biotických faktorů na mortalitu mravenců by bylo vhodné dlouhodobější pozorování a zhodnocení více parametrů, jako například vlhkost, proudění vzduchu, světlo, potrava a další.

Seznam použité literatury

Cítace knihy

Hayes, A. (2018). *Ant Farms - The Ultimate Formicarium Handbook: Detailed Step-by-Step Guide to Setting Up a Thriving Ant Colony*. CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN 1986553396.

Hölldobler, B. a Wilson, E.O. (1997). *Cesta k mravencům*. Praha: Academia, ISBN 80-200-0612-5.

Hölldobler, B. a Wilson, E.O. (1998). *Journey to the Ants*. Harvard University Press, ISBN 9780674485266.

Hölldobler, B. a Wilson, E.O. (2010). *The leafcutter ants: civilization by instinct*. WW Norton & Company, ISBN 978-0-393-33868-3.

Moffett, M. W. (2010). *Adventures among Ants: A Global Safari with a Cast of Trillions*. London, England: University of California Press, ISBN 978-0-520-26199-0.

Schieb, A. (2021). *Mravenci: život lesního společenství*. Brno: Kazda, ISBN 978-807-6700-369.

Wirth, R., Herz, H., Ryel, R. J., Beyschlag, W., Hölldobler, B. (2003). *Herbivory of Leaf-Cutting Ants: A Case Study on *Atta colombica* in the Tropical Rainforest of Panama*. Springer, Berlin, ISBN 978-3-662-05259-4.

Žďárek, J. (2013). *Hmyzí rodiny a státy*. Praha: Academia, ISBN 978-80-200-2225-7.

Cítace vědeckých publikací

Abramowsky, D., Currie, C. R., Poulsen, M. (2011). Caste specialization in behavioral defenses against fungus garden parasites in *Acromyrmex octospinosus* leaf-cutting ants. *Insectes sociaux*, 58: 65-75.

Anderson, C., McShea, D. W. (2001). Individual versus social complexity, with particular reference to ant colonies. *Biological reviews*, 76.2: 211-237.

Arêdes, A., Rodríguez, J., Baleiz, O., Dos Santos Lima, J. C., Canela, M. C., Viana-Bailez, A.M. (2022). Aversive learning as a behavioural mechanism of plant selection in the leaf-cutting ant *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 32.

Arenas, A., Roces, F. (2016). Gardeners and midden workers in leaf-cutting ants learn to avoid plants unsuitable for the fungus at their worksites. *Animal Behaviour*, 115: 167-174.

Asokan, A., Ramesha, B., Seenaa, S. M., Anooj, S. S., Sreekumar, K. M. (2023). Corpse Management Strategies in Social Insects. *Indian Journal of Entomology*, 1-10.

Baer, B., Boomsma, J. J. (2006). Mating biology of the leaf-cutting ants *Atta colombica* and *A. cephalotes*. *Journal of Morphology*, 267.10: 1165-1171.

Bolton, B. (1995). A taxonomic and zoogeographical census of the extant ant taxa (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Natural History*, 29.4: 1037-1056.

Brown, M. J.F., Bot, A. N.M., Hart, A. G. (2006). Mortality rates and division of labor in the leaf-cutting ant, *Atta colombica*. *Journal of insect science*, 6.1: 18.

Bueno, O. C., Hebling-Beraldo, M. J. A., Da Silva, O. A., Pagnocca, F., Fernandez, J. B., Vieira, P. C. (2019). Toxic effect of plants on leaf-cutting ants and their symbiotic fungus. *Applied Myrmecology*. CRC Press, p. 420-426.

Burd, M., Howard, J. J. (2005). Central-place foraging continues beyond the nest entrance: the underground performance of leaf-cutting ants. *Animal Behaviour*, 70.4: 737-744.

Constantino, P. B., Valentinuzzi, V. S., Helene, A. F. (2021). Division of labor in work shifts by leaf-cutting ants. *Scientific Reports*, 11.1: 8737.

De Araújo Galvão, A. R., Bailez, O., Viana-Bailez, A. M., Abib, P. H., Pimentel, F. A., Pereira, T. P. L. (2019). Parasitism by phorids on leaf cutter ants *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae) in natural and agricultural environments. *Zoological science*, 36.5: 357-364.

Della Lucia, T. MC., Gandra, L. C., Guedes, R. NC. (2014). Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. *Pest management science*, 70.1: 14-23.

Den Boer, S. P., Bear, B., Dreier, S., Aron, S., Nash, D. R., Boomsma, J. J. (2009). Prudent sperm use by leaf-cutter ant queens. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276.1675: 3945-3953.

Duarte, B. F., Michelutti, K. B., Antonialli-Junior, W. F., Cardoso, C. A. (2019). Effect of temperature on survival and cuticular composition of three different ant species. *Journal of Thermal Biology*, 80: 178-189.

Dussutour, A., Simpson, S. J. (2009). Communal nutrition in ants. *Current Biology*, 19.9: 740-744.

Elizalde, L., Superina, M. (2019). Complementary effects of different predators of leaf-cutting ants: implications for biological control. *Biological Control*, 128: 111-117.

Evison, S. E. F., Hughes, W. OH. (2011). Genetic caste polymorphism and the evolution of polyandry in *Atta* leaf-cutting ants. *Naturwissenschaften*, 98: 643-649.

Evison, S. E., Ratnieks, F. L. (2007). New role for majors in *Atta* leafcutter ants. *Ecological Entomology*, 32.5: 451-454.

Farias, A. P., Camargo, R. D. S., Caldato, N., Forti, L. C. (2020). Nest Architecture Development of Grass-Cutting Ants, *Atta capiguara* (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 64.

Farji-Brener, A. G. (2001). Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. *Oikos*, 92.1: 169-177.

Farji-Brener, A. G., Elizalde, L., Fernández-Marín, H., Amador-Vargas, S. (2016). Social life and sanitary risks: evolutionary and current ecological conditions determine waste management in leaf-cutting ants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283.1831: 20160625.

Farji-Brener, A. G., Chinchilla F., Umaña, M. N., Ocasio-Torres, M. E., Chautamellizo, A., Acosta-Rojas, D., Marinaro, S., De Torres, C. M., Amador-Vargas, S. (2015). Branching angles reflect a trade-off between reducing trail maintenance costs or travel distances in leaf-cutting ants. *Ecology*, 96.2: 510-517.

Feener, D. H., Moss, K. AG. (1990). Defense against parasites by hitchhikers in leaf-cutting ants: a quantitative assessment. *Behavioral ecology and sociobiology*, 26: 17-29.

Folgarait, P. J. (2013). Leaf-cutter ant parasitoids: current knowledge. *Psyche: A Journal of Entomology*.

Fowler, H. G., Robinson, S. W. (1979). Foraging by *Atta sexdens* (Formicidae: Attini): seasonal patterns, caste and efficiency. *Ecological Entomology*, 4.3: 239-247.

Francelino, M. R., Mendonca, A. L., Do Nascimento, R. R., Sant'anna, A. E. G. (2006). The mandibular gland secretions of the leaf-cutting ants *Atta sexdens sexdens* and *Atta opaciceps* exhibit intercaste and intercolony variations. *Journal of chemical ecology*, 32: 643-656.

Fröhle, K., Roces, F. (2012). The determination of nest depth in founding queens of leaf-cutting ants (*Atta vollenweideri*): idiothetic and temporal control. *Journal of Experimental Biology*, 215.10: 1642-1650.

Green, P. W. C., Kooij, P. W. (2018). The role of chemical signalling in maintenance of the fungus garden by leaf-cutting ants. *Chemoecology*, 28.3: 101-107.

Haskins, C. P., Haskins, E. F. (1974). Notes on necrophoric behavior in the archaic ant *Myrmecia vindex* (Formicidae: Myrmeciinae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 81: 258-267.

Howard, D. F., Tschienkel, W. R. (1976). Aspects of necrophoric behavior in the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Behaviour*, 56.1-2: 157-178.

Howard, J. J. (2001). Costs of trail construction and maintenance in the leaf-cutting ant *Atta columbica*. *Behavioral ecology and sociobiology*, 49: 348-356.

Choe, Dong-Hwan, Millar, J. G., Rust, M. K. (2009). Chemical signals associated with life inhibit necrophoresis in Argentine ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106.20: 8251-8255.

Jaccoud, D. B., Hughes, W. O. H., Jackson, C. W. (1999). The epizootiology of a *Metarhizium* infection in mini-nests of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 93.1: 51-61.

Leal, I. R., Oliveira, P. S. (2000). Foraging ecology of attine ants in a Neotropical savanna: seasonal use of fungal substrate in the cerrado vegetation of Brazil. *Insectes Sociaux*, 47: 376-382.

Lighton, J. R. B. (1989). Individual and whole-colony respiration in an African formicine ant. *Functional Ecology*, 523-530.

Lima, C., Helene, A. F., Camacho, A. (2022). Leaf-cutting ants' critical and voluntary thermal limits show complex responses to size, heating rates, hydration level, and humidity. *Journal of Comparative Physiology B*, 1-11.

Meyer, S. T., Leal, I. R., Wirth, R. (2009). Persisting hyper-abundance of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) at the edge of an old Atlantic forest fragment. *Biotropica*, 41.6: 711-716.

Moreira, S. M., Rodrigues, A., Forti, L. C., Nagamoto, N. S. (2015). Absence of the parasite *Escovopsis* in fungus garden pellets carried by gynes of *Atta sexdens*. *Sociobiology*, 62.1: 34-38.

Moser, J. C. (1963). Contents and structure of *Atta texana* nest in summer. *Annals of the Entomological Society of America*, 56.3: 286-291.

Mueller, U. G., Rehner, S. A., Schultz, T. R. (1998). The evolution of agriculture in ants. *Science*, 281.5385: 2034-2038.

Muratore, I. B., Ilies, I., Huzar, A. K., Zaidi, F. H., Traniello, J. F. A. (2023). Morphological evolution and the behavioral organization of agricultural division of labor in the leafcutter ant *Atta cephalotes*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 77.6: 70.

Nascimento, D. L., Chiapini, M., Vival-Torrado, P., Phillips, J. D., Ladeira, F. S. B., Machado, D. F. T., De Silva, C. R. Valezio E. V. (2023). The underestimated role of leaf-cutting ants in soil and geomorphological development in neotropical America. *Earth-Science Reviews*, 104650.

Nogueira, B. R., De Oliveira, A. A., Da Silva, J. P., Bueno, O. C. (2022). Collection and long-term maintenance of leaf-cutting ants (*Atta*) in laboratory conditions. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 186: e64154.

Nowak, M. A., Tarnita, C. E., Wilson, E. O. (2010). The evolution of eusociality. *Nature*, 466.7310: 1057-1062.

Powell, S., Clark, E. (2004). Combat between large derived societies: a subterranean army ant established as a predator of mature leaf-cutting ant colonies. *Insectes Sociaux*, 51: 342-351.

Püffel, F., Meyer, L., Imirzian, N., Roces, F., Johnston, R., Labonte, D. (2023). Developmental biomechanics and age polyethism in leaf-cutter ants. *Proceedings of the Royal Society B*, 290.2000: 20230355.

Püffel, F., Pouget, A., Liu, X., Zuber, M., Van De Kamp, T., Roces, F., Labonte, D. (2021). Morphological determinants of bite force capacity in insects: a biomechanical analysis of polymorphic leaf-cutter ants. *Journal of the Royal Society Interface*, 18.182: 20210424.

Ravary, F., Lecoutey, E., Kaminski, G., Châline, N., Jaisson, P. (2007). Individual experience alone can generate lasting division of labor in ants. *Current Biology*, 17.15: 1308-1312.

Robson, S. K., Traniello, J. FA. (1999). Key individuals and the organisation of labor in ants. *Information processing in social insects*. Basel: Birkhäuser Basel, p. 239-259.

Roces, F., Hölldobler, B. (1996). Use of stridulation in foraging leaf-cutting ants: mechanical support during cutting or short-range recruitment signal?. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 39: 293-299.

Roces, F., Lighten, J. RB. (1995). Larger bites of leaf-cutting ants. *Nature*, 373.6513: 392-392.

Römer, D., Exil, R., Roces, F. (2014). Nest enlargement in leaf-cutting ants: relocated brood and fungus trigger the excavation of new chambers. *PLoS One*, 9.5: e97872.

Römer, D., Exil, R., Roces, F. (2023). Two feedback mechanisms involved in the control of leaf fragment size in leaf-cutting ants. *Journal of Experimental Biology*, 226.12.

Samuels, R. I., Mattoso, T. C., Moreira, D. DO. (2013). Chemical warfare: Leaf-cutting ants defend themselves and their gardens against parasite attack by deploying antibiotic secreting bacteria. *Communicative & integrative biology*, 6.2: e23095.

Schaefer, C. E. G. R., Henriques, R. J., Gomes, L. P., Gorsani, R. G., Santos, M. F. S., Fernandes, D. P. D. S. (2021). Interplays between *Atta* ants (Formicidae: Attini), soils and environmental properties in the Brazilian Neotropics: a preliminary assessment. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45: e0210073.

Silva, A., Bacci JR. M., De Siqueira, C. G., Bueno, O. C., Pagnocca, F. C., Hebling, M. J. A. (2003). Survival of *Atta sexdens* workers on different food sources. *Journal of Insect Physiology*, 49.4: 307-313.

Silva, L. C., Camargo, R. S., Forti, L. C., Matos, C. A. O., Travaglini, R. V. (2015). Do *Atta sexdens rubropilosa* workers prepare leaves and bait pellets in similar ways to their symbiotic fungus?. *Sociobiology*, 62.4: 484-493.

Solomon, S. E. (2007). Biogeography and evolution of widespread leafcutting ants, *Atta* spp. (Formicidae, Attini). The University of Texas at Austin.

Sotelo, G., Giraldo, D. S. O., Rodríguez, J., Lerma, J. M. (2015). Adoption of a surrogate artificial queen in a colony of *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae) in Colombia. *Sociobiology*, 62.4: 613-614.

Sousa, K. K., Camargo, R. S., Caldat, N., Farias, A. P., Calca, M. V., Dal Pai, A., Matos, C. A. P., Zanuncio C. J., Santos I. C. L., Forti, L. C. (2022). The ideal habitat for leaf-cutting ant queens to build their nests. *Scientific Reports*, 12.1: 4830.

Sternberg, L. D. S., Pinzon, M. C., Moreira, M. Z., Moutinho, P., Rojas, E. I., Herre, E. A. (2007). Plants use macronutrients accumulated in leaf-cutting ant nests. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274.1608: 315-321.

Sun, Q., Zhou, X. (2013). Corpse management in social insects. *International Journal of Biological Sciences*, 9.3: 313.

Swanson, A. C., Schwendenmann, L., Allen, M. F., Aronson, E. L., Artavia-León, A., Dierick, D., Fernandez-Bou, A.S., Harmon, T. C., Murillo-Cruz, C., Oberbauer, S. F.,

Pinto-Tomás, A. A., Rundel, P. W., Dierick, D., Zelikova T. J. (2019). Welcome to the Atta world: A framework for understanding the effects of leaf-cutter ants on ecosystem functions. *Functional Ecology*, 33.8: 1386-1399.

Tautz, J., Roces, F., Hölldobler, B. (1995). Use of a sound-based vibratome by leaf-cutting ants. *Science*, 267.5194: 84-87.

Tonhasca JR. A., Bragança, M. A. L., Erthal JR. M. (2001). Parasitism and biology of *Myrmosicarius grandicornis* (Diptera, Phoridae) in relationship to its host, the leaf-cutting ant *Atta sexdens* (Hymenoptera, Formicidae). *Insectes Sociaux*, 48: 154-158.

Valadares, L., Nascimento, F. S. DO. (2016). Chemical cuticular signature of leafcutter ant *Atta sexdens* (Hymenoptera, Formicidae) worker subcastes. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60: 308-311.

Valadares, L., Nascimento, F. S. DO., Châline, N. (2022). Small workers are more persistent fighters than soldiers in the highly polymorphic *Atta* leaf-cutting ants. *Animal Behaviour*, 189: 15-21.

Van Breda, J. M., Stradling, D. J. (1994). Mechanisms affecting load size determination in *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera, Formicidae). *Insectes Sociaux*, 41: 423-435.

Van Gils, H. A. J. A., Vanderwoude, C. (2012). Leafcutter ant (*Atta sexdens*) (Hymenoptera: formiciDae) nest Distribution responds to canopy removal and changes in micro-climate in the southern colombian amazon. *Florida Entomologist*, 95.4: 914-921.

Waddington, S. J., Hughes, W. OH. (2010). Waste management in the leaf-cutting ant *Acromyrmex echinator*: the role of worker size, age and plasticity. *Behavioral ecology and sociobiology*, 64: 1219-1228.

Wilson, E. O. (1980). Caste and division of labor in leaf-cutter ants (Hymenoptera: Formicidae: Atta) II. The ergonomic optimization of leaf cutting. *Behavioral ecology and sociobiology*, 7: 157-165.

Wilson, E. O., Durlach, N. I., Roth L. M. (1958). Chemical releasers of necrophoric behavior in ants. *Psyche: A Journal of Entomology*, 65: 108-114.

Wirth J. R., Meyer, S. T., Almeida, W. R., Araújo, M. V., Barbosa, V. S., Leal, I. R. (2007). Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. *Journal of Tropical Ecology*, 23.4: 501-505.

Zanetti, R., Cola Zanuncio, J., Santos, J. C., Da Silva, W. L. P., Ribeiro, G. T., Lemes, P. G. (2014). An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. *Forests*, 5.3: 439-454.

Citace webových zdrojů

6legs2many - *WordPress.com*. Online. 2013. Dostupné z: <https://6legs2many.wordpress.com/techniques/ant-farms-more-formicaria-designs/>. [cit. 2024-03-28].

Cults 3D. Online. Dostupné z: <https://cults3d.com/en>. [cit. 2024-03-28].

Fourmiculture. Online. Dostupné z: <https://fourmiculture.com/en/>. [cit. 2024-03-05].

Leafcuttingants.com. Online. 2019. Dostupné z: <http://www.leafcuttingants.com/index.html>. [cit. 2024-03-05].

The National Inventory of Natural Heritage (INPN). Online. 2003. Dostupné z: <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>. [cit. 2024-03-05].

USDA NIFA | National Institute of Food and Agriculture. Online. 2012. Dostupné z: <https://www.nifa.usda.gov/about-nifa/how-we-work/extension/cooperative-extension-system>. [cit. 2024-03-05].

World Of Ant - WordPress.com. Online. 2013. Dostupné z:
<https://worldofants.wordpress.com/>. [cit. 2024-03-28].

Zoo Hluboká. Online. Dostupné z: <https://www.zoohluboka.cz/>. [cit. 2024-03-05].

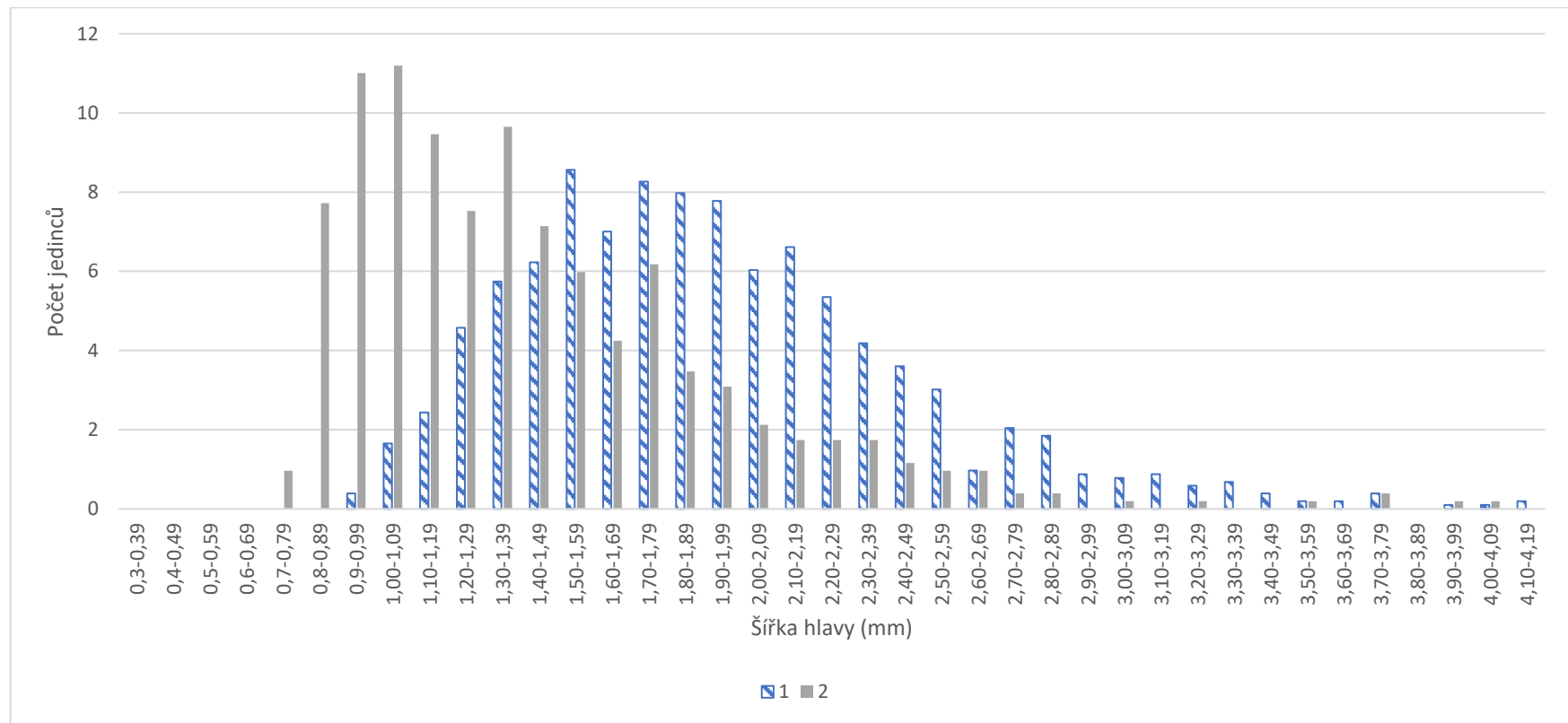
Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Rozšíření rodu <i>Atta</i> (Schaefer et al., 2021)	10
Obrázek 1.2: Stavba těla mravence (World Of Ant - WordPress.com, 2013)	16
Obrázek 1.3: Chov ve zkumavce (6legs2many - WordPress.com, 2013)	20
Obrázek 1.4: Názorné ukázky dvou typů ubikací (Nogueira et al., 2022)	21
Obrázek 1.5: Vertikální formikárium (Cults 3D, 2024)	22
Obrázek 2.1: Expozice s mravenci s označením hrobečku 1 a hrobečku 2	25
Obrázek 2.2: Papírová čtvercová mřížka	26
Obrázek 2.3: Hlava mravence <i>Atta sexdens</i> zblízka	27

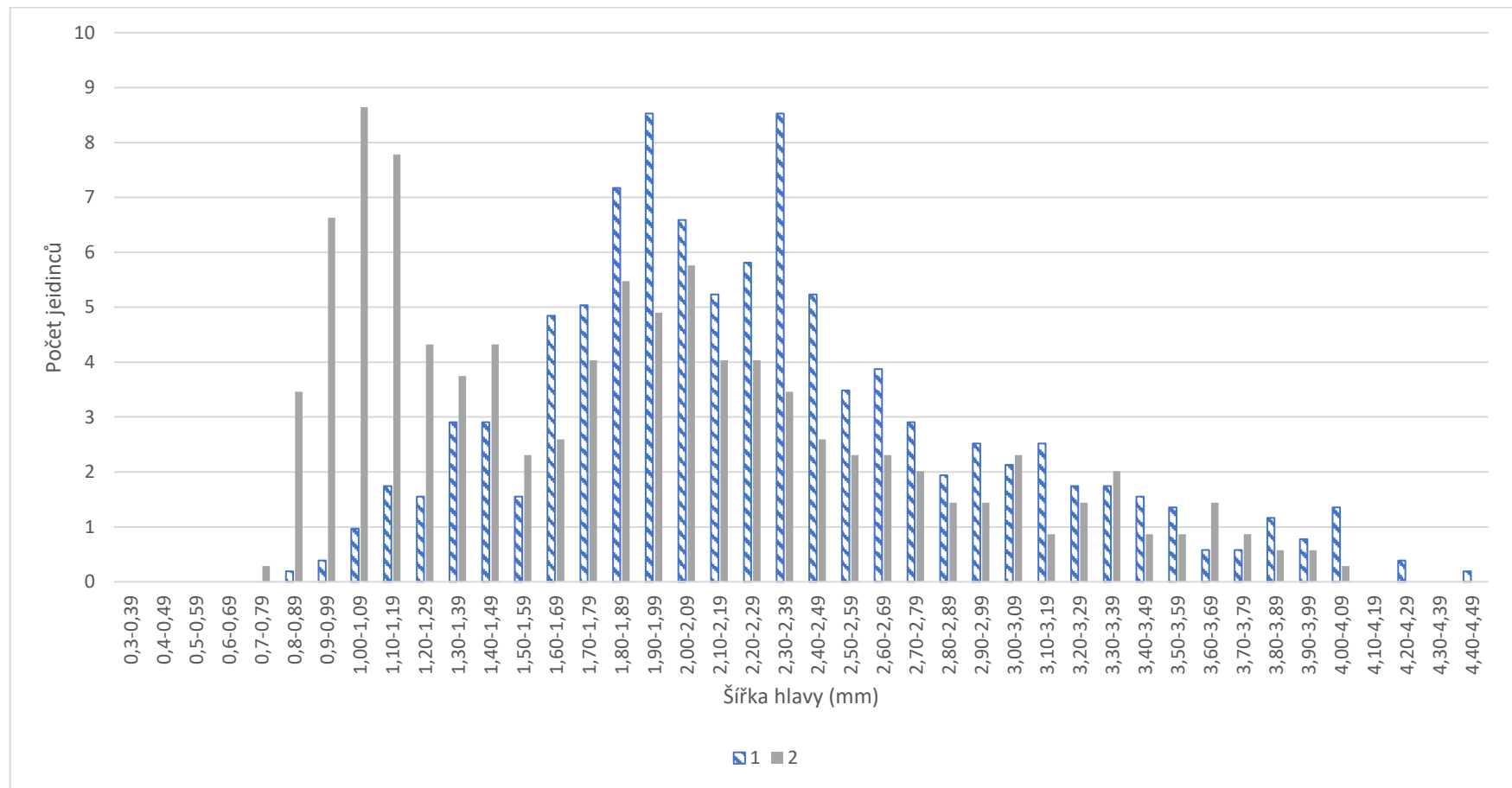
Seznam tabulek a grafů

Tabulka 3.1: Rozdíl šířky hlavy (mm) v jednotlivých odběrech vyhodnocené Kruskal-Wallisova testem	30
Graf 3.1: Histogram průměrné šířky hlavy (mm) <i>Atta sexdens</i> a její variability (+S.D.) v jednotlivých hrobečkách	29
Graf 3.2: Šířky hlavy (mm) v hrobečku 1 a hrobečku 2 v jednotlivých odběrech.....	30
Graf 3.3: Šířka hlavy (mm) v hrobečku 1 a hrobečku 2.....	31
Graf 3.4: Porovnání šířky hlavy (mm) v hrobečku 1 v jednotlivých odběrech.....	31
Graf 3.5: Porovnání šířky hlavy (mm) v hrobečku 2 v jednotlivých odběrech.....	32
Graf 3.6: Absolutní četnost mravenců v hrobečku 1 a 2 v jednotlivých odběrech	33
Graf 3.7: Vztah šířky hlavy (mm) a mortality všech naměřených mravenců dle hrobečku.....	33
Graf 3.8: Kombinovaný graf se dvěma osami celkové mortality mravenců s návštěvností lidí Zoo Hluboká nad Vltavou v jednotlivých odběrech.....	34
Graf 3.9: Vztah celkové mortality mravenců vůči celkové mortalitě mravenců z předchozího odběre (%) návštěvnosti lidí v Zoo Hluboká nad Vltavou v jednotlivých odběrech	34
Graf 3.10: Teplota vzduchu (°C) v expozici mravenců v průběhu pěti posledních odběrů.....	35

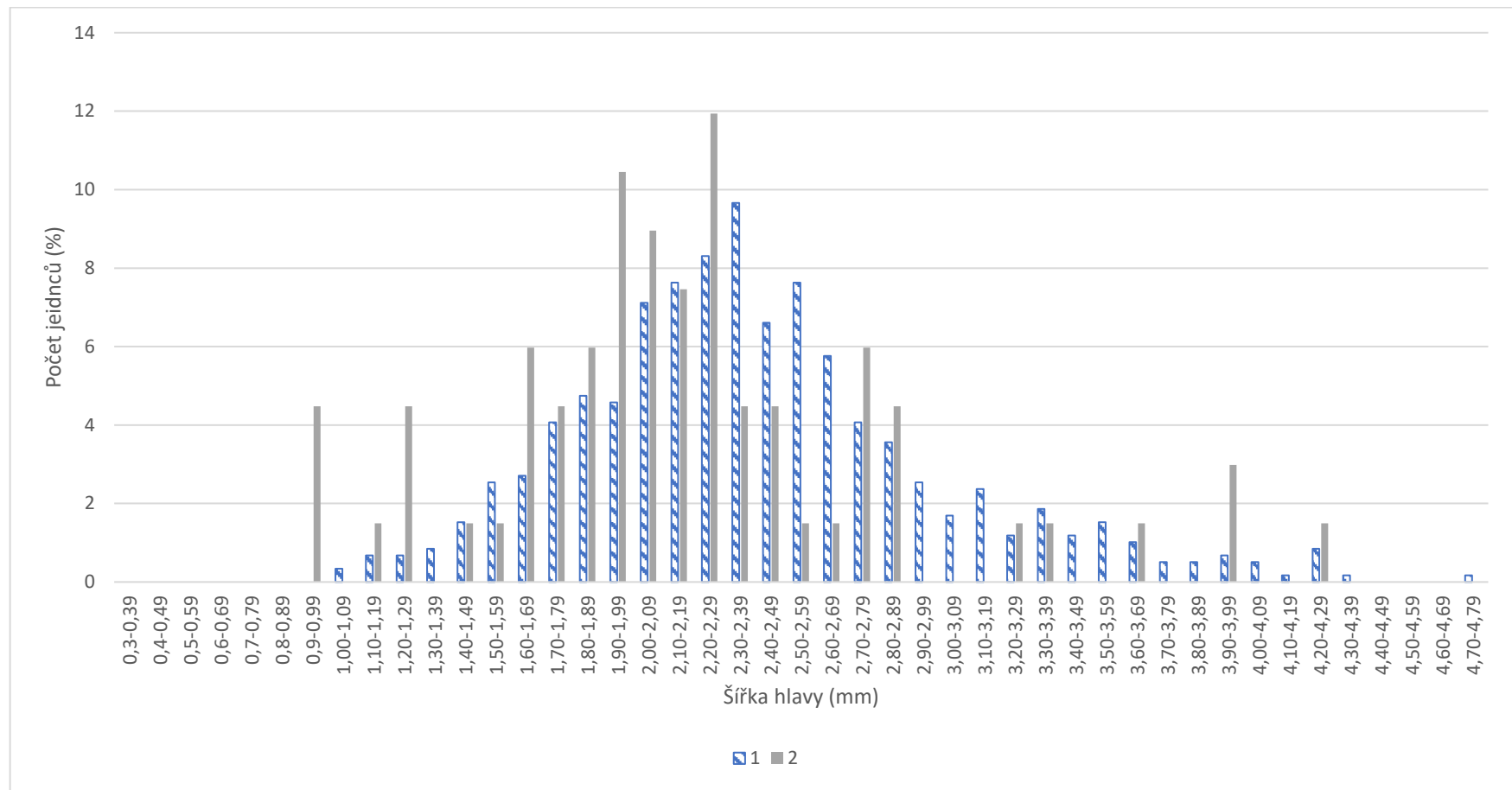
Přílohy



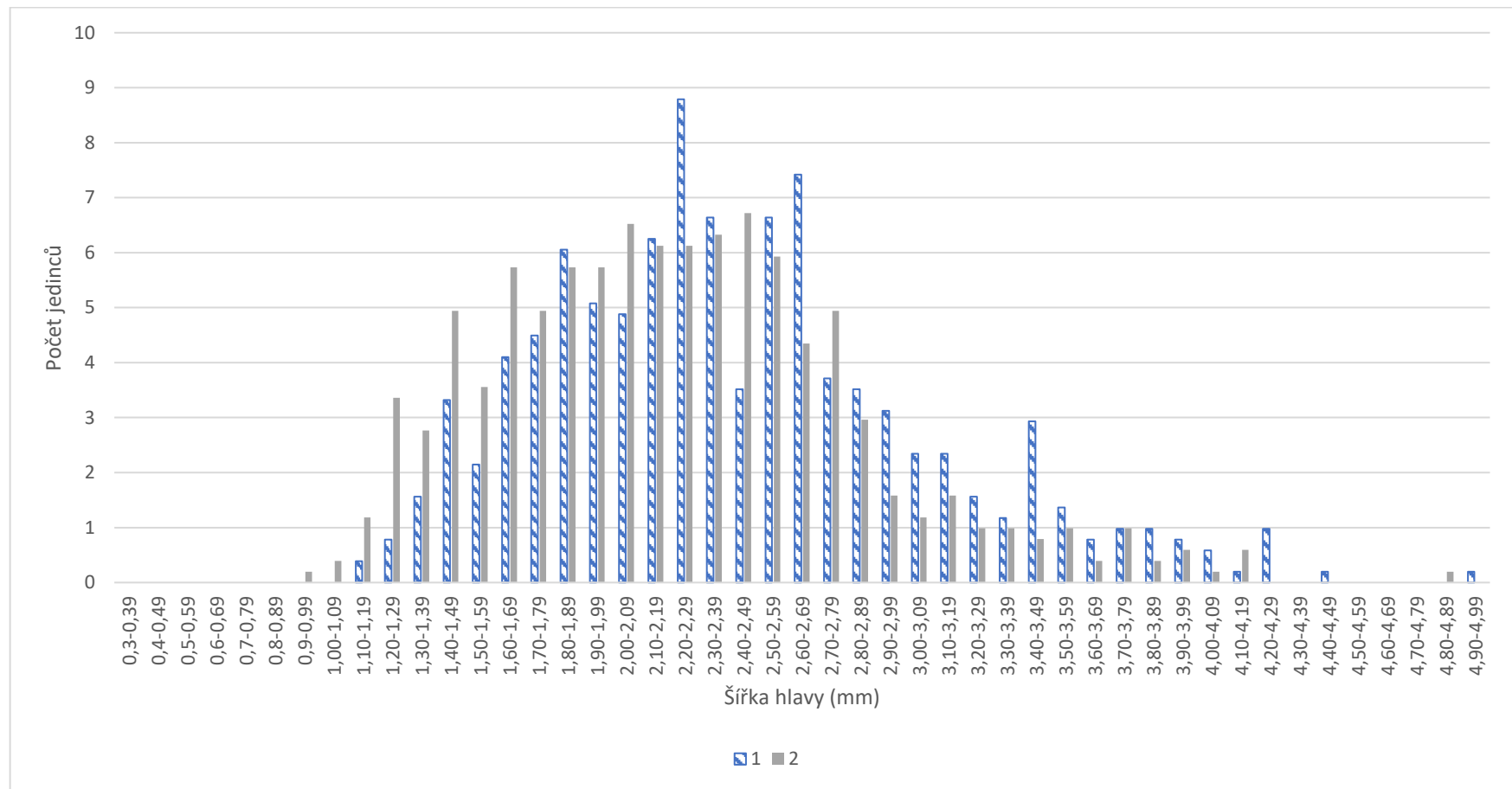
Příloha 1: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrobečkách v odběru 1.12 - 14.12. 2022



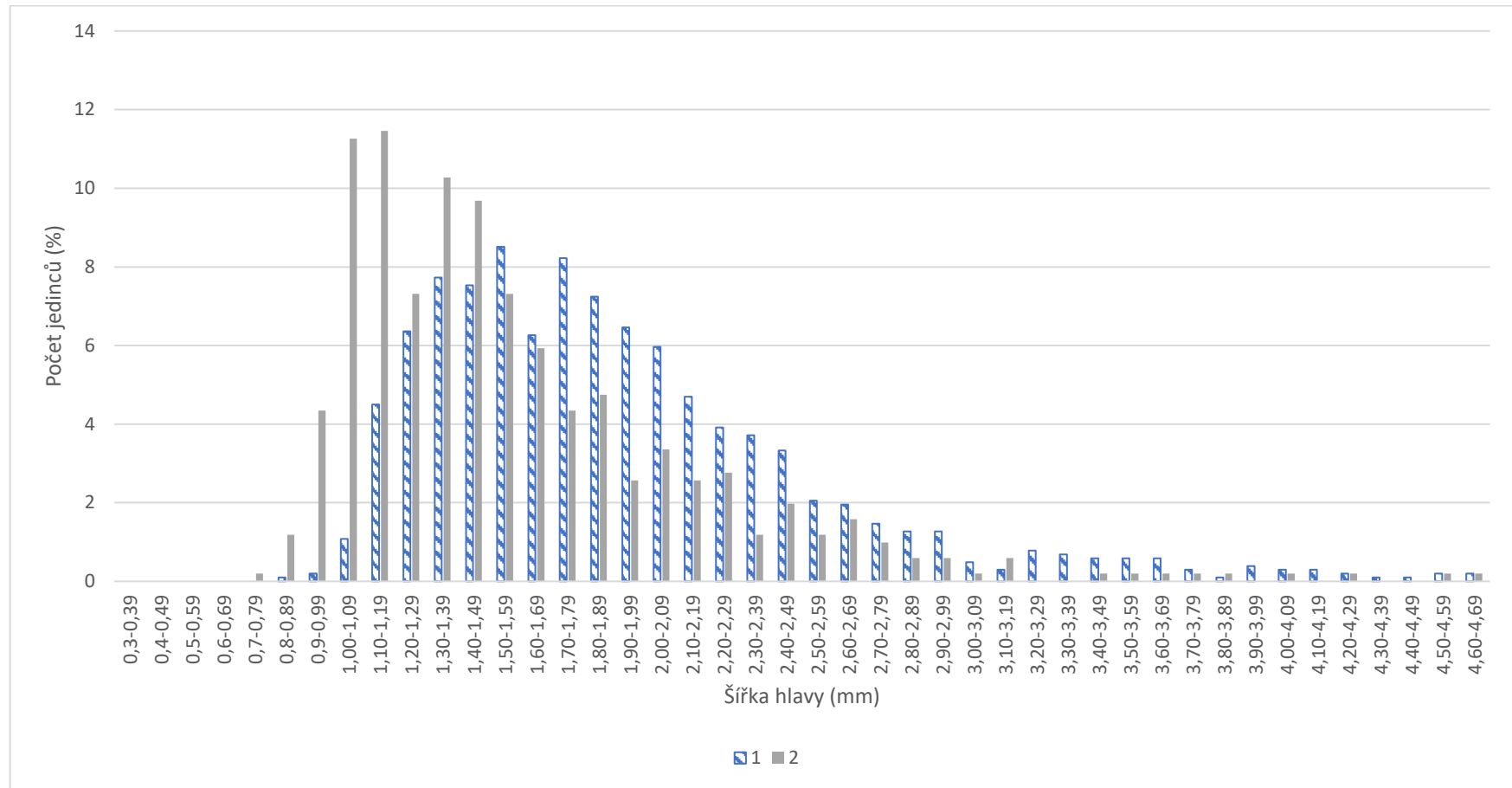
Příloha 2: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrobečkách v odběru 25.1. - 8.2. 2023



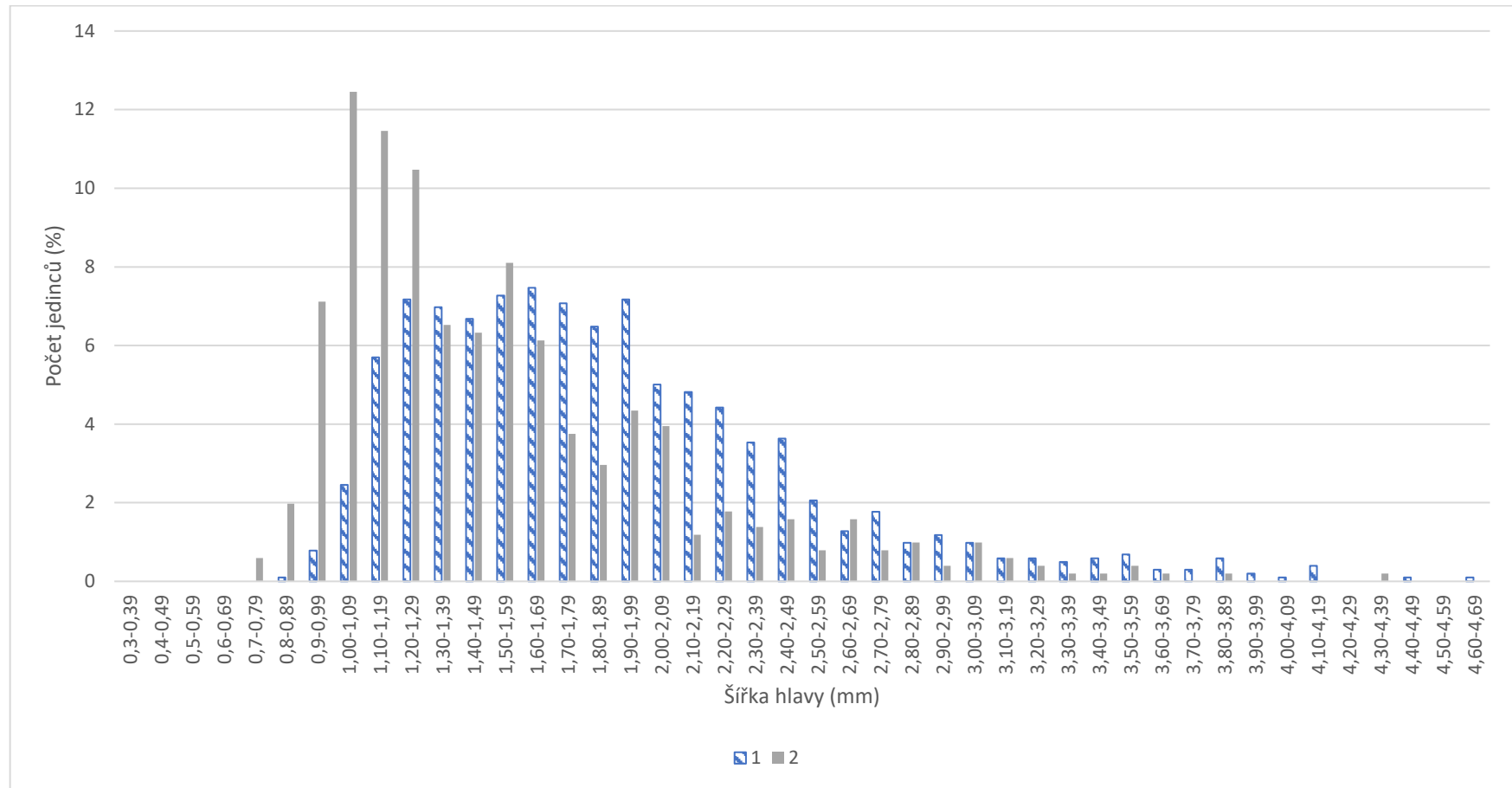
Příloha 3: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrobečkách v odběru 22.3. – 5.4. 2023



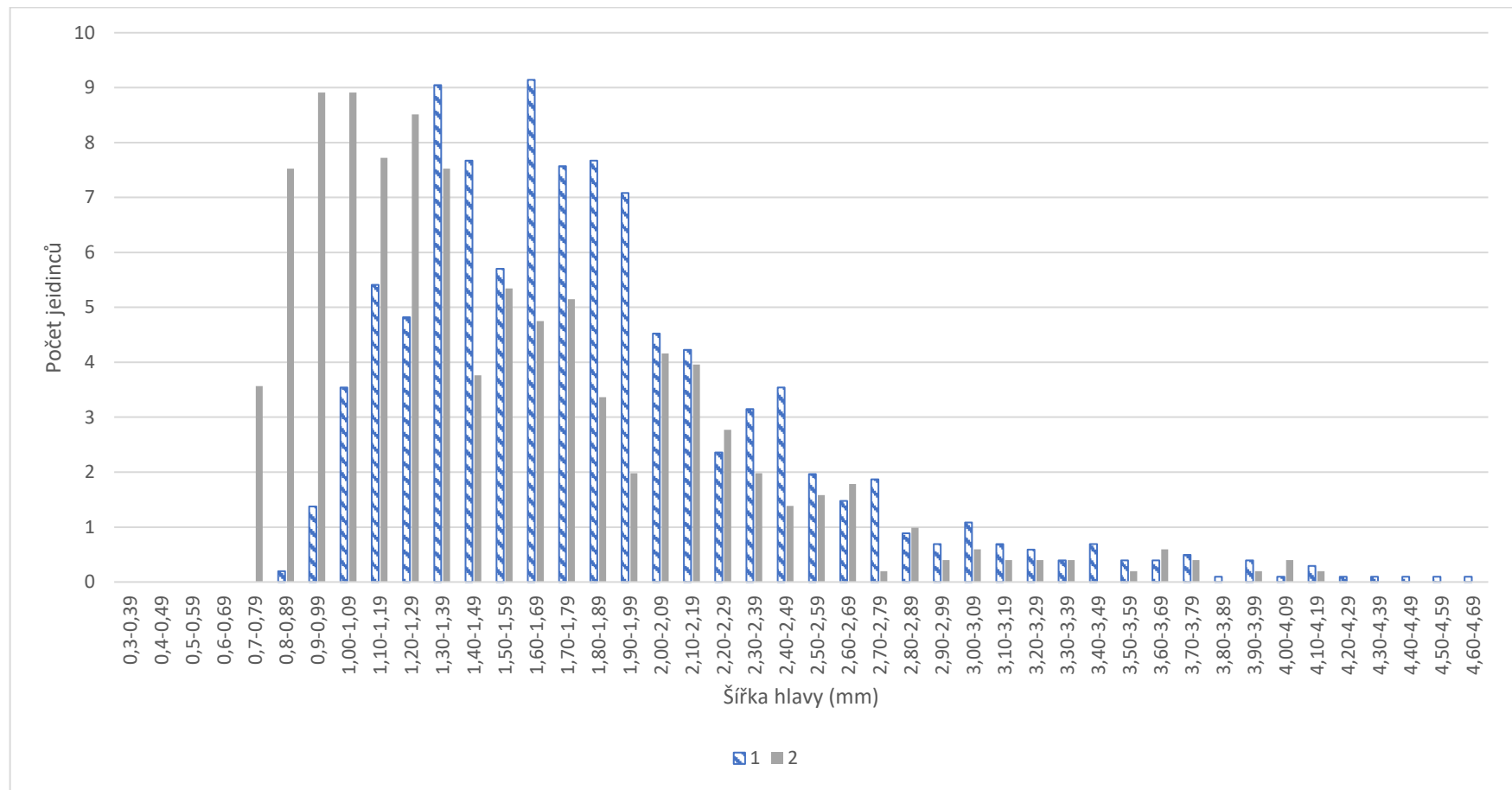
Příloha 4: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrobečkách v odběru 17.5. - 31.5. 2023



Příloha 5: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrobečkách v odběru 12.7. - 26.7. 2023



Příloha 6: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrbečkách v odběru 6.9. - 20.9. 20238



Příloha 7: Histogram šířky hlavy (mm) *Atta sexdens* v jednotlivých hrobečkách v odběru 1.11. - 15.11. 2023