



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra biologie

Popularizace manipulační hypotézy

Bakalářská práce

Vypracoval: Tereza Bierlová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.

České Budějovice 2023

Prohlášení

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

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

V Českých Budějovicích

Dne

Tereza Bierlová

Anotace

Bierlová, T. (2023). Popularizace manipulační hypotézy [Bakalářská práce]. Jihočeská univerzita, Pedagogická fakulta.

Bakalářská práce se zabývá tématem manipulační hypotézy a jeho popularizací pro žáky základních škol a širokou veřejnost ve formě povídek. Do literární části bylo na základě prostudované literatury vybráno deset příkladů manipulace parazitem, které byly odborně popsány a vysvětleny. V rámci bakalářské práce bylo zmapováno téma manipulační hypotézy v aktuálních učebnicích přírodopisu. Podle rešerše bylo následně přeformulováno pět příkladů manipulace parazitem v povídky, které mají za cíl vysvětlit čtenáři lehčí formou jejich vzájemné vztahy.

Klíčová slova

Parazit, parazitismus, manipulační hypotéza, povídky, popularizace

Vedoucí práce: doc. RNDr. Tomáš Ditrich, Ph. D.

Katedra biologie. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích

Annotation

Bierlová, T. (2023). Popularization of the manipulation hypothesis [Bachelor's thesis]. University of South Bohemia, Faculty of Education.

This bachelor thesis deals with popularization of manipulation hypothesis among children attending elementary school and general audience in the form of short stories. In the literary part were chosen ten examples of manipulation by a parasite from scientific literature. In the research part was examined the topic of manipulation theory in the current biological textbooks for elementary school. Subsequently were created five short stories of manipulation by a parasite to help the reader understand the relationship in the examples in an easy way.

Key words

Parasite, parasitism, manipulation hypothesis, short story, popularization

Thesis Supervisor: doc. RNDr. Tomáš Ditrich, Ph. D.

Department of Biology, Pedagogical Faculty, University of South Bohemia

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce doc. RNDr. Tomášovi Ditrichovi, Ph.D., za představení samotného tématu a ochotu přetavit ho v bakalářskou práci. Poděkování patří i za cenné rady a věnovaný čas při vedení práce. Dále děkuji mé rodině, která mi byla hnacím motorem a oporou a mému příteli a přátelům za podporu. V neposlední řadě děkuji za ochotu všem respondentům dotazníkového šetření.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Literární přehled	8
2.1	Vztahy mezi organismy	8
2.1.1	Parazitismus	9
2.1.2	Sociální parazitismus.....	10
2.1.3	Hnízdní parazitismus	10
2.1.4	Parazitický kastrátor.....	10
2.1.5	Parazitoid	11
2.2	Manipulační hypotéza.....	11
2.3	Příklady manipulací parazitem.....	12
2.3.1	<i>Toxoplasma gondii</i>	12
2.3.2	<i>Ophiocordyceps unilateralis</i>	15
2.3.3	<i>Paragordius tricuspidatus</i> a <i>Spinochordoles tellinii</i>	16
2.3.4	<i>Leucochloridium paradoxum</i> (Motolice podivná).....	18
2.3.5	<i>Dicrocoelium dendriticum</i> (Motolice kopinatá)	19
2.3.6	<i>Ribeiroia ondatrae</i>	20
2.3.7	<i>Entomophthora muscae</i> (Hmyzomorka muší).....	21
2.3.8	<i>Sacculina carcini</i> (Kořenohlavec krabí).....	22
2.3.9	<i>Ampulex compressa</i> – smaragdová vosa	24
2.3.10	<i>Dinocampus coccinellae</i>	25
2.4	Analýza učebnic přírodopisu pro 2. stupeň základních škol	27
3	Metodika	29
3.1	Dotazník	30
4	Výsledky – vypracované povídky	32
4.1	Jak udělala houba Ofélie z mravence zombie	32
4.2	Strastiplná cesta motolice Marcelky	34
4.3	Jak přišla na svět vosa Vendelína	35
4.4	Jak kořenohlavec Karel za Kamilou přeplaval půl oceánu	37
4.5	Cesta strunovce Gustava z vody do vody.....	38
4.6	Výsledky dotazníku	40
5	Diskuze a závěr.....	44
6	Seznam literatury.....	46
7	Přílohy	51

1 Úvod

Snad každý z nás má s parazity alespoň jednu zkušenost. Ve vysoké trávě se lehce přisaje ke kůži klíště obecné (*Ixodes ricinus*), od jara do podzimu nám sají krev samice komárů (*Culex pipiens*) nebo téměř každé dítě někdy přineslo domů veš dětskou (*Pediculus capitis*). Podle Zimmera (2005) představují parazité až čtyři pětiny všech druhů na naší planetě, ale jen málo z nich dokáže svého hostitele ovládat a měnit jeho chování nebo vzhled. Tuto schopnost manipulace si parazité vytvořili během svého evolučního vývoje.

Je až neuvěřitelné, co dokážou udělat houby nebo bezobratlí pro svůj životní úděl – předání své genetické informace další generaci. Právě fascinující schopnost ovládnutí svých hostitelů různými mechanismy byla důvodem k vybrání tématu této práce.

Literární část pojednává o vybraných parazitech, u kterých je detailně popsán životní cyklus a manipulace hostitele. Na úvod jsou vysvětleny vztahy mezi organismy, pojmy parazitismus a jeho druhy, a stěžejní pojem manipulační hypotéza. Dále následuje deset vybraných zástupců parazitů, kteří vykazují manipulaci s hostitelem, jenž je u každého podrobně popsána spolu s životním cyklem parazita.

Cílem této práce je vytvořit povídky pro žáky základních škol a širokou veřejnost, které čtenáři představí princip manipulační hypotézy na jednotlivých příkladech. Seznámí čtenáře s tímto tématem spolu s parazity, kteří manipulaci využívají. Z deseti popsaných zástupců v literární části je vybráno a přepsáno do jednoduchých povídek pět zástupců se zajímavým životním cyklem a manipulací svého hostitele.

Dalším cílem této bakalářské práce bylo zanalyzovat aktuální učebnice přírodopisu, zda se v nich vyskytuje téma manipulační hypotézy.

Do práce je zahrnut krátký dotazník, který byl vytvořen za účelem zjištění zkušeností s parazitismem, manipulační hypotézou a s vytvořenými povídkami. Respondenti po přečtení pěti povídek odpovídali na otázky, zda dané téma již znali, koho považují za hrdinu příběhu a jaké pocity v nich povídka evokuje.

2 Literární přehled

2.1 Vztahy mezi organismy

Rostliny, živočichové, mikrobi a další organismy žijí společně a navzájem se v rámci svého biotopu ovlivňují (Rosypal a spol., 2003). Díky dlouhodobé společné evoluci vznikly mezi organismy mezidruhové vztahy – interakce, které jsou důležité pro fungování a tvoření společenstva. Vztahy mezi organismy či populacemi různých druhů mohou být vzájemně prospěšné, neutrální, nevýhodné pro oba nebo výhodné jen pro jednu stranu.

Jako konkurence či kompetice je označován takový vztah, ve kterém spolu organismy soutěží o zdroje pro své přežití (výživu, prostor) = mezidruhová konkurence (kompetice). Vyhraje zdatnější konkurent a časem vytlačí ostatní druhy, které by mohly být pro něho ohrožující. Ve společném stabilním biotopu mohou žít organismy, které si vzájemně příliš nekonkurují, mají odlišné nároky na zdroje a prostředí, tj. mají odlišné ekologické niky.

Podle Rosypala a spol. (2003) je predace vztah mezi organismy, kdy je jeden organismus (populace) kořistí a zdrojem obživy pro druhý organismus (populaci). Predátor (dravec) bývá většinou větší než jeho kořist a mívá k chytání své kořisti různá uzpůsobení (sokol má k lovení ptáků za letu vyvinutý skvělý zrak a silné pářáty).

Při neutralismu se organismy vzájemně neovlivňují, jde tedy o neutrální vztah.

Amensalismus využívají organismy, které svými chemickými látkami negativně ovlivňují druhé organismy – zabraňují jim v růstu, vývoji nebo zcela způsobí jejich úhyn.

Při komensalismu profituje jeden organismus, zatímco druhý není nijak ovlivněn. Příkladem jsou některé střevní bakterie, které svého hostitele neovlivňují.

Mutualismus je prospěšný vztah pro obě strany, organismy si vzájemně pomáhají a oba z toho profitují. Příkladem mutualismu je mykorrhiza neboli vzájemné soužití hub s kořeny rostlin – mykorrhizní houby tvoří v půdě síť – mycelium, které se napojuje na kořeny symbiotických rostlin – rostliny tak pomocí hub mohou čerpat dostatek vody a minerálních látek z půdy a houbám poskytují energii ve formě cukrů získané fotosyntézou. Důležitou formou mutualismu je vztah fotoautotrofních řas či sinic s chemoheterotrofními houbami, jejichž soužitím vznikly lišejníky.

Parazitismus je další vztah mezi organismy, přičemž jeden z organismů profituje a druhý strádá, může dojít až k jeho úhynu (Storch a Mihulka, 2000).

2.1.1 Parazitismus

Jedná se o vztah mezi parazitem a hostitelem, životní strategii vzniklou evolučním vývojem. U některých druhů se přidává mezihostitel, který slouží jako přechodný hostitel určený k vývoji jedince (parazita) a k přípravě na rozmnožení v konečném hostiteli. Parazitismus může být dočasný i trvalý vztah, kdy parazit čerpá ze svého hostitele energii ve formě potravy, využívá ho jako své životní prostředí. Parazit poškozují jeho tkáně, orgány a funkce a některé druhy vyvolávají v hostiteli vážná onemocnění. Parazit bývá menších rozměrů než jeho hostitel a určitý druh parazita potřebuje k životu určité místo v těle hostitele. Parazitismus je prakticky druh predace, pravý predátor během svého života usmrtí a pohltní několik či mnoho organismů, ale parazit využívá jen pár jedinců, a ne vždy musí dojít k jejich usmrcení. Většina parazitů potřebuje svého hostitele k životu, a tak svého hostitele musí udržet při životě. Snižuje tedy hostitelovu fitness (Rosypal a spol, 2003).

Během evoluce si hostitelé vytvořili obranu v podobě imunitního systému, parazité se konkrétnímu imunitnímu systému snaží přizpůsobit. Tím vznikla hostitelská specifita parazitů – parazit je uzpůsoben proniknout do určitého druhu hostitele, v jiném hostiteli nemá parazit vhodné podmínky k přežití. Například veš dětská (*Pediculus capitis*), zástupce parazitického hmyzu z rodu *Pediculus*, dokáže parazitovat a přežít pouze na vlasech (ochlupení na hlavě) člověka (*Homo sapiens*), nikoliv u velice příbuzných lidoopů. Výjimka potvrzuje pravidlo a jednou z výjimek je například kokcidie kočičí (*Toxoplasma gondii*), která je schopna vývoje ve většině teplokrevných obratlovců – ptáků i savců, člověka nevyjímaje (Votýpka, 2018).

Představu společné koevoluce mezi parazity a hostiteli lze přiblížit principem červené (šachové) královny. Patogen ve formě parazita se neustále vyvíjí, přizpůsobuje se a snaží se obelstít hostitelův obranný systém. Hostitel buď zemře nebo začne vyvíjet odpověď na útok (Volf a kol., 2007).

Mezihostitel je organismus, mezičlánek v parazitově rozmnožovacím cyklu. V mezihostiteli parazit vyvíjí svá larvální stádia a může se v něm nepohlavně rozmnožit (Volf, 2007).

2.1.2 Sociální parazitismus

Parazit těží ze sociálního chování ostatních druhů na jejich úkor. V říši hmyzu využívá sociálního parazitismu především zástupci řádu blanokřídlí (*Hymenoptera*), nadčeleď vosy (*Vespoidea*), např. sršeň (*Vespa dybowskii*) parazituje na sršni obecné (*Vespa crabro*). Napadá hnízdo sršně obecné, bodnutím usmrtí jejich královnu a začne klást vajíčka, o které se dělnice sršně obecné nevědomky starají. Poté, co vymře původní obyvatelstvo sršně obecné, ovládne nová královna (*Vespa dybowskii*) hnízdo se svými dělnicemi. Na sršni obecné ale není *Vespa dybowskii* závislá, když není poblíž žádné hnízdo, které by mohla napadnout, dokáže si své hnízdo postavit sama (Stephen, 2008).

2.1.3 Hnízdní parazitismus

Jedná se o vztah mezi druhy, kdy parazitický druh přenechá péči o potomstvo jinému druhu (Benešová, 2013). Například samice druhu kukačka (*Cuculus canorus*) klade svá vejce do hnízd ptáků, většinou menších hmyzožravých pěvců. Vejce klade po jednom do každého hnízda a nijak dál se o svá mláďata nestará. Mládě kukačky může být po vylíhnutí větší než náhradní hostitelský rodič, proto potřebuje velký přísun potravy. Kvůli konkurenci o potravu nastává souboj mezi mládětem kukačky a pravým mládětem svého hostitele. Ještě slepé mládě kukačky vyhodí z hnízda mláďata svého hostitele (většinou ještě vejce – kukačka se zpravidla vylíhne dříve), aby si zajistilo přežití. Hostiteli tak nezbyvá nic jiného než se o mládě kukačky starat, jelikož mu to velí mateřský pud.

Příležitostný neboli fakultativní hnízdní parazitismus využívají živočichové, kteří kladou svá vejce do hnízd živočichovi svého nebo příbuzného druhu. Vyskytuje se u rákosníka obecného či rehka zahradního (Honza, 2002).

2.1.4 Parazitický kastrátor

Parazit zabraňuje hostiteli se rozmnožit, často dokáže zničit nebo strávit hostitelovy rozmnožovací orgány. Energií, kterou by hostitel využil k rozmnožování, využije parazit ve svůj prospěch. Parazit tak „zabije“ hostitele v evolučním smyslu – hostitel se nemůže dál rozmnožovat a dokončit tak svůj životní cyklus (Volf, 2007).

2.1.5 Parazitoid

Jako parazitoid se označuje zvláštní typ parazita, který se vyvíjí v těle či v buňkách svého hostitele, a nakonec svého hostitele usmrtí a zkonsumuje. Někteří parazitoidi svého hostitele „pouze“ sterilizují. Jedná se hlavně o larvy hmyzu z řádu blanokřídlí (*Hymenoptera*) – hrabalky, lumci, kutilky a z řádu dvoukřídlí (*Diptera*). Blanokřídlí parazitoidi jsou komerčně využíváni ke snížení škůdců na napadených zemědělských rostlinách. Jejich efektivita dosahuje 100% účinnosti, tudíž díky jejich parazitismu není potřeba používat chemické přípravky (Samková, 2010).

2.2 Manipulační hypotéza

Manipulační hypotéza je teorie, podle které se parazit cíleně snaží o změnu hostitelova chování. Záměrem parazita je dokončit svůj životní cyklus a rozmnožit se. Aby zvýšil pravděpodobnost přenosu do dalšího hostitele nebo využil hostitele k rozmnožení, musí parazit hostitele ovlivnit a donutit ho, aby se hostitel choval v parazitům prospěch. Pokud využívá parazit více hostitelů, většinou dochází k přenosu parazita tak, že je mezihostitel s infekčními stádii parazita uloven definitivním hostitelem, ve kterém se parazit pohlavně rozmnoží a dokončí tak svůj vývojový cyklus (Votýpka, 2018).

Každý parazit používá k ovlivnění mezihostitele různé mechanismy, aby byl mezihostitel snadnější kořistí pro hostitele. Manipulace parazita má vliv na mezihostitele či hostitele v podobě změny chování, ale i změny fenotypu – změny morfologických znaků mezihostitele (Votýpka, 2018).

Infikovaný jedinec parazitem se chová méně opatrně, neschovává se před predátory, v některých případech predátory cíleně vyhledává (např. potkan nakažený *T. gondii*), pomaleji reaguje na nebezpečné podněty. To vše zvyšuje pravděpodobnosti predace infikovaného jedince a přenos parazita (Flegr, 2011).

Podle Thomase a kol. (2005) můžeme rozdělit manipulaci hostitelem na přímou a nepřímou. Při přímé manipulaci napadá parazit CNS hostitele a vylučuje látky stimulující hostitelovu CNS. Je ale velmi obtížné určit, zda tyto látky produkuje opravdu parazit nebo jsou odpovědí imunitního systému hostitele na přítomnost parazita. Naproti tomu častější nepřímá manipulace hostitelem znamená, že parazit nepůsobí na CNS hostitele, ale na jiné tkáně v hostitelově těle. Parazit tak donutí imunitní systém

hostitele produkovat potřebné látky (většinou neuromodulátory), které poté mění fenotyp či chování hostitele (Adamo, 2002).

Nepřímá manipulace je pro parazita energeticky méně náročnější než přímá manipulace. Přímá manipulace a samotná produkce neuromodulátorů parazitem je energeticky vysoce nákladná, protože parazit je většinou několikanásobně menší než jeho hostitel a pro potřebnou změnu hostitelova chování musí parazit vyprodukovat obrovské množství manipulující látky (Adamo, 2002; Thomas a kol., 2005)

2.3 Příklady manipulací parazitem

2.3.1 *Toxoplasma gondii*

Toxoplasma gondii byla objevena a poprvé popsána v roce 1908 Charlesem Nicolle a Louisem Manceauxem v Tunisku na zkoumaném polopouštním hlodavci gundi saharském, podle kterého dostala své druhové jméno. Jedná se o jednobuněčného parazita napadající teplokrevné živočichy – ptáky a savce (včetně člověka), cílovým hostitelem pro pohlavní rozmnožení jsou kočkovité šelmy (Votýpka, 2018). Patří mezi kokcidie příbuzné maláriím, do třídy výtrusovci (*Apicomplexa*).

Je oportunním parazitem, při oslabení hostitelovy imunity *T. gondii* rozvine nemoc, která může způsobit i hostitelovu smrt (Votýpka, 2018).

V infikovaném konečném hostiteli (v kočkovité šelmě) se *T. gondii* pohlavně rozmnoží a vytvoří vajíčka – oocysty, které vyjdou ven z těla kočkovité šelmy spolu s trusem. Do mezihostitele, kterým mohou být hlodavci, sudokopytníci, ale i lidé, se dostane oocysta a přemění se na tachyzoit. Tachyzoiti jsou vývojová stadia *T. gondii*, která se umí rychle dělit a roznášet tak nákazu po celém těle mezihostitele. Tachyzoiti se po čase usadí ve tkáních mezihostitele, nejčastěji ve svalové a nervové tkáni, a přemění se na bradyzoity. Bradyzoiti v mezihostiteli zůstávají do jeho smrti a již se nemění. Pokud je mezihostitel chycen kočkovitou šelmou a zkonsumován, bradyzoiti se v trávicím traktu kočkovité šelmy přeměňují na takzvané merozoity a následně na gametocyty. Gametocyty se pohlavně diferencují a poté jako pár splynou a vytvoří oocysty, které odcházejí z těla šelmy s výkaly a cyklus se opakuje (Flegr, 2011).

Vědci Berdoy a spol. (2000) testovali manipulační hypotézu na zdravých a nakažených potkanech. Zjistili, že potkan, jakožto mezihostitel, je manipulován, aby změnil svou přirozenost – pud sebezáchovy. Zdraví potkani se v normální situaci vyhýbají

pachu koček, protože jim pach kočky způsobuje úzkost. Úzkost je evolučně vyvinutý obranný mechanismus, který chrání potkany před tím, aby byli sežráni kočkou. Nakažený potkan, kterého manipuluje *T. gondii*, jejíž cílem je dostat se do kočky a rozmnožit se, se pachu kočky nebojí, naopak je jí přitahován. Nakažený potkan tak vyhledává místa s kočičím pachem, čímž zvyšuje riziko predace a své smrti. *T. gondii* totiž mění některé struktury potkanova mozku a tím i jeho chování – zdravotní stav a jiné projevy chování *T. gondii* nemění (Bedroy a spol., 2000).

Spektrum účinků *T. gondii* na meziphostile, zejména drobné hlodavce, se zdá být velmi široké, a zahrnuje např. i snížení reakčních časů nakažených hlodavců (Webster, 2001).

Ukazuje se však, že *T. gondii* může významně ovlivňovat nejen hlodavce, ale např. i lidi, sloužící jako meziphostitelé. Parazitolog J. Flegr se svým týmem během několikaletého pokusu sbíral krevní sérum lidí, kteří skončili v nemocnici po dopravní nehodě za účelem zjistit, zda *T. gondii* prodlužuje reakční časy u lidí, stejně jako u myši. Toxoplasma-pozitivní lidé se stávají účastníky dopravních nehod až 2,65krát více než lidí toxoplasmou nenakažení (Flegr, 2011).

Člověk se může nakazit toxoplasmou hned několika způsoby. K přenosu infekce může dojít zkonsumováním syrového nakaženého masa s brachyzoidy, zkonsumováním špatně umyté zeleniny (většinou kořenové) – mohou být na zelenině oocysty z kočičích výkalů. Infekce může být i v orgánech dárce při transplantaci příjemci nebo může dojít k tzv. přenosu kongenitálnímu, přičemž se toxoplasma přenesou v těhotenství placentou z matky na dítě (Votýpka, 2018).

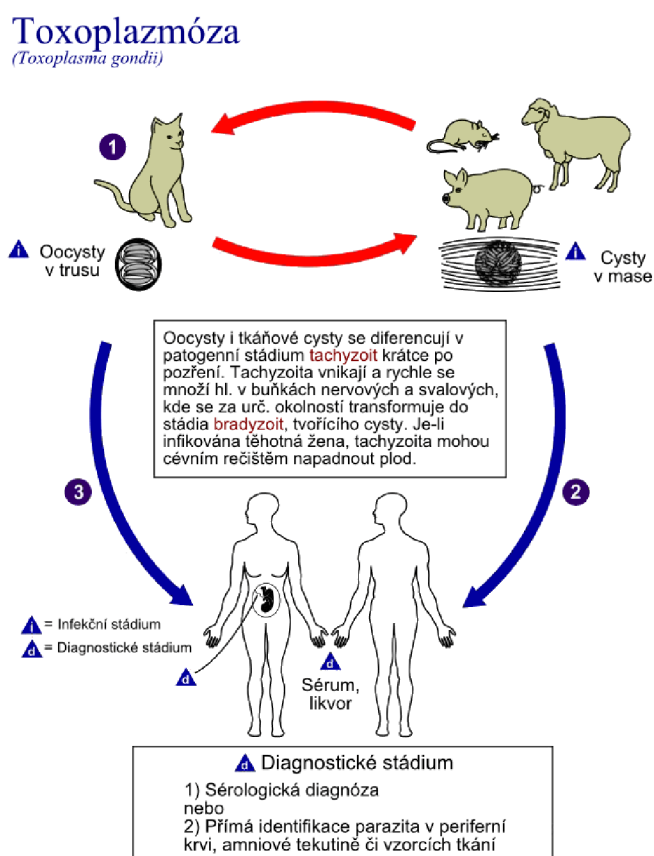
Při kongenitálnímu přenosu *T. gondii* z těla matky na vyvíjející se plod může dojít k velkému poškození plodu. Podle Hökeleka (2013) má fatální vliv na plod infekce v prvním trimestru těhotenství. Novorozenci nakažení v prenatálním stádiu mívají poškozenou centrální nervovou soustavu, kvůli čemuž se později projeví mentální retardace, poruchy zraku či sluchu, mohou trpět anémií, hydrocefalem a dalšími neurologickým onemocněním.

Manipulace meziphostitele toxoplasmou není zcela objasněná, ale podle Flegra (2011) může za manipulaci zvýšená hladina dopaminu v krvi. Sama *T. gondii* nezvyšuje hladinu dopaminu, ale svými cystami způsobuje zánětlivá ložiska v mozku. Imunitní systém meziphostitele reaguje na zánět a zvýší hladinu dopaminu. Dopamin je neurotransmiterem, který předává impulzy z nervové soustavy, konzistentní vyšší

hladinou dopaminu může docházet k poškození dopaminových drah, což může způsobovat duševní poruchy.

Výsledky Hopkinsonova výzkumu (2008) ukazují, že nakažení toxoplasmou zvyšuje pravděpodobnost vzniku schizofrenie, výzkum Mimana a kol. (2010) naznačuje souvislost mezi onemocněním toxoplazmózou a vznikem Parkinsonovy choroby. Výsledky výzkumu Kusbeciho a spol. (2011) ukazují, že toxoplasma může souviset i se vznikem Alzheimerovy choroby.

Profesor Flegr tvrdí v článku z roku 2013, že kvůli pozměněné imunitě nakažené ženy může při oplodnění toxoplasma zvyšovat pravděpodobnost vzniku chlapce a přispět ke vzniku Downova syndromu. U nakažených mužů zvyšuje toxoplazmóza hladinu testosteronu, čímž zvyšuje přitažlivost nakaženého muže pro ženy, přestože nebyl dokázán přenos toxoplasmy během pohlavního styku u člověka, u některých zvířat dochází k nákaze právě při páření.



Obrázek 1: Popis životního cyklu *T. gondii* (CDC Silva A., Moser M., 2002 přeloženo do češtiny in WikiSkripta, 2011)

2.3.2 *Ophiocordyceps unilateralis*

Ophiocordyceps unilateralis patří mezi vřeckovýtrusné houby (*Ascomycota*) a parazituje na mravencích rodu *Camponotus* v tropických deštných pralesích. Využívá tedy k dokončení svého životního cyklu jen jednoho hostitele (mravence). Mravenci rodu *Camponotus* si staví svá hnízda na stromech, ale když potřebují doplnit zásoby potravy, jsou nuceni slézt pro potravu ze stromu na zem. Právě dole ve vlhké zemi čekají na mravence spory z houby *O. unilateralis*. Když mravenec sleze na zem, přichytí se na něj spory houby a přes kutikulu, kterou houba poruší látkami rozpouštějícími chitin, se dostanou mravenci do krevního oběhu (Hlávková, 2022). Spory následně vniknou do mozku a začnou produkovat chemické látky, kterými zmanipulují mravence. Chemické látky, které houba rodu *Ophiocordyceps* produkuje k manipulaci mravence, jsou kyselina guanomáselná a sfingosin, část sfingolipidů (buněčných membránových lipidů). Po pár dnech od nákazy už houba plně ovládá mozek nakaženého mravence, ten je houbou částečně paralyzován a pohybuje se chaoticky. To dalo houbě *O. unilateralis* označení zombie houba a nakaženému mravenci z rodu *Camponotus* zombie mravenec (Evans, 2018).

Po tom, co se mravenec nakazí, po několika dnech infekce sleze dolů z hnízda a vyhledá velký list se silnou listovou žilnatinou pár decimetrů nad zemí. Houba přinutí mravence zakousnout se do spodní strany listu a nehýbat se. Pod listem, blízko země a vysoká teplota i vlhkost jsou pro houbu ideální podmínky k rozmnožování. Mravenec se po zakousnutí do listu až do své smrti nepustí a zůstává tak ve „smrtném sevření“. Po několika hodinách mravenec umírá a houba prorůstá jeho tělem. Houba využije mravencovy orgány jako zásobárnu energie, prorazí zadní část mravencovy hlavy a vytvoří stromu (stopku) směřující dolů k zemi. Ze stopky vyroste za několik dní plodnice s výtrusy, které po uzrání spadají na zem a čekají na svého nového hostitele. Když houba *O. unilateralis* napadne mravence a zmanipuluje ho, aby se zakousl do listu, začne nejen růst, ale i vytvářet imunitní látky na ochranu mravencova těla před napadením jinou infekcí (Evans a Hedges, 2011).

Když houba mravence nakazí, nesmí ho hned usmrtit a začít svůj cyklus. Mravenci totiž odnášejí své mrtvé pryč z hnízda – na místo, kam odkládají odpad a mrtvá těla. Mezi mrtvými jedinci by houba nemohla přenést své spory a nakazit tak další jedince, aby předala dál svou genetickou informaci. Nákaza se proto projeví až po pár dnech,

kdy už houba plně ovládá mravencovo tělo a je schopná dokončit svůj cyklus a rozmnožit se (Petr, 2013).

Houba *O. unilateralis* však nemá vyhráno ani po usmrcení mravence, do mravenčí schránky totiž kladou svá vajíčka zástupci hmyzu z čeledi bejlomorkovitých (*Cecidomyiidae*). Larvy se po vylíhnutí živí houbu *O. unilateralis* (Petr, 2013).

Na motivy manipulace houbou *O. unilateralis* vyšla roku 2013 počítačová hra *The Last of us*, ve které jsou lidé nakaženi parazitickou houbou *Cordyceps* (odvozeno z názvu *Ophiocordyceps*). Houba zasahuje lidský mozek a nutí nakaženého člověka k napadení dalšího člověka a tím šíření nákazy. Na motivy této hry vznikl v lednu 2023 stejnojmenný seriál.



Obrázek 2: Vytvořená stopka s plodnicí houby *O. unilateralis* rostoucí z mrtvého mravence (Biggi, 2017)

2.3.3 *Paragordius tricuspidatus* a *Spinochordodes tellinii*

Paragordius tricuspidatus a *Spinochordodes tellinii* jsou vodní parazitičtí živočichové, patřící do kmene strunovci (*Nematomorpha*). Oba strunovci parazitují na hmyzu, *Paragordius tricuspidatus* napadá a využívá nejspíše jen jediný druh, a to cvrčka lesního (*Nemobius sylvestris*). Za to *Spinochordodes tellinii* není omezen na určitý druh. Ve výzkumu Thomase a kol. (2002) bylo zjištěno, že *Spinochordodes tellinii* parazituje hned v devíti různých druhů hostitelích rovnokřídlého skákavého hmyzu. Nejčastěji byl *S. tellinii* nalezen v kobylce dubové (*Meconema thalassium*) (Thomas a kol., 2002, Urbanová, 2019).

Oba strunovci potřebují k pohlavnímu rozmnožení vodní prostředí, vyvíjí se však v těle členovců, které používají jako své hostitele. Do těla kobylky či cvrčka se dostane vajíčko strunovce tak, že se hmyz přijde napít vody a vypije s vodou i vajíčka. Tak se vajíčko strunovce dostane do trávicího traktu, kde se začne vyvíjet a růst. Případně je hmyz infikován nakaženým bodavým hmyzem, například komárem, který přenese vajíčko do hmyzu při sání hemolymfy. Larva je mikroskopické velikosti, v útrobach hostitele (kobylky nebo cvrčka) vyroste v 10 až 15 centimetrů dlouhého červa, který pak

zabírá většinu hostitelovy tělní dutiny. Když je strunovec dostatečně velký a pohlavně dospělý, přinutí svého hostitele, aby našel vodní plochu a skočil do ní. Strunovec se rozmnožuje ve vodě, poté, co se dostane ven z těla svého hostitele, zůstává ve vodě do konce života se svým protějškem. (Biron a spol., 2005).

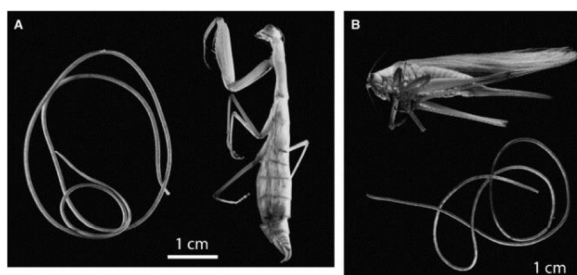
Tým F. Thomase během dvou let pozoroval v bazénu výskyt strunovců (2002). Vědci zkoumali výskyt *P. trisuspidatus* a *S. tellinii* a jejich hostitelů. Většina parazitů opustila tělo hostitele v noci. *P. trisuspidatus* parazitoval na cvrčcích během července. *S. tellinii* obýval kobylky a jiný rovnokřídlý hmyz během srpna a září. Strunovci své hostitele zmanipulují, aby našli vodní plochu a skočili do ní. Vědcům se podařilo zachytit podivné chování určitého cvrčka uvnitř s parazitem *P. trisuspidatus* – cvrček se vrhnul bezhlavě do vody (pozorovaného bazénu). Parazit čekal několik sekund, až bude cvrček celý ponořen ve vodě a řitním otvorem opustil cvrčkovo tělo a rychle odplaval. Cvrček nyní již bez parazita byl vyloven z vody a zachráněn před utonutím. Na místo toho, aby cvrček utekl do bezpečí, vrhl se do vody znovu, přestože v sobě parazita již neměl. F. Thomas konstatuje, že tento jev se v přírodě nevyskytuje, protože cvrček většinou není zachráněn a je stržen proudem tekoucí vody.

O rok později zkoumal tým vědce F. Thomase (2003) změny v mozku cvrčka lesního (*Nemobius sylvestris*) infikovaného strunovcem parazitem *Paragordius tricuspidatus*. Vědci zkoumali chemické změny a histologii mozku a objevili změny houbovitých tělísek (*corpora pedunculata*) v mozku cvrčků, které zřejmě mohou být příčinou manipulace. Další možnou známkou manipulace mohla být zvýšená hladina aminokyselin taurinu, valinu a tyrosinu v mozku cvrčka (Thomas a kol., 2003).

Výzkum Birona a spol. (2005) prokázal, že strunovec *Spinochordodes tellinii* parazitující na kobylce dubové (*Meconema thalassium*), mění u kobylky reakci na vodu. Zdravý hmyz by do vody nikdy neskočil, neboť ví, že mu hrozí nebezpečí utonutí. *S. tellinii* umí svému hostiteli ovlivnit nervovou soustavu, konkrétně strunovec produkuje určité proteiny, které pak kobylka přijímá za své. Tyto proteiny ovlivňují činnost mozku – neurotransmiterů, které mohou ovlivnit a pozměnit chování (Biron a kol., 2005).

V České republice se vyskytuje strunovec vodní (*Gordius aquaticus*), jehož vývoj z vajíčka do dospělého probíhá v hmyzím hostiteli stejně jako u předchozích zástupců (Machač, 2018).

Strunovci napadají také kromě rovnokřídlého hmyzu (*Orthoptera*) i kudlanky (*Mantodea*) rodu *Hierodula patellifera* na kterých parazituje strunovec *Chordates formosanus*. *Ch. formosanus* nevníká do svého hostitele kudlanky jako vajíčko, ale jako vajíčko se dostane do trávicí soustavy malého hmyzu, který je poté kudlankou sežrán i se strunovcem. Ve střevech kudlanky začne *Ch. formosanus* růst a na konci vývoje může být dlouhý až 90 centimetrů. Infikované kudlanky jsou kvůli manipulaci strunovcem přitahovány horizontálně polarizovaným světlem, které je právě na vodní hladině. Strunovec tak vytváří proteiny, které změni vnímání světla kudlanek (Obayashi, 2021).



Obrázek 3: Ukázka vzájemných velikostí strunovce a jeho hostitelů (Schmidt-Rhaesa, 2005)

2.3.4 *Leucochloridium paradoxum* (Motolice podivná)

Motolice podivná (*Leucochloridium paradoxum*) je parazit holoarktické oblasti se silnými přísavkami z třídy motolic (*Trematoda*) (Votýpka, 2018). Její životní cyklus zahrnuje jednoho mezihostitele – suchozemského plže jantarku (*Succinea*) a definitivního hostitele v podobě ptáka – hmyzožravého pěvce (většinou z řádu drozdovití), v jehož kloace se motolice pohlavně rozmnožuje a uvolňuje svá vajíčka do výkalů hostitele (Ohari, 2019).

Mezihostitel jantarka je vázána na vodní prostředí, tudíž se motolice podivná vyskytuje v podmáčených loukách či mokřadech. Z vajíčka motolice se vylíhne stádium miracidium – první larvální obrvené stádium. Miracidium vyleze na listy rostlin a čeká, než ho jantarka s rostlinou zkonzumuje či vnikne do plže ve vodě (Machač, 2009).

V trávicím traktu jantarky se miracidium motolice přemění na druhé larvální stádium sporocystu, ze které se vyvinou cercárie. Cercárie neopouštějí mezihostitele, ale uvnitř sporocyst se vyvíjejí v metacercárie. Sporocysty motolice se z trávicího traktu přesunují do tykadel jantarky a jsou různě zbarvené (zelené, hnědé, oranžové).

Tykadla tak vypadají zduřená a díky barvám jsou nápadná. Cílem motolice jako konečný hostitel je hmyzožravý pták – sporocysta motolice tak imituje larvu hmyzu.

Díky peristaltickým pohybům motolice připomíná tykadlo jantarky pohybující se larvu – housenku hmyzu, lákající hmyzožravé ptáky. Jantarka je tak pro ptáky snadnou kořistí, protože napadená jantarka motolicí není schopná svá tykadla se sporocystou motolice zatáhnout do ulity a bránit se tak útoků ptáků. Sporocysty přes den aktivně pulzují v tykadle, v noci zalézají do útrob jantarky. Po zkonsumování jantarky hmyzožravým ptákem mohou metacerkárie motolice podivně dokončit svůj životní cyklus a pohlavně se rozmnožit v ptačím trávicím traktu (Volf, 2007).

Podle výzkumu Wesolovské (2013) mění motolice podivná nejen jantarčin fenotyp zduřením tykadel a změnou barvu, ale sporocysty motolice dokážou ovlivnit i plžovo chování. Nakažená jantarka vyhledává osvětlená místa a leze na vyšší vegetaci, čímž se zvyšuje pravděpodobnost přenosu motolice do konečného hostitele.



Obrázek 4: Motolice podivná v pravém tykadlu plže



Obrázek 5: Motolice podivná odstraněna z tykadla

2.3.5 *Dicrocoelium dendriticum* (Motolice kopinatá)

Motolice kopinatá patří mezi parazity savců včetně člověka, je téměř kosmopolitně rozšířená a k životu potřebuje hned dva meziphostitele, konečným hostitelem jsou přežvýkavci. Prvním meziphostitelem bývá suchozemský plž lačník (*Zebrina*), suchomilka (*Helicella*) či dunovka (*Theba*). Vajíčko ve výkalech konečného hostitele pozře plž, v jehož střevě se vytvoří z vajíčka larvy miracidium. Miracidium putuje v těle plže do hepatopankreatu, v němž se vyvine na stádia sporocystu a cercárie, které pak opouští plže (Čiháková, 2011). Motolice donutí plže vytvořit kulovité slizové vaky, ve kterých jsou vypuštěny cercárie ven z těla a čekají na pozření dalším meziphostitelem. Druhým meziphostitelem se stává mravenec, který se nechal zlákat na slizové koule a nakazil se cercáriemi (Volf, 2007).

Napadený mravenec rodů *Formica* či *Tetramorium* slouží jako druhý meziphostitel a z cercárií se v něm vyvíjejí metacercárie. Cercárie po pozření projdou trávicí

soustavou a na jejím konci se usadí. Některé cercárie, obvykle jedna nebo dvě, dále migrují tělem k podjícnovému gangliu mravence, odkud mohou mravence začít ovládat. Ostatní cercárie vytvářejí cysty v trávicím traktu mravence. Nakažení mravenci tak na „rozkaz“ motolice vylézají po západu slunce na vysoká stébla trav, kde se zakousnou do listu a čekají, až budou pozřeni. Vyšší poloha totiž zvyšuje pravděpodobnost pozření mravence přežvýkavcem, který se nedaleko pase. Motolice však nechce svého meziphostitele zahubit, tak když hrozí ve vysokých teplotách přehřátí mravencova těla, povolí motolice ústup a mravenec může ze stébla slézt a přes den se schovat ve stínu (Zimmer, 2005).

Po pozření mravence přežvýkavcem migrují motolice přes střevní stěnu do jater, kde mohou žít až 8 let. V trávicí soustavě přežvýkavce se aktivují cysty motolic, cercárie, která řídila mravence v jeho hlavovém gangliu a ovládala jeho chování, umírá s mravencem (Čiháková, 2011).

Nejčastějšími konečnými hostiteli v domácích chovech jsou ovce, kozy, skot, ojedinele prase, pes či člověk. Ve volné přírodě se tasemnicí kopinatou může nakazit muflon, jelen či daněk (Volf, 2007).

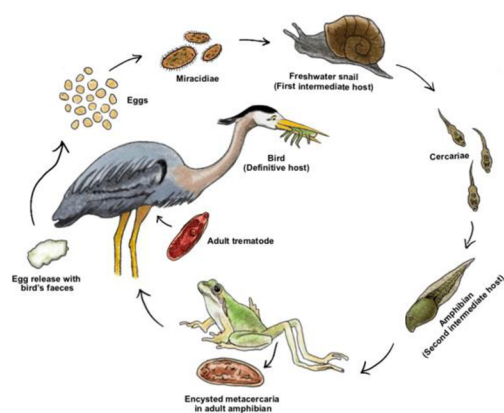
2.3.6 Ribeiroia ondatrae

Motolice *Ribeiroia ondatrae* způsobuje u amerických bezocasatých obojživelníků malformace těla – zvyšuje počet končetin. Kvůli přebývajícím zadním končetinám je rychlý pohyb pro žabu ztížený a pomaleji uniká predátorům, konečným hostitelům motolice *R. ondatrae* vodním masožravým ptákům. Motolice *R. ondatrae* tak může za vysokou mortalitu v populaci amerických žab, přesto, že smrt žaby sama nezaviní (Roberts a Dickinson, 2012).

Životní cyklus *Ribeiroi ondatrae* začíná ve vodě, kde se přemění z vajíčka na plouvoucí miracidium. Mikroskopická larva motolice najde svého prvního meziphostitele – vodního plže a infikuje ho. V plži se miracidium přemění na druhé stádium motolice – cercárie. Cercárie opouští tělo plže a vydávají se vodou hledat svého druhého hostitele – pulce žab. Když cercárie najde pulce, provrtá se mu do těla a usadí se na místě, kde se pulci během vývoje vytvoří zadní nohy. Cercárie motolice vytvoří v těle pulce cystu, která poté brání normálnímu vývoji zadních končetin pulce a místo dvou zadních končetin vyrostou pulci zadní končetiny navíc. „Postižená“ žaba může být snadnou kořistí pro masožravé ptáky, většinou z řádu volavky (*Ardea*), konkrétně

volavka bílá (*Ardea alba*) a volavka popelavá (*Ardea cinerea*). Když je žába sežrána vodním ptákem, cysty motolice se z žáby uvolní a v trávicí soustavě se motolice pohlavně rozmnožuje. Vajíčka vzniklá oplozením motolic poté vyjdou ven trusem, který může vodní pták roznést po okolí (Blaustein et Johnson, 2003).

Podle Blausteina a Johnsona (2003) může za rozšiřování motolice *R. ondatrae* i člověk, protože lidé často mění ráz krajiny, přehrazují řeky či vypouští do vod hnojiva a znečištění. Díky hnojivům roste ve vodě více řas, kterými se živí mezihostitel plž a čím více plžů, tím více je v biotopu motolic. Navíc se v upravených vodních krajinách daří dobře i vodním ptákům, které roznášejí nákazu a živí se znetvořenými žábami.



Obrázek 6: Životní cyklus *R. ondatrae*



Obrázek 7: žába znetvořena *R. ondatrae* se dvěma zadními končetinami navíc

2.3.7 Entomophthora muscae (Hmyzomorka muší)

Hmyzomorka muší patří mezi plísňě třídy zygomycet (*Zygomycetes*) a parazituje na dospělých dvoukřídlého hmyzu (*Diptera*), nejčastěji na mouchách a včelách.

Spory hmyzomorky muší létající ve větru se přichytí na dvoukřídlý hmyz, například na mouchu. Během několika hodin začne spora klíčit a prorůstá kutikulou hmyzu a tvořit vlákna. Těmito vlákny čerpá hmyzomorka živiny z hemolymfy v muší otevřené cévní soustavě. Kromě přijímání živin z krvomízy rozkládá hmyzomorka orgány mouchy, čímž získává další energii pro svůj růst. S přísunem energie plíseň rychle roste a vyplňuje tělo mouchy a zvětšuje jí zadní část těla. Vlákna hmyzomorky pronikají i do mozkového ganglia a mouchu ovládají – napadená moucha má narušenou motoriku a chaoticky létá (Mlčoch, 2016).

Před smrtí je moucha přinucena vylétnout na vyvýšené místo, přichytit se k podkladu sosákem, zvednout křídla, pokrčit přední nohy a vystrčit zadeček. V této poloze setrvává moucha do své smrti. Pár hodin po smrti mouchy začne hmyzomorka tvořit plodnici

(mycelium) a díky postavení mouchy může hmyzomorka své spóry rozprašovat pod sebe i po větru, aby zvýšila pravděpodobnost další nákazy (Čiháková, 2011).

Ideální podmínky pro tvorbu mycelií hmyzomorky musí je jaro a podzim mírného pásu, potřebuje ke klíčení spor vlhké prostředí. Hmyzomorka umí i správně načasovat smrt svého hostitele. Pro produkci svých sporů, čeká vždy do západu slunce, kdy je vlhký vzduch pro klíčení spor na kutikule much a zároveň je hmyz v klidové době a spory si tak snadněji najdou svého hostitele (Krasnoff a spol., 1995 in Čiháková, 2011; Gryganskiy a spol., 2017).

Kvůli hmyzomorci musí dochází na dvoukřídlim hmyzu k nekrofilii. Především pokud je hostitelem moucha domácí (*Musca domestica*), jsou samečci mouchy domácí silně přitahováni feromony k mrtvým nakaženým samičkám much. Samečci se s mrtvými samicemi přilétají pářit a nakazí se tak hmyzomorkou. Zurek a spol. v roce 2002 potvrdili, že samce přitahovaly více nakažené samičky než nakažení samci, nejspíše na základě chemických signálů nebo zvětšené zadní části těla mouchy. Jak přesně a čím jsou samci přitahováni k samičím mrtvolkám vědci nezjistili.

2.3.8 Sacculina carcini (Kořenohlavce krabí)

Kořenohlavce krabí je jedním z parazitů, kteří ovlivňují fenotyp svého hostitele – infikovaní krabi tak nemohou růst a nedochází k ekdyzi (svlékání pokožky) (Volf, 2007).

Korýš rodu *Sacculina*, z třídy svijonožců (*Cirripedia*) napadá mořské kraby v chladnějších mořích, znaky korýšů má však jen larválním stádiu. Volně plovoucí naupliová larva kořenohlavce zvaná cyprid má již oddělená pohlaví. Samičí larva kořenohlavce hledá ve vodě svého hostitele – kraba (Čiháková, 2011). Oproti tomu hledá samec již infikovaného hostitele kraba, v němž na samečka čeká samice kořenohlavce. K hledání hostitele mají larvy kořenohlavce uzpůsobené čichové receptory na tykadlech v podobě řasinek (Pasternak, 2005).

Poté, co samice kořenohlavce najde kraba, vnikne do jeho těla skrz otvor na končetině, prodělá přeměnu – vyvine se v dospělé. Nevypadá však jako příbuzný dospělým korýšům, ale prodělá obrovské morfologické změny. Dospělec kořenohlavce ztrácí po přeměně končetiny, ocas, články těla i ústa. Vytvoří na svém zdegenerovaném těle „kořínky“ a zapustí se jimi do tkání krabiho hostitele a těmito výrůstky vstřebává živiny z hemolymfy kraba. Kořenohlavci zanikla kostra z chitinu, má podobu hmoty,

kteřá začne prorůstat krabím tělem. Obrůstá jeho nervovou soustavu, vyplňuje tělo, a nakonec kraba vykastruje. Po vyplnění těla hostitele svým tělem vytvoří kořenonožec vnější část (externu) s vrcholem pro kopulaci a vypouštění vajíček po rozmnožení (Rowley, 2020).

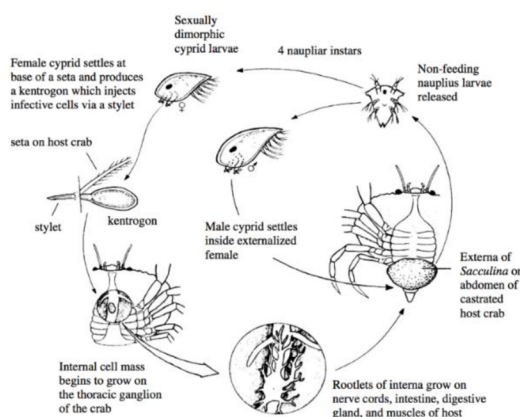


Figure 1. Life cycle of *Sacculina carcini* modified from Hickman et al. (1988).

Obrázek 8: Popis životního cyklu *S. carcini* (Hickman, 1988 in Sea Grant Washington, 2016)

Když samčí larva kořenohlavce najde nakaženého kraba samicí svého druhu, nalezne na externu vytvořenou samicí a vrcholem samec pronikne dovnitř externy – samičího těla. Uvnitř nebohého kraba splyne samec se samičkou a vytvoří oplodněná vajíčka. Externa samice kořenohlavce má 3 vstupní otvory, její vajíčka většinou oplodňují dva samečci kořenohlavce zároveň a dokážou tvořit tisíce vajíček během pár týdnů (Zimmer, 2005).

Kořenohlavec krabí způsobuje také feminizaci u svého hostitele. Pokud parazit napadne samce kraba, zmanipuluje ho, aby se choval jako samice a pečoval o svou snůšku, kterou je ve skutečnosti externa kořenohlavce. Samička i samec kraba tak pečují o externu svých parazitů, pravidelně ji čistí a pomáhají kořenohlavcům v rozšíření vajíček do oceánu (Zimmer, 2005).

Pro parazitovy morfologické změny a přestavbu celého těla při přeměně v dospělé se používá obecné označení sakulinizace. Znamená zjednodušení – redukce těla parazitů v dospělém stádiu (Volf, 2007; Zimmer, 2005).

Externa vytvořena kořenonožcem



Obrázek 9: Krab napadený samicí kořenohlavce *Sacculina carcini* s již vytvořenou externou (Le Roux, 2009)

2.3.9 *Ampulex compressa* – smaragdová vosa

Zvláštní typ parazitismu používá smaragdová vosa z řádu blanokřídlí (*Hymenoptera*). Kovově zbarvená vosa žijící v Africe a v Indii parazituje na švábech. Neproniká však sama do jejich těla, ale naklade na tělo švába svá vajíčka, která švába po vylíhnutí zkonzumují (Hopkin, 2007).

Než naklade smaragdová vosa *Ampulex compressa* vajíčka, shání potravu pro larvy, které se z vajíček vylíhnou. Většinou, když hmyzí samice obětuje svým larvám jiný druh živočicha – hmyzu – svou oběť předtím paralyzuje nebo zahubí. Smaragdová vosa donutí švába, aby za ní poslušně šel rovnou do jejího hnízda. Poté, co vosa najde vhodného švába, bodne ho do zad, čímž ho na chvíli znehybní a druhým žihadlem bodne švába do mozku – mozkového ganglia. Bodnutím vypustí ze žihadla směs jedovatých látek, které mu znemožní ovládat své tělo. Šváb je tak schopen chůze, ale sám ji neovládá. Vose stačí uchopit švábovo tykadlo a nasměrovat ho k hnízdu, kde ho čeká smrt. V hnízdě naklade vosí samička na švába svá vajíčka a švába s vajíčkem obestaví zdí jako ochranu proti predátorům. Po vylíhnutí začnou larvy konzumovat stále žijícího, ale znehybněného švába. Larva začne nejprve sát ze švába tělní tekutiny, poté se prokouše skrz tělní pokryv do těla a vyžírá ho zevnitř. Životně důležité orgány si nechává až na konec. Po třech dnech larválního stadia a hostině na švábovi se larva zakuklí a po dokončení přeměny v kukle se z larvy stane dospělec živící se nektarem z květů (Banks et Adams, 2012).

Podle Libersata (2007) vpraví vosa do mozku švába mnoho toxinů, aby ho mohla ovládat. V experimentu z roku 2007 vědci Libersat a spol. zjistili, že hlavní látkou v jedu, která švába ovlivní, je neurotransmitter, který blokuje receptor pro oktopamin. Oktopamin je neurotransmitter, “hormon” bezobratlých a některých rostlin, sloužící k řízení vzorců chování, včetně pohybu. Pokud vosa receptor zablokuje, Šváb ztrácí kontrolu nad svým tělem.

Dalším, nemálo významným objevem Libersata a spol. (2007) je, že určitou látkou lze zvrátit účinky vosího bodnutí a ovlivněnému švábovi tak vrátit zpět jeho vlastní vůli a kontrolu.



Obrázek 10: vosa *A. compressa* napadající švába (Biggi, 2015)

2.3.10 *Dinocampus coccinellae*

Dinocampus coccinellae je vosička patřící do čeledi lumčíkovití (*Braconidae*) a řádu blanokřídlého hmyzu (*Hymenoptera*). *D. coccinellae* se vyskytuje v mírném, subtropickém a tropickém pásmu, kromě afrických pouští a ostrovů v oceánech. Zkrátka všude, kde se vyskytuje i její hostitel *Coleomegilla maculata*, brouk z čeledi sluněčkovití (*Coccinellidae*), známý jako slunéčko. *D. coccinellae* paraituje i na jeho příbuzném – sluněčku sedmítečném (*Coccinella septempunctata*). Brouci z čeledi sluněčkovitých jsou hospodářsky používáni pro biologickou kontrolu – požírají škůdce na rostlinách, nejčastěji mšice (Ceryngier, 2023).

Dospělá parazitická vosička *D. coccinellae* neparazituje na hostiteli sluněčku *C. maculata* přímo, ale využívá hostitele k vývoji svého potomka. Samice *D. coccinellae* hledá pro své vajíčko dospělé slunéčko, do kterého naklade jedno vajíčko. Podle pozorování Davise a spol. (2006) má vosička *D. coccinellae* určitá kritéria pro výběr hostitele. Výzkum ukázal, že preferuje dospělé samice sluněček, které vypadají dobře živené a zdravé. Když si samice *D. coccinellae* vybere vhodného hostitele, naklade kladélkem vajíčko hostiteli do zadohrudí. Z vajíčka se po týdnu vylíhne larva s kusadly – v případě, že by v těle hostitele (sluněčka) byl i další parazit, kusadly může larva jiného parazita zneškodnit. Z larvy *D. coccinellae* se líhne převážně samice, protože dospělec *D. coccinellae* využívá thelytokynní partenogenezi (ze samičiných neoplozených vajíček se líhnou samice) (Davis, 2006).



Obrázek 11: Samice *D. coccinellae* klade vajíčko do sluněčka sedmítečného (*C. septempunctata*) (Van Duinen, 2009)

V těle sluněčka se larva *D. coccinellae* živí pouze živinami a tukovými zásobami, které slunéčko přijímá – neničí tak hostitelovu tělní dutinu ani mu nepožírá orgány s výjimkou gonád (Geoghegan a kol., 1997 in Davis, 2006).

Larva *D. coccinellae* od vylíhnutí z vajíčka do plného vyvinutí projde během tří týdnů čtyřmi instary (svlékáním) a poté opustí tělo svého hostitele slunéčka řitním otvorem. Svého hostitele však nepustí na svobodu, ba naopak. Když larva *D. coccinellae* opouští tělo svého hostitele, produkuje látky, které působí jako jed a slunéčko paralyzují. Larva vytvoří pod sluněčkem kokon a vlákny sváže paralyzovanému sluněčku nohy ke kokonu. Hostitel, který je ke kokonu pevně přivázan a paralyzován slouží larvě jako tělesná stráž a ochrana před predátory. Aposematické zbarvení slunéčka odrazuje predátory a když se predátor přiblíží kokonu, paralyzované slunéčko provádí nepravdělné záškuby, které predátora odeženou. Zhruba po týdnu z kokonu vyleze dospělá vosička *D. coccinellae* a opouští svého hostitele (Maure a kol., 2011).



Obrázek 12: Kokon larvy *D. coccinellae* pod paralyzovaným sluněčkem

Zjištěním Maure a kolektivu ve výzkumu z roku 2011 bylo, že pro bezpečí svého kokonu musí larva vosičky *D. coccinellae* investovat svou energii i pro přežití hostitele – strážce slunéčka a dochází tak ke snížení produkce vajíček. Přestože je *D. coccinellae* parazitoid – vyvíjí se v těle svého hostitele, nezabíjí ho. Napadené slunéčko má šanci na přežití, pokud nezemře hladem. Podstatná část parazitovaných jedinců slunéček se poté, co z kokonu vyleze dospělec *D. coccinellae*, zbaví paralýzy a plně se zotaví. Evolučně však lze přeživšího brouka považovat za mrtvého, protože larva *D. coccinellae* hostiteli zkonsumovala jeho gonády a slunéčko se tak nemůže dál rozmnožit a předat svou DNA.

Podle výzkumu Obricky a Taubera z roku 1976 parazituje *D. coccinellae* kladením vajec do přezimující populace *Coleomagilla maculata* dvakrát ročně. Nejprve v září, dříve, než se slunéčka odeberou k přezimování ve shlucích a poté na jaře během ukončení diapauzy slunéček.

2.4 Analýza učebnic přírodopisu pro 2. stupeň základních škol

Pro analýzu bylo použito 5 druhů učebnic pro 6. a 7. třídu, a to z nakladatelství Fraus, Nová škola, Prodos, Taktik a Fortuna. Tato nakladatelství byla vybrána, protože patří k nejpoužívanějším učebnicím na českých základních školách.

V učebnicích od nakladatelství Fraus – Přírodopis pro 6. třídu zmiňují parazitismus jako pojem spolu s nejznámějšími příklady parazitů, například patogeny způsobující choroby – cizopasně viry a bakterie, parazitické prvoky (trypanozoma spavičná, měňavka úplavičná). Dále představují žákům parazity z kmenů ploštěnci (tasemnice, motolice), hlístice (škrkavka dětská, roup dětský, svalovec stočený a háďátko řepné) a kroužkovci (pijavka lékařská, chobotnatka rybí) a parazité z kmenu členovci, kteří jsou žákům možná více známi, neboť se s nimi mohou často setkat. Řád roztoči (klíště obecné, zákožka svrabová) a z třídy hmyzu (Insecta) jsou vybrány parazité rostlin (mšice, puklice švestková, molice skleníková, mandelinka bramborová a kůrovci), ektoparazité obratlovců (veš dětská, štěnice domácí, blecha obecná, komár pisklavý, ovád hovězí a bodalka tse-tse přenášející spavou nemoc). Nejbližší informací spojenou s tématem manipulační hypotéza je zmínka o lumcích, kteří kladou svá vajíčka do hostitele a jejich larva poté vyžírá hostitele zevnitř (Čabradová 2012).

V učebnici Fraus – Přírodopis pro 7. třídu jsou jako parazité vypsané mihule říční (parazit ryb) a kukačka obecná, využívající hnízdní parazitismus (popsán v kapitole 2.1.3).

Učebnice nakladatelství Nová škola – Přírodopis pro 6. třídu 1. a 2. díl obsahuje stejný výčet parazitů, jako výše zmíněná učebnice Fraus – Přírodopis pro 6. třídu. Učebnice Nová škola obsahuje navíc kapitolu speciálně na téma vnitřní parazité a zmiňuje pojem parazitoid, který vysvětluje na příkladu lumka (Musilová, 2018).

Učebnice nakladatelství Prodos obsahuje kromě ostatních parazitů i jeden příklad manipulující hypotézy. Mezi příkladové parazity řadí učebnice Prodos pro 7. třídu: cizopasně viry a bakteriofágy, houby jako parazity rostlin, například václavka obecná či sněť kukuřičná, cizopasně prvoky spolu s jejich životním cyklem (zimnička tropická a měňavka úplavičná) (Kočárek, 2015).

Z kmene ploštěnci jsou vybrány tasemnice dlouhočlenná a bezbranná a motolice jaterní. Vyskytuje se zde zmínka o manipulační hypotéze – ovlivnění hostitelova chování. Učebnice uvádí příklad manipulace na motolici a mravenci. Tento druh manipulace s vybranými zástupci se shoduje s motolicí kopinatou (*Dicrocoelium dendriticum*) a její manipulací s mravencem rodu *Formica* či *Tetramorium*.

Dalšími zmíněnými parazity jsou hlísti (škrkavka dětská, roup dětský a háďátko obecné), kroužkovci (pijavka lékařská), roztoči (klišť obecné, sametka podzimní, zákožka svrabová) a z říše hmyzu (vši, štěnice a blechy).

Učebnice přírodopisu pro 6. třídu z nakladatelství Taktik zahrnuje již několikrát zmíněné parazity z říše virů a prvoků, z kmenů hlísti, kroužkovci a parazity ze třídy hmyzu. Z parazitů ovlivňujících chování hostitele jsou jmenováni *Toxoplasma* (*Toxoplasma gondii*) (není popsána manipulace, jen možné následky poškozeného plodu, pokud se žena nakazí v těhotenství) a motolice kopinatá (*Dicrocoelium dendriticum*).

Motolice kopinatá:

Tato motolice je také **parazitem přežvýkavců**. Ve svém vývojovém cyklu má ovšem kromě plže, tentokrát suchozemského, také mravence. Ten při napadení larvou motolice mění své chování, vylézá z úkrytu na vrcholky trav, kde čeká, až ho pozře přežvýkavec.

Obrázek 14: Úryvek z učebnice Taktik, Motolice kopinatá, Přírodopis pro 6. třídu (Žídková et al., 2017)

V Učebnici přírodopisu pro 6. třídu z nakladatelství Fortuna nebyla nalezena žádná zmínka o manipulační hypotéze. (Kvasničková, 2009)

Pod kontrolou

Jsou různé způsoby, jak mohou parazitizující živočichové svému hostiteli znepříjemňovat život. Připomeňme si jednobuněčné parazity nebo tasemnice. Existují však ještě rafinovanější paraziti, jejichž přítomnosti si hostitel nemusí vůbec povšimnout, a kteří dokonce **ovlivňují hostitelovo chování**.

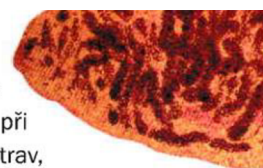
Příkladem je druh motolice, která dokáže zcela změnit život mravence, v němž se zabydlí. Cílovou stanicí, kde se tato motolice pohlavně rozmnožuje, je trávní ústrojí ovce (nebo jiného přežvýkavce). Aby se do něj motolice dostala, nakazí nejprve mravence. V jeho těle se nepohlavně rozmnoží, obsadí nervové uzliny a začne ho ovládat. Mravence, aniž by chtěl, vyleze každé ráno na stéblo trávy, zakousne se do listu a čeká. Pokud denní teplota vystoupí příliš vysoko nebo pokud již slunce zapadne, dovolí motolice mravenci slézt a odpočinout si. Jinak ho obtěžuje tak dlouho, dokud kolem nejde ovce, trávu i s mravencem nesežere a motolice tak nedosáhne svého.

Nabízí se otázka, kolik podobných organismů žije v nás, jak asi mění naše chování a proč.



4.9 Mravence zakousnutý na špičce listu trávy – na přání svého parazita motolice

Obrázek 13: Úryvek z učebnice Prodos o manipulaci motolice mravencem, Přírodopis pro 7. třídu (Kočárek, 2015)



3 Metodika

K vytvoření povídek s tématem manipulujících parazitů bylo potřebné vybrat vhodného zástupce z rešerše se zajímavým a dobře popsatelným životním cyklem. Do povídek byli vybráni zástupci s rozdílnými druhy hostitelů a s rozdílnou manipulací, aby se manipulace neopakovala. Například *Ampulex compressa* a *Dinocampus coccinellae* používají podobné mechanismy – obě svého hostitele paralyzují, nakladou do něho či na něho vajíčka a larva se poté živí hostitelovy vnitřnostmi. Proto jsem pro povídku vybrala jen jeden z těchto příkladů.

Povídky byly psány poutavě a vtipně. Jednoduchou formou předat čtenáři základní informace o parazitovi. Popisy manipulací nejsou odborně přesné, ale podle mého názoru jsou dostačující, aby čtenáři vysvětlily danou problematiku. Povídky jsou směřované žákům 2. stupně základní školy, ale i pro širokou veřejnost, která nemá s tímto tématem zkušenosti a nepředpokládám u ní hluboké biologické znalosti. Právě z tohoto důvodu jsou povídky zjednodušeny, a slouží pouze k nástinu tématu a rozšíření čtenářova povědomí o parazitismu.

Po sepsání povídek byl vytvořen dotazník pro výzkum zkušeností s parazitismem a manipulační hypotézou. O přečtení vytvořených povídek a o následné vyplnění otázek v dotazníku byli požádáni 4 studenti biologického oboru na vysoké škole, kteří dotazník rozšířili mezi své přátele a rodinu. Respondenty tvořili lidé z různých oborů, které zaujalo téma povídek a celkově koncept „něčeho nového“, o čem ještě neslyšeli. Také bylo respondentům doporučeno, aby po každé přečtené povídce vyplnili část dotazníku týkající se dané povídky.

Celkem si přečetlo povídky a odpovědělo na dotazník 19 respondentů. Respondenti se pohybovali ve věku od 15 do 55 let, většina byla vysokoškolskými studenty v různých oborech.

3.1 Dotazník

Rozbor povídek

Dobrý den,

věnujte prosím několik minut svého času vyplnění následujícího dotazníku.

Jde o výzkum pro mou bakalářskou práci zabývající se popularizací manipulační hypotézy. Přečtěte si, prosím, nejdříve přiložené povídky a poté odpovězte na otázky. Otázky jsou seřazené stejně jako povídky, 1 strana (3 otázky) se vždy vztahují jen k jedné povídce.

Moc děkuji za Váš čas.

Napište prosím Váš věk:

Jakým oborem se zabýváte/studujete?

Nápověda k otázce: např. ekonomika, zdravotnictví, učitelství čeho ...)

Napište prosím, kdo / co je to podle Vás parazit?

Máte zkušenosti s parazity?

Nápověda k otázce: pokud ano, s jakými?

Slyšeli jste někdy o pojmu manipulační hypotéza?

Nápověda k otázce: Vyberte jednu odpověď

Ano

Ne

Otázky ke všem jednotlivým povídkám (1-5):

Slyšeli jste někdy o tomto tématu?

Kdo je podle Vás v tomto příběhu hlavním hrdinou?

Líbila se Vám tato povídka?

Nápověda k otázce: *Doporučili byste ji přečíst dětem na základní škole?*

- Ano všichni by ji měli číst!
- Ano, ale je to moc děsivé, pro děti moc krutárna!
- Radši ne mám z toho noční můry
- Rozhodně ne
- Jiná

Moc děkuji za vyplnění!

4 Výsledky – vypracované povídky

4.1 Jak udělala houba Ofélie z mravence zombie

Za devatero horami a velkým oceánem, v hloubi tropického deštného pralesa, pod velkou liánou žije houba Ofélie. Není to však ledajaká houba, Ofélie nemá klobouk ani nohu, jako houba, kterou sbíráme v lese a děláme z ní smaženici. Ofélie je pro svět skoro neviditelná. A nemaskuje se jen tak pro nic za nic. Každá houba z její rodiny totiž jako malá spora – něco jako semínko – leží na zemi a číhá na mravence.

Číhá a čeká, než nějaký mraveneček opustí hnízdo na stromě a sleze dolů. Říkáte si, co dělají mravenci na stromech? Oni totiž mravenci v tropickém deštném pralesu nedělají velká hnízda na zemi, jako u nás v lese, ale staví si mraveniště v korunách stromů.

Mezitím se pod stromem, kde bydlí mravenci, vyhřívá na sluníčku Ofélie a čeká, až sleze nějaký mravenec, kterého by se mohla zmocnit. A u toho si zpívá:

„Jen pojď ke mně mravenečku,
nalezu ti do zadečku,
ze zadečku do hlavičky,
jen tam vedou mé cestičky”

Ofélie se d'ábelsky pousmála, protože z dálky viděla, jak pár mravenců právě slézá ze stromu. Ofélie se přikrčila, aby si jí nevšimli a zpívala dál:

„Tam si budu růst a zpívat,
před světem se tiše skrývat,
tvé tělíčko rozkládat,
a tvou mysl ovládat!”

Houba Ofélie se zaradovala, protože jeden mravenec si to ze stromu namířil přímo k ní, už stačilo jen aby prošel blízko Ofélie a houba se ho chytne. Mravenec se blíží a Ofélie se připravuje na útok. Než skočila na mravence, dozpívala svou písničku:

„Řid' se mými rozkazy,
budeš jako v tranzu,
zahajuji invazi,
staň se zombie z Marsu!”

Jen to Ofélie dořekla, chytila se mravence za nohu. Mravenec si toho ani nevšiml, protože Ofélie je i pro mravenčí oči moc malinká.

Mezitím, co mravenec s kamarády chodili po pralese a hledali potravu pro sebe a svou rodinu, začala se Ofélie prodírat kůží svého mravenčího hostitele, které se říká kutikula, do jeho těla. Když se dostala dovnitř, chvíli putovala v mravencově těle mezi orgány, až našla cestu do mozku. Tam se usadila a začala spřádat své plány. Chce totiž ovládnout mravence a až přijde ten správný čas, přivést na svět své děti. Proto, aby mohla zajistit život svých dětí, musí mravenec zemřít. Nejprve ale Ofélie pomalu ovládne jeho tělíčko.

Když se mravenec se svými druhy vracel ze země domů na strom, bylo mu trochu divně, cítil se unavený a trochu zmatený. To totiž Ofélie pomalu začala ovládat jeho mysl. Nemůže však mravence ovládnout úplně hned, natož ho usmrtit. Mravenci totiž své nebohé zemřelé kamarády odnášejí na speciální místo dál od mraveniště, kterému říkají stejně jako my lidé, hřbitov. Na hřbitově by se Ofélii moc nelíbilo, protože tam nejsou dobré podmínky pro ni ani pro její děti. Pod vládou Ofélie byl mravenec tak unavený a zmatený, že do mraveniště ani nedošel. Sedl si na list keře vedle stromu a usnul. Jeho kamarádi šli napřed, aby donesli čerstvé jídlo do mraveniště. Když usnul, Ofélie se začala v jeho těle zabydlovat. Aby byla silná a připravila se na příchod svých dětí, musela postupně vyžít mravencovo tělo. Zamyslela se: „Bez čeho by se mravenec obešel, abych já byla najedená a mravenec dál žil?“ Jako předkrm si tedy dala jeho rozmnožovací orgány. Protože měla ještě hlad, zakousla se i do trávicí soustavy a jako dezert slupla malpigické trubice určené k vylučování, podobně jako lidské ledviny. „Můžeš dýchat a pohání tě srdce, to ti musí stačit“ pomyslela si Ofélie, jako by mluvila se svým mravenčí hostitelem.

Chudák mraveneček se vzbudil, ale už nebyl sám sebou. Ofélie rozhodla: „Už je čas, zahajuji konečnou fázi!“ V mravencově mozku se Ofélie chopila ovládnutí a zadala mu příkaz: „Jdi a vylez na rostlinu s velkým listem, zakousni se do listu a už se nepusť!“ Jak Ofélie rozkázala, bezduchý mravenec šel a provedl. Našel rostlinu s velkým listem, vyšplhal po jejím stonku až na list, našel místo se silnější žilnatinou a zakousl se. Tímto činem skončil mravencův krátký život, neboť za pár hodin mu přestalo bít srdíčko a mravenec zemřel. „Výborně, můžeme pokračovat!“ Zajásala Ofélie nad jeho skolem. V tu chvíli jí začala opravdová práce. Spořádala zbytek mravencových orgánů, a ještě trochu vyrostla.

Díky energii z jeho těla vytvořila Ofélie ze svého těla stopku, kterou mu prorazila hlavu a na stopce vytvořila plodnici směřující k zemi. Za několik dní uzraje Ofélieva plodnice a vysypou se z ní výtrusy na zem.

Výtrusy Ota, Otakar, Olívie a další, jsou dětmi Ofélie, kteří čekají na vlhké zemi na dalšího mravence, do kterého by se nastěhovali a prožili by stejně krásný život jako Ofélie, s dobrým koncem pro ně a se špatným koncem pro jejich mravenčí oběť.

4.2 Strastiplná cesta motolice Marcelky

Bylo nebylo, u krásné zelené louky blízko mokřadů a voňavého lesa, ležela pod statnou borovicí mělká tůňka a v ní právě přišla na svět motolice Marcelka.

Marcelka byla ještě malé vajíčko, když se vydala na cestu za svým snem najít svou lásku a mít s ní děti. Věděla, že to nebude lehké. Než se s ní maminka rozloučila, pověděla jí: „Čeká tě náročná cesta Marcelko. Přestože jsi ještě malé vajíčko, nezoufej, za chvíli vyrosteš a bude z tebe larva. Aby z tebe byla dospělá motolice, musíš udělat přesně to, co ti řeknu. Dobře mě tedy poslouchej a zapamatuj si mou radu.”

„Vylez na nejvyšší list u tůně,
nech jantarku tě sníst a
až ucítíš střeva vůně,
bude z tebe larva jistá!
Potom musíš tělem plout,
do tykadel se nasoukat,
jako larva housenky
v tykadlech se posouvat.
Donuť šneka vyjít ze stínu,
aby tě pták spatřil,
pak nic nebrání tvému plánu,
v jeho střevech je tvůj cíl!”

Marcelka si zapamatovala, co jí maminka řekla a vydala se na cestu. Vylíhla se z vajíčka a stala se z ní larva. Teď už se mohla hýbat. Vyškrabala se na nejvyšší list, který u tůně viděla. Čekala a čekala, najednou slyší a už i vidí někoho přicházet. Objevil se před ní velký šnek! Marcelka je totiž hrozně moc malinkatá, menší než zrnko písku, proto se jí zdá šnek velký jako mrakodrap. „To bude asi ta jantarka, o které mi maminka povídala. „Snad budu mít štěstí a ukousne si list, na kterém sedím”

pomyslela si Marcelka. A měla pravdu, jantarka je druh šneka, který se právě chystal zakousnout do listu s Marcelkou. Když jantarka ukousla list, Marcelka i s listem se ponořila do tmy, do útrob šnečího těla.

Chudák Marcelka dostala strach, protože nic neviděla a nevěděla co má dělat. V tu chvíli ji napadlo: „Maminka říkala, že až ucítím vůni, jsem na správném místě!” Zaradovala se. A tak se motolice Marcelka vydala na cestu šnečí trávicí soustavou. Prošla jícnem až do žaludku, ve kterém se zastavila a odpočinula si. Ve spánku načerpala sílu, aby mohla vyrůst ve sporocystu, další vývojové stadium. Když se z Marcelky stala sporocysta, věděla, že se musí posunout dál a najít tykadla. Proplula tělem šneka až do hlavy a uviděla tykadla. „Jupí, teď už se musím jen dostat do tykadel, pohybovat se jako housenka, aby si mě všiml hmyzožravý pták a s chutí šneka i se mnou slupl!” Jak řekla, tak udělala a vlezla do šnečích tykadel. Začala se pohybovat, aby připomínala pohyb housenky hmyzu. Šnek, v jehož tykadle se motolice Marcelka zahrnula, se schovával ve stínu před predátory, a tak si nemohl snažící se Marcelky nikdo všimnout. Naštěstí Marcela věděla, že ptáci ji ve stínu neuvidí a donutila šneka vylézt na sluníčko. Protože byla Marcelka krásně barevná, měla zelenou, žlutou i oranžovou barvu, jako opravdová housenka, netrvalo dlouho, než si jí všiml hmyzožravý kos. Měl jistě velký hlad, a tak neváhal a skočil po Marcelce. Spolu s ní slupl i šneka z ulity, na kterém si velice pochutnal, přestože kosi většinou šneky nejedí.

Motolice Marcelka se tak ocitla už podruhé v něčem žaludku, ale tentokrát věděla, že je v cíli. Stačí si jen počkat a doufat, že i jiná motolice ošálila kosa, v jehož žaludku teď leží. A měla velké štěstí. Když Marcelka vylezla z tykadla šneka a šla se porozhlédnout po ptačím žaludku, potkala se tam s motolicí Milanem. Tomu se povedla stejná cesta jako Marcelce. Oba se zaradovali, skamarádili se a mohli spolu vytvořit další motolice.

4.3 Jak přišla na svět vosa Vendelína

V daleké tropické Indii na okraji lesa žije vosa Vendula. Nevypadá však jako nám známá vosa, Vendula je krásně zbarvená. Má kovově modré tělíčko a výrazně červený prostřední pár nožiček. Vendula je dospělá vosa a jen tak si poletuje po krajině a sem tam si zaletí na květ pro nektar k obědu.

Jednoho dne si řekla: „Už mě nebaví, jak jsem pořád sama a nemám si s kým povídat. Kéž bych tak měla dceru, abychom mohly létat spolu!” Jenže přivést na svět malou

vosičku není tak snadné. Vendula věděla, jak přišla na svět ona sama, a tak začala vymýšlet, jak přivést na svět svého potomka. „Potřebuji najít švába, ve kterém bude moje vosička vyrůstat. My smaragdové vosy se totiž potřebujeme vylihnout z vajíčka a zakuklit se uvnitř těla švába.” Dala se tedy do hledání správného švába pro svou vosičku. „Šváb musí být dobře urostlý, velký a zdravý, aby mělo moje miminko dost prostoru a čerstvé jídlo,” pomyslela si. Jak tak létala nad zemí vedle lesa, zahlédla švába vypadajícího přesně podle jejích představ. „To je on, pokojíček pro mou vosičku!” zvolala radostně Vendula. Chvilí švába pozorovala z povzdálí, jestli dobře chodí a jí, aby poznala, zda není nemocný. Šváb byl zdravý jako řípa, protože slupl všechno, co mu leželo pod nohama. Aby mohla Vendula provést svůj ďábelský plán, musela dostat švába do svého hnízda. Věděla, že by šváb nešel dobrovolně, a tak ho musela donutit. Vendula na nic nečekala a střemhlav letěla přímo na švába. Šváb si jí ani nevšiml, jen ucítil, jak mu zády projelo žihadlo. Žihadlo ho naprosto ochromilo, že se nemohl hýbat. Když ležel šváb nehybně na zemi, Vendula zasadila druhé žihadlo do jeho mozku. Tentokrát vypustila žihadlem jed, kterým udělala ze švába poslušného beránka. Šváb už se vůbec nebránil a udělal vše, co mu Vendula nařídila. Aby Vendula dostala švába do svého hnízda, chytla ho za tykadlo a vedla ho jako pejska na vodítku.

Když dorazili do hnízda, Vendula posadila švába do rohu hnízda. „Teď se nehýbej a klidně sed!” nařídila Vendula švábovi. Vendula nakladla své vajíčko na švábovu nohu a pro jistotu ho obestavěla zdí. „To aby mi tě někdo nevzal, vosičko, kdekdo by si na tobě rád smlsnul”, říkala Vendula svému vajíčku, když stavěla kolem švába zeď.” Teď už stačilo Vendule jen čekat, než se z vajíčka vylíhne její vysněná dcera. Mezitím, co si Vendula poletovala venku a pila nektar z květů, z vajíčka se vylíhla larva. A protože měla hlad a žízeň, začala vysávat tělní tekutiny ze švába.

Šváb se ani nehnul a nebránil se, protože na něj stále působil Vendulčin jed. Jak tak larva rostla, měla stále větší a větší hlad, že už jí nestačily jen švábovy tělní tekutiny a prokousala si díru do švábova břicha. Pochutnávala si na švábových orgánech a díky tomu rychle vyrostla. Za tři dny už byla larva dost velká, přišel její čas se zakuklit a přeměnit se v dospělou vosu. Vendula už netrpělivě čekala na svého potomka a každou chvíli se létala dívat do svého hnízda, jestli už je vosička venku. Netrvalo to dlouho a v hnízdě za zdí, kterou Vendula sama postavila kolem švába, uslyšela divné zvuky. Vosa Vendula rychle vletěla do hnízda a čekalo jí tam velké překvapení.

Její dcera, která se právě vylíhla z kukly, krásně kovově zbarvena, se prokousala zdi a čekala na svou maminku. Vendula pojmenovala svou dceru jménem Vendelína a létaly si spolu šťastně z květu na květ až do smrti.

4.4 Jak kořenohlavec Karel za Kamilou přeplaval půl oceánu

V klidném a blankytně modrém Tichém oceánu, v chladnějším moři blízko pevniny, unášel vodní proud Kamilu, vajíčko kořenohlavce. Kořenohlavci jsou vzdálenými příbuznými raků a krabů. Po pár dnech vyrostla z vajíčka Kamily larva, které se říká cyprid. Larva Kamila vyrostla do velikosti zrnka rýže, plavala dál mořem, než ji proud zanesl blízko pobřeží. Aby se z Kamily mohl stát dospělý kořenohlavec, musí najít kraba a zmocnit se ho. To ale pro Kamilu není žádný problém, u břehu je totiž krabů spousta. Když se kořenohlavec Kamila blížila ke břehu, ucítila svým skvělým čichem na tykadlech vůni kraba a vydala se přímo za ním. Zanedlouho narazila na kraba, krásného a urostlého, pro Kamilu ideální kus.

Kamila ke krabovi nenápadně připlula, přece jen je velmi malinká, a vklouzla blízko k němu úplně bez povšimnutí. Chvilí kolem kraba pokukovala, kudy se do něj nejlépe dostat, až uviděla perfektní místo – nehlídaný otvor na jedné z končetin. Vrhla se ke končetině a rázem byla v krabovi. „To jsem si našla ale krásný domeček!“, pochvalovala si Kamila, „Tady mi bude krásně, jen co si to tu trošku upravím.“ V tu chvíli se nic netušícímu krabovi začala kořenohlavec Kamila zabydlovat v těle.

Z larvy se nestal dospělec, jako u většiny živočichů, ale Kamila se začala proměňovat na beztvárovou hmotu. Z krásně malé nevinné larvičky plující oceánem se stalo něco bez hlavy, končetin a ocasu, jako by se Kamila rozplynula a přeměnila se na těsto podobné lávě vytékající ze sopky. Přeměnu své podoby však udělala záměrně, protože v krabovi začala prorůstat do celého jeho těla. Její tělo se rozpínalo podél svalů a krunýře, jako by do krabího těla zapouštěla kořeny, kterými čerpala všechny živiny z jeho těla. Kamila za chvilku vyplnila celé krabovo tělo, od hlavy až do končetin. Protože jí živiny z těla hostitele nestačily, a měla po dlouhé plavbě mořem ještě hlad, zdlábla jako zákusek i krabovy rozmnožovací orgány.

Po takovém energicky bohatém jídle měla dost sil na vytvoření externy – část Kamily se protlačila krabovou kloakou a vytvořila ze svého těla vak a čeká, až si ji najde kořenohlavčí samec. Možná si říkáte, nevádí krabovi, že se mu v těle Kamila

rozvaluje, a navíc má u zadečku něco navíc? Kamila krabovi namluvila, že vak jsou jeho potomci ve vajíčkách. Krab se tak o Kamilin vak pečlivě staral.

Mezitím v moři, kousek od Kamily a jejího kraba, plave larva kořenonožce Karel a netrpělivě vyhlíží svou životní partnerku. Karel vypadá úplně stejně jako Kamila, když byla ještě larvou, jen nehledá kraba, aby se do něho nastěhoval. Samci kořenohlavců, i Karel, si hledají své partnerky, které už byt v podobě kraba mají. Aby Karel našel Kamilu nebo jinou samici kořenohlavce, má vyvinutý skvělý čich, stejně jako Kamila. Jen co Karel ucítil závan vůně Kamily, začal plavat jako o závod.

Každým uplavaným metrem sílila vůně samice Kamily, které byl Karel na stopě, zatímco na něho Kamila netrpělivě čekala. Překonal korálový útes, i hlubokomořský příkop, o ploutvičku unikl strašné smrti před žralokem obrovským. Když už se Karel bál, že ztratil stopu ke své vyvolené, uviděl na dně vody kraba s podivným vakem na zadečku. „To bude ona, má žena, za kterou se již několik hodin snažím doplavat.

Karel, celý vysílený po strastiplné cestě, připlul ke Kamile v krabovi, sedl na vak čouhající ze zadečku kraba a otvorem ve vaku se po hlavě vrhnul dovnitř. Celý šťastný, že Kamilu našel, se k ní přitiskl a uvnitř kraba spolu zplodili spousty dětí.

4.5 Cesta strunovce Gustava z vody do vody

Byl jednou jeden les a u lesa ležel velký rybník. V rybníce plavala spousta ryb, rostla v něm spousta řas a vodních rostlin, a mezi všemi obyvateli rybníka se vodou vznášelo malinké vajíčko strunovce, menší než zrnko písku. Jmenovalo se Gustav. Strunovec je živočich, v dospělosti podobný dlouhému červu či žížale. Vypadá jako provázek nebo přetržená struna, podle které dostal své jméno.

Těsně vedle Gustava se ze dna vynořil obrovský kapr, velkou rychlostí prorazil vodu a vyskočil nad hladinu. Když spadl zpátky do vody, nárazem vytvořil vlnu, která odnesla vajíčko strunovce až ke břehu. Chvilku se houpalo vajíčko Gustav na vlnce mezi kamínky a zbytky rostlin, které vody pravidelně vyplavují na břeh. Pak z ničeho nic, přišla se napít vody k rybníku luční kobylička. Sehnula se na břehu k vodní hladině a nasála doušek vody. K její směle nasála spolu s vodou i Gustava.

Strunovec Gustav se najednou ocítl v tobogánu kobyličiných útroch, projel jejím trávicím traktem až do žaludku, ve kterém vyrostl a stala se z něho larva. Jako larva se už mohl pohybovat, a tak se šel podívat, kde to vlastně je. V žaludku kobyličky se mu moc líbilo a když uviděl kobyličino střevo, zaradoval se. „Tady zůstanu a než vyrostu,

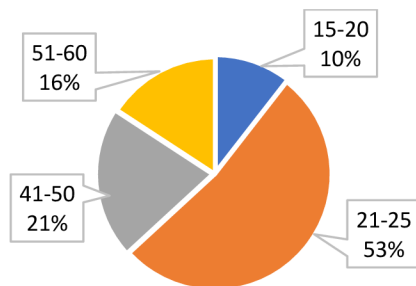
budu tady bydlet!“ řekl si pro sebe Gustav. Jak řekl, tak udělal a z kobyličiných střev si zařídil ložnici, ve které bydlel. Nic mu nescházelo, jídlo mu kobyłka pravidelně servírovala a Gustav mohl spokojeně růst a připravovat se na shledání se svou rodinou.

Když už byl Gustav dostatečně velký a silný, rozhodl se, že se přestěhuje zpět do vody za svými kamarády. Věděl však, že to nebude tak jednoduché. „K tomu, abych se dostal zpátky do svého rodného rybníčku potřebuji, aby kobyłka skočila do vody. No nic, budu muset převzít velení a nastavit kurz směr rybník!“ Gustav kobyłce poručil, aby šla k rybníku. Kobyłka ho poslechla a zanedlouho stáli na břehu rybníka, kde Gustava před pár měsíci vypila s vodou.

„Kobyłko, skoč!“ zavelel Gustav a kobyłka opravdu skočila. Když byla kobyłka ve vodě, Gustav v kobyłce, počkal chvíli, než se trochu potopí a popošel ze střeva k řítnímu otvoru. Po pár vteřinách vyskočil kobyłce z kloaky a byl volný. Kobyłka se sice utopila, ale Gustav byl moc rád, že je zpátky ve vodě a začal hledat partnerku, se kterou by zplodil své děti.

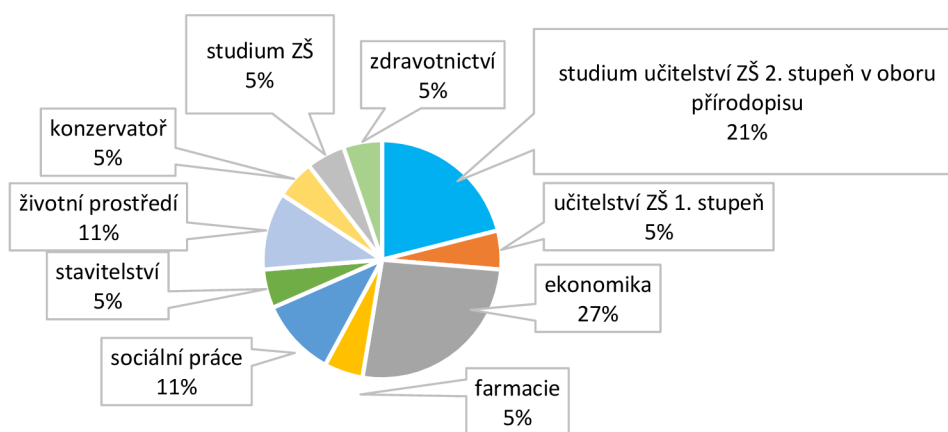
4.6 Výsledky dotazníku

1. Otázka: napište Váš věk



Obrázek 15: znázorňující věk respondentů

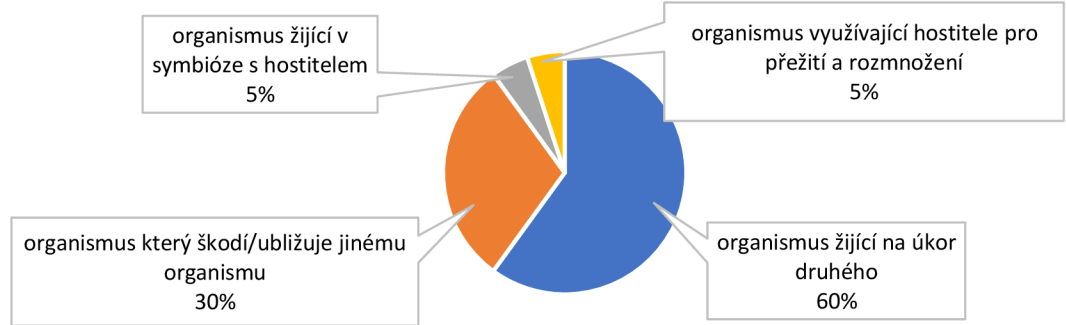
2. Otázka: Jakým oborem se zabýváte/studujete?



Obrázek 16: znázorňující studované obory a profese

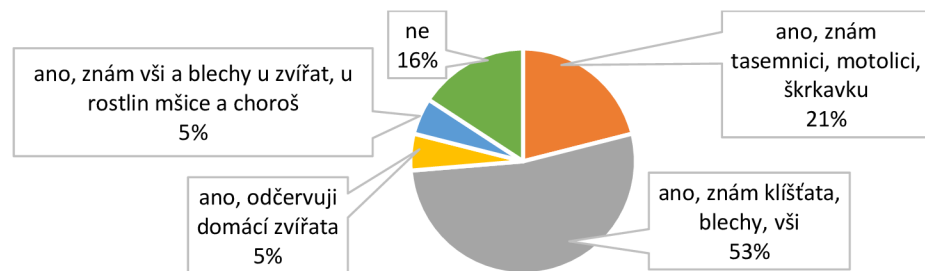
V úvodních otázkách (obrázek č. 15 a č. 16) týkající se věku a oboru respondenta bylo zjištěno, že polovina respondentů byli studenti vysoké školy ve věku 21 až 25 let, z nichž většina studuje biologický obor. Čtvrtina respondentů ve věku 41 až 50 let se zabývá ekonomikou. Zbývající čtvrtina respondentů je věkově i oborově rozmanitá, respondenti v této skupině se zabývají stavitelstvím, sociální prací, farmacií nebo zdravotnictvím.

3. Otázka: Kdo/co je parazit?



Obrázek 17: zobrazující znalosti o parazitismu

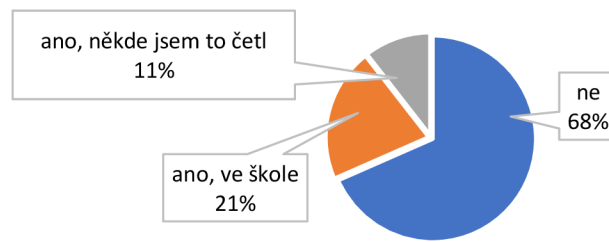
4. Otázka: Máte zkušenosti s parazity?



Obrázek 18: znázorňující zkušenosti s parazity

Následující dvě otázky (obrázek č. 17 a č. 18) zjišťovaly povědomí respondentů o zkušenostech s parazity. Na otázku Kdo/co je to parazit (obrázek č. 17) respondenti odpověděli podobně, všechny odpovědi měly stejný význam – parazit je organismus, který využívá jiný organismus, aby přežil. Na otázku ohledně zkušeností s parazity (graf č. 4) byly odpovědi rozmanité. Tři respondenti napsali, že nemají žádnou zkušenost s parazitem, což nemusí být zcela pravdivé. Jeden z těchto respondentů s odpovědí „ne“ po vyplnění dotazníku přiznal, že si jako parazita představuje endoparazity, tedy třeba motolici či tasemnici. Po zjištění, že klíště či veš jsou také paraziti, by respondent svou odpověď změnil „ano“. Parazité rostlin (mšice a choroš) byly zmíněny jen jednou, a to respondentem studující biologii na vysoké škole.

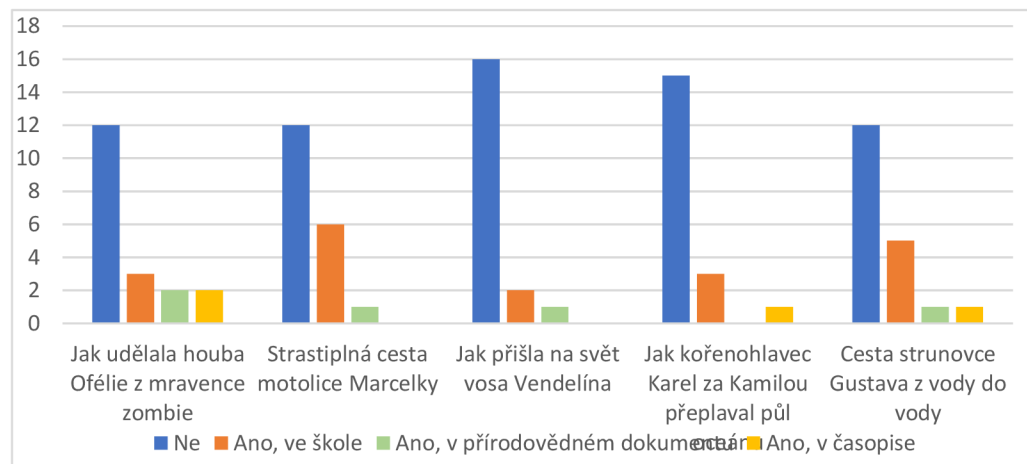
5. Otázka: Slyšeli jste někdy o pojmu manipulační hypotéza?



Obrázek 19: znázorňující znalost pojmu manipulační hypotéza

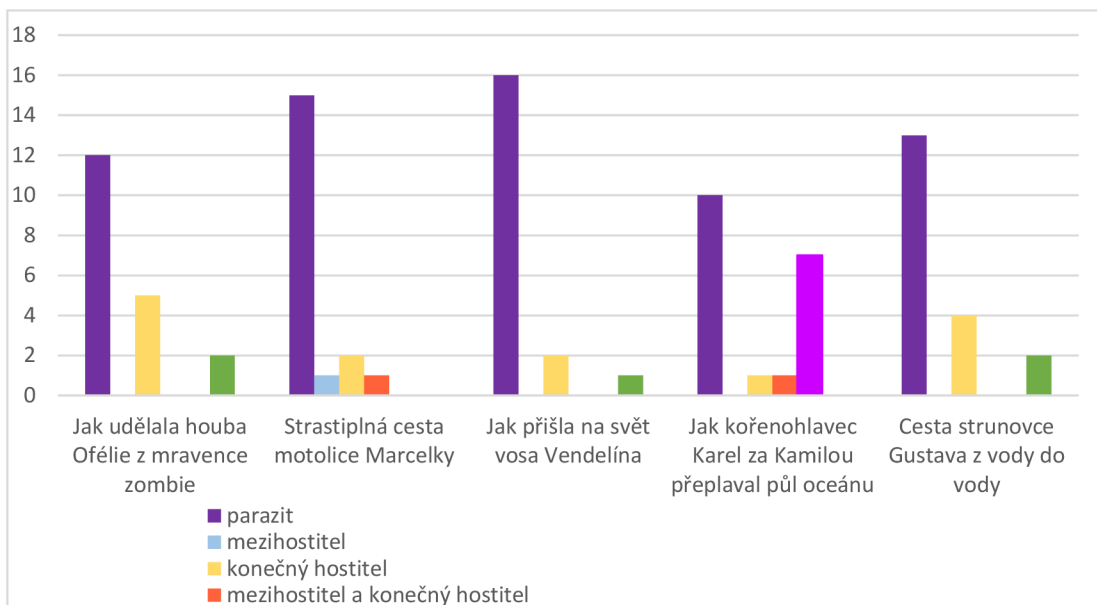
První otázka týkající se tématu manipulační hypotézy (obrázek č. 19) se zaměřovala na to, zda respondent někdy slyšel o manipulační hypotéze, popřípadě zda by ji uměl vysvětlit. 13 respondentů odpovědělo, že o manipulační hypotéze nikdy neslyšeli, 2 respondenti si o tématu přečetli v naučném časopise a 4 respondenti vědí, o co se jedná, jen díky studiu biologického oboru na vysoké škole.

Vyhodnocení otázek č. 6 až č. 20



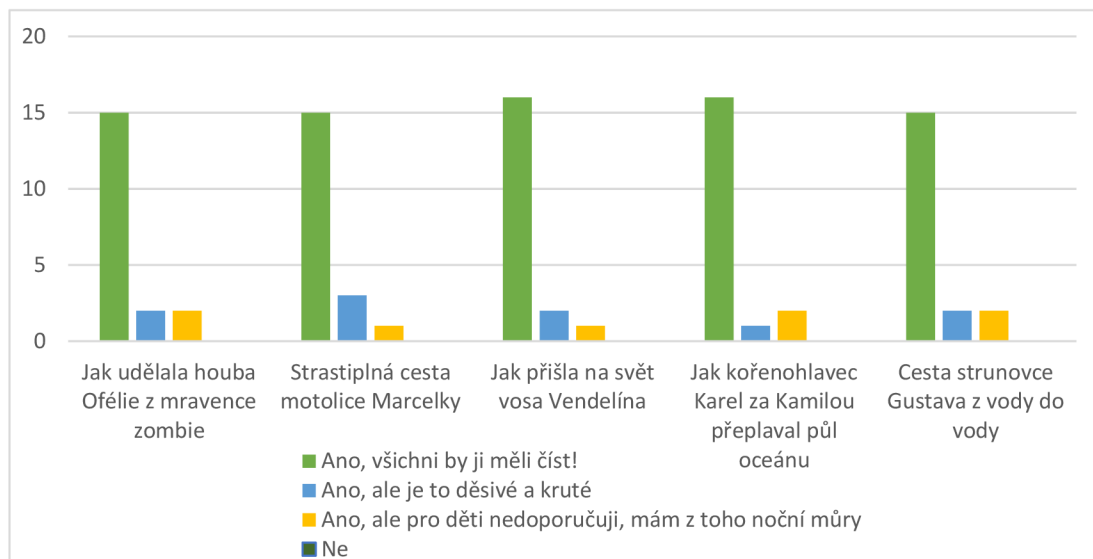
Obrázek 20: vyhodnocení znalostí tématu povídek v otázce: Slyšeli jste někdy o tomto tématu?

Další otázka, vyskytující se u každé povídky, zjišťovala, zda respondent někdy slyšel o daném tématu – parazitovi (obrázek č. 20). Většina respondentů o manipulaci nikdy neslyšela a povídky jim, podle slov jedné respondentky, rozšířily obzory. Z toho plyne fakt, že člověk, který nemá širší vzdělání v oblasti biologie a nezajímá se o přírodovědné publikace, se s tímto tématem spíše nesetká.



Obrázek 21: vyhodnocení postoje čtenáře k příběhu v otázce: Kdo je podle Vás v příběhu hlavním hrdinou?

Další otázka měla zjistit postoj čtenáře k parazitovi formou výběru hlavního hrdiny v každé povídce (obrázek č. 21).



Obrázek 22: vyhodnocení oblíbenosti jednotlivých povídek v otázce: Líbila se Vám tato povídka?

Závěrečná otázka se zabývala názorem respondenta na danou povídku (obrázek č. 22). Každou povídku respondent hodnotil zvlášť a součástí odpovědi ano/ne bylo, zda by doporučil přečíst povídku i dětem (žákům 2. stupně).

5 Diskuze a závěr

Jedním z hlavních cílů této práce bylo zanalyzovat aktuálně dostupné učebnice přírodopisu, zda se v nich vyskytuje téma manipulační hypotézy. Po prostudování učebnic od nakladatelství Fraus, Nová škola a Prodos, byly zjištěny dvě zmínky o manipulaci hostitele parazitem, a to v učebnici Prodos pro 7. třídu a v učebnici Taktik pro 6. třídu. V obou příkladech je manipulace jednoduše vysvětlena jako ovlivnění hostitelova chování na příkladu parazitické motolice a mravence.

Učebnice pro základní školu tedy spíše nezařazují téma manipulační hypotézy, tato informace slouží jen jako zajímavost pro zpestření výuky. Pokud daná škola nepoužívá učebnici z nakladatelství Prodos, Taktik nebo jinou učebnici, ve které je manipulační hypotéza zmíněna, žákům může toto téma zprostředkovat pouze učitel nad rámec učebnice.

Dalším hlavním cílem bylo vytvořit povídky o manipulujících parazitech. Celkem bylo vytvořeno 5 povídek, které byly po zhodnocení respondenty shledány zajímavé a přínosné. Téměř všichni respondenti by doporučili povídky dalším čtenářům i případné zařazení povídek do výuky.

Pro většinu lidí je parazit označení pro nechtěného tvora, který spíše bere, než dává a žije na úkor jiného. Lidé si však neuvědomují, že parazit si svůj způsob života (přestože na něčí úkor) nevybírá a pro přežití a rozmnožení nemá jinou možnost než parazitovat. Navzdory tomuto tvrzení označila většina respondentů parazita jako hrdinu příběhu i přes fakt, že způsobil smrt svého hostitele (obrázek č. 21).

Lze usoudit, že tento jev způsobilo pojmenování parazitů vlastními jmény, užití parazita jako protagonisty příběhu, poznání jeho celého životního cyklu a dobrý konec. Každá povídka vypráví život manipulujícího parazita již od doby, kdy přišel na svět, přes proměnu v dospělce až po hledání partnera a rozmnožení. Čtenář má tak možnost se s parazitem sblížit, pochopit, proč manipuluje hostitelem a možná mu manipulaci, a usmrcení hostitele i odpustit.

Přesto, že byly povídky psané tak, aby se čtenář vcítil do života parazita a vnímal ho jako hrdinu příběhu, byly někteří parazité vnímáni spíše jako hlavní postavy příběhu než jako hrdinové. Zvláště v první (houba Ofélie), čtvrté (kořenohlavec Kamila) a v poslední povídce (strunovec Gustav) je z obrázku č. 21 čitelné, že menší část respondentů „fandí“ hostiteli více než parazitovi.

Je pravděpodobné, že za tento jev může způsob popsání manipulace. Například houba Ofélie na svého hostitele zaútočí, vyžere ho zevnitř a poté mu ještě prorazí hlavu, což může na rozdíl od nevinné motolice Marcelky kroutící se ve šnečích tykadlech znít morbidně.

Všem, kromě jedné respondentky, se povídky líbily a doporučili by je dalším čtenářům. Jedna respondentka však označila povídky jako děsivé a z houby Ofélie má noční můry.

6 Seznam literatury

- 1) Adamo, S. (2002). Modulating the Modulators: Parasites, Neuromodulators and Host Behavioral Change. *Brain, behavior and evolution*. 60. 370-7. 10.1159/000067790.
- 2) Bedroy, M. et al., 2000: Fatal attraction in rats infected with *Toxoplasma gondii*. *Proc. R. Soc. London B267*, 1591-1594
- 3) Benešová, Marika. *Odmaturuj! z biologie*. 2., přeprac. vyd. Brno: Didaktis, c2013. *Odmaturuj!*. ISBN 978-80-7358-231-9
- 4) Biron, D. G., Marché, L., Ponton, F., Loxdale, H. D., Galéotti, N., Renault, L., Joly, C., & Thomas, F. (2005). Behavioural manipulation in a grasshopper harbouring hairworm: A proteomics approach. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1577), 2117-2126. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3213>
- 5) Blaustein A. & Johnson P. (2003). Explaining Frog Deformities. *Scientific American*. 288. 60-5. 10.1038/scientificamerican0203-60.
- 6) Ceryngier, P. & Franz, K. & Romanowski, J.. (2023). Distribution, host range and host preferences of *Dinocampus coccinellae* (Hymenoptera: Braconidae): A worldwide database. *European Journal of Entomology*. 120. 26-34. 10.14411/eje.2023.004.
- 7) Dančák, M., & Sedlářová, M. (2011). *Přírodopis 6: vývoj života na Zemi, obecná biologie, biologie hub: učebnice pro 6. ročník základní školy*. Prodos. http://toc.nkp.cz/NKC/201104/contents/nkc20112181634_1.pdf
- 8) Davis, D.; Stewart S.; Manica A.; Majerus M. (2006). "Adaptive preferential selection of female coccinellid hosts by the parasitoid wasp *Dinocampus coccinellae* (Hymenoptera: Braconidae)". *European Journal of Entomology*. **103** (1): 41–45. doi:10.14411/eje.2006.006.
- 9) Evans HC, Elliot SL, Hughes DP (2011) Hidden Diversity Behind the Zombie-Ant Fungus *Ophiocordyceps unilateralis*: Four New Species Described from Carpenter Ants in Minas Gerais, Brazil. *PLoS ONE* 6(3): e17024
- 10) Evans, H.C. & Araújo J. & Halfeld, V.R. & Hughes, D.P.. (2018). Epitypification and re-description of the zombie-ant fungus, *Ophiocordyceps unilateralis* (Ophiocordycipitaceae). *Fungal Systematics and Evolution*. 1. 13-22. 10.3114/fuse.2018.01.02.

- 11) Flegr, J. (2011). *Pozor, Toxo!: tajná učebnice praktické metodologie vědy*. Academia.
- 12) Flegr, J. (2013). Influence of latent Toxoplasma infection on human personality, physiology and morphology: pros and cons of the Toxoplasma–human model in studying the manipulation hypothesis. *Journal of experimental Biology*, 216(1), 127-133.
- 13) Geoghegan I.E., Thomas W.P. & Majerus M.E.N. 1997: Notes on the coccinellid parasitoid *Dinocampus coccinellae* (Schrank) (Hymenoptera: Braconidae) in Scotland. *Entomologist* 116: 179–184.
- 14) Gryganskyi, A. & Mullens, B. & Gajdeczka, M. & Rehner, S. & Vilgalys, R. & Hajek, A. (2017). Hijacked: Co-option of host behavior by entomophthorean fungi. *PLOS Pathogens*. 13. e1006274. [10.1371/journal.ppat.1006274](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006274).
- 15) Hernandez-Caballero, I., Garcia-Longoria, L., Gomez-Mestre, I., & Marzal, A. (2022). The Adaptive Host Manipulation Hypothesis: Parasites Modify the Behaviour, Morphology, and Physiology of Amphibians. *Diversity*, 14(9), 739. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/d14090739>
- 16) Honza, M. & Taborsky B. & Taborsky M. & Teuschl Y. & Vogl W. & Moksnes A. & Røskft, E. (2002). Behaviour of female common cuckoos, *Cuculus canorus*, in the vicinity of host nests before and during egg laying: A radiotelemetry study. *Animal Behaviour*. 64. 861-868. [10.1006/anbe.2002.1969](https://doi.org/10.1006/anbe.2002.1969)
- 17) Hopkin, M. How to make a zombie cockroach. *Nature* (2007). <https://doi.org/10.1038/news.2007.312>
- 18) Hopkins. J., 2008: Toxoplasma infection increases risk of schizophrenia, study suggest. *Science Daily*, Jan. 18
- 19) Banks, CH. N. & Adams M. E., (2012). Biogenic amines in the nervous system of the cockroach, *Periplaneta americana* following envenomation by the jewel wasp, *Ampulex compressa*, *Toxicon*, Volume 59, Issue 2, 2012, Pages 320-328, ISSN 0041-0101, <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.10.011>.
- 20) Kočárek, P. (2016). *Přírodopis 7: učebnice pro 7. ročník základní školy*. Prodos.
- 21) Kusbeci, O. Y., Miman, O., Yaman, M., Aktepe, O. C., & Yazar, S. (2011). Could *Toxoplasma gondii* have any role in Alzheimer disease? *Alzheimer disease and associated disorders*, 25(1), 1–3. <https://doi.org/10.1097/WAD.0b013e3181f73bc2>

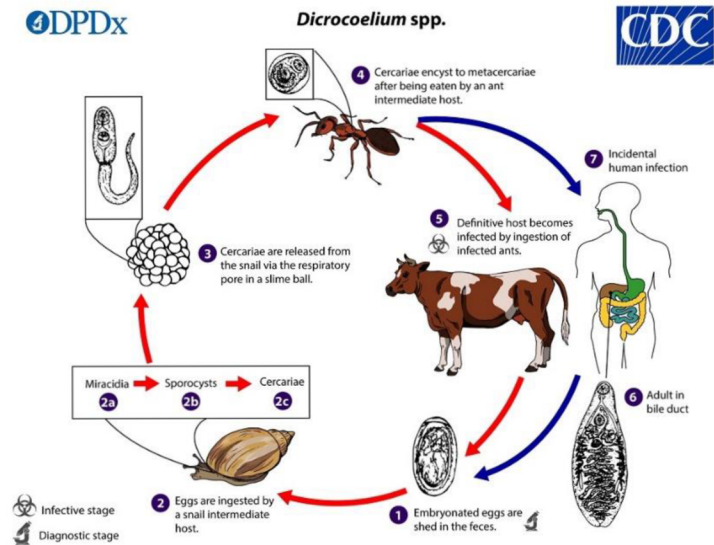
- 22) Kvasničková, D. (2009). *Ekologický přírodopis 6: pro 6. ročník základní školy*. 4., upr. vyd. Praha: Fortuna, 2009. ISBN 9788073730567.
- 23) Machač, O. (2009). *Urogonimus macrostomus – motolice podivná*. Natura Bohemica: příroda České republiky. Retrieved June 8, 2023, from <http://www.naturabohemica.cz/urogonimus-macrostomus/>
- 24) Machač, O. (2018). *Gordius aquaticus – strunovec vodní*. Natura Bohemica: příroda České republiky. Retrieved June 8, 2023, from <http://www.naturabohemica.cz/gordius-aquaticus/>
- 25) Maure F., Brodeur J., Ponlet N., Doyon J., Firlej A., Elguero E. & Thomas F. (2011). The cost of a bodyguard. *Biology Letters*, 7 (6): 843-846. doi:10.1098/rsbl.2011.0415. PMC 3210670. PMID 21697162. Archived from the original (PDF) on 2014-08-08.
- 26) Miman, O., Kusbeci, O. Y., Aktepe, O. C., & Cetinkaya, Z. (2010). The probable relation between *Toxoplasma gondii* and Parkinson's disease. *Neuroscience letters*, 475(3), 129–131. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.03.057>
- 27) Mlčoch, P. *Hmyzomorka muši*. (2016) O houbách. Retrieved June 8, 2023, from <https://www.ohoubach.cz/atlas-hub/detail/905/Hmyzomorka-musi/>
- 28) Mouritsen K. & Poulin R. (2003). Parasite-induced trophic facilitation exploited by a non-host predator: a manipulator's nightmare, *International Journal for Parasitology*, Volume 33, Issue 10, 2003, Pages 1043-1050, ISSN 0020-7519 <https://doi.org/10.1016/j.parint.2018.10.004>
- 29) Musilová, E., Konětopský, A., Vlk, R., & Burda, R. (2018). *Přírodopis 6* (4. aktualizované vydání, 1. díl, Úvod do učiva přírodopisu). Nová škola.
- 30) Obayashi, N. & Iwatani, Y. & Sakura, M. & Tamotsu, S. & Chiu, Ming-Chung & Sato, T. (2021). Enhanced polarotaxis can explain water-entry behaviour of mantids infected with nematomorph parasites. *Current Biology*. 31. R777-R778. 10.1016/j.cub.2021.05.001.
- 31) Obrycki J. & TAUBER M. (1979). Seasonal Synchrony of the Parasite *Perilitus coccinellae* and Its Host *Coleomegilla maculata*. *Environmental Entomology*. 8. 400-405. 10.1093/ee/8.3.400.
- 32) Ohari, Y. & Kuwahara, Y. & Itagaki, T. (2018). Morphological and genetic characterization of green-banded broodsacs of *Leucochloridium* (Leucochloridiidae: Trematoda) sporocysts detected in *Succinea lauta* in Hokkaido, Japan. *Parasitology International*. 68. 10.1016/j.parint.2018.10.004.

- 33) Otčenášková, M. *Švábi zombie*. Retrieved May 15, 2023, from <https://temata.rozhlas.cz/svabi-zombie-7866651>
- 34) Pasternak, Z., Garm, A., & Hoeg, J. T. (2005). The morphology of the chemosensory aesthetasc-like setae used during settlement of cypris larvae in the parasitic barnacle *Sacculina carcini* (Cirripedia : Rhizocephala). *Marine Biology*, 146(5), 1005-1013. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1494-4>
- 35) Pelikánová, I., Čabradová, V., Hash, F., & Sejpka, J. (2015). *Přírodopis 7: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Fraus.
- 36) Pelikánová, I., Čabradová, V., Hasch, F., & Sejpka, J. (2014). *Přírodopis 6: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Nakladatelství Fraus.
- 37) Petr, J. Houby a mravenčí zombie. *Český rozhlas* [online]. 2013 [cit. 2022-9-9].
- 38) Roberts, C.D. & Dickinson, T.E. (2012). *Ribeiroia ondatrae* causes limb abnormalities in a Canadian amphibian community. *Canadian Journal of Zoology*. 90. 808-814. 10.1139/z2012-050.
- 39) Rosypal, Stanislav. *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia, 2003. ISBN 80-7183-268-5.
- 40) Rowley, A. & Davies, Ch. & Malkin, S. & Bryan, Ch. & Thomas, J. & Batista, F. & Coates, Ch. (2020). Prevalence and histopathology of *Sacculina carcini* in shore crabs, *Carcinus maenas*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 171. 107338. 10.1016/j.jip.2020.107338.
- 41) Rychnovský, B., Odstrčil, M., Popelková, P., & Kubešová, S. (2015). *Přírodopis: učebnice* (2. aktualizované vydání, 1. díl, Strunatci). Nová škola, s.r.o.
- 42) Samková, A. (2010). *Blanokřídlí parazitoidi (Hymenoptera: Parasitica) - jejich využití v biologické kontrole* [bakalářská práce]. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta.
- 43) Schmidt-Rhaesa A. & David B. & Joly C. & Thomas F. (2005). Host–parasite relations and seasonal occurrence of *Paragordius tricuspidatus* and *Spinochordodes tellinii* (Nematomorpha) in Southern France. *Zoologischer Anzeiger – A Journal of Comparative Zoology*. 244. 51-57. 10.1016/j.jcz.2005.04.002.
- 44) Stephen J. M., Jun-ichi T., Masato O., Falko P. D., Is the social parasite *Vespa dybowskii* using chemical transparency to get her eggs accepted? *Journal of Insect Physiology*, Volume 54, Issue 4, 2008, Pages 700-707, ISSN 0022-1910

- 45) Storch D. et Mihulka S. Úvod do současné ekologie. 1. vyd. Praha: Portál, 2000. ISBN 80-7178-462-1.
- 46) Thomas, F., Schmidt-Rhaesa, A., Martin, G., Manu, C., Durand, P., & Renaud, F. (2002). Do hairworms (Nematomorpha) manipulate the water seeking behaviour of their terrestrial hosts? *Journal of Evolutionary Biology*, 15(3), 356–361. <https://doi.org/10.1046/J.1420-9101.2002.00410.X>
- 47) Thomas, F. & Ulitsky, P & Augier, R. & Dusticier, N & Samuel, D & Strambi, C & David, B. & Cayre, M. (2003). Biochemical and histological changes in the brain of the cricket *Nemobius sylvestris* infected by the manipulative parasite *Paragordius tricuspidatus* (Nematomorpha). *International journal for parasitology*. 33. 435-43. [10.1016/S0020-7519\(03\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(03)00014-6).
- 48) Thomas, F., Adamo, S. A., & Moore, J. (2005). Parasitic manipulation: where are we and where should we go? *Behavioural Processes*, 68, 185–199.
- 49) Urbanová, M. (2019). Manipulace hostitele jako strategie helmintů zvyšující pravděpodobnost dalšího přenosu. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha
- 50) Volf, P. a Horák P.. *Paraziti a jejich biologie*. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-80-7387-008-9
- 51) Votýpka, J.; Kolářová, I. a Horák, P.. *O parazitech a lidech*. V Praze: Stanislav Juhaňák – Triton, 2018. ISBN 978-80-7553-350-0.
- 52) Wesołowska, W.; Wesołowski, T. Do *Leucochloridium* sporocysts manipulate the behaviour of their snail hosts?. *Journal of Zoology. Print ISSN 0952-8369*.
- 53) Zimmer, C. (2005). *Vládce parazit: pohled do světa nejnebezpečnějších tvorů planety* (přeložil Vladimír HAMPL, přeložil Olga HARANTOVÁ). Paseka
- 54) Zurek, L., Wes Watson, D., Krasnoff, S. B., & Schal, C. (2002). Effect of the entomopathogenic fungus, *Entomophthora muscae* (Zygomycetes: Entomophthoraceae), on sex pheromone and other cuticular hydrocarbons of the house fly, *Musca domestica*. *Journal of invertebrate pathology*, 80(3), 171–176. [https://doi.org/10.1016/s0022-2011\(02\)00109-x](https://doi.org/10.1016/s0022-2011(02)00109-x)
- 55) Židková, H., Knůrová, K., Karešová, P., Medková, E., Seidlová, D., Šťovíčková, K., Váchová, J., Višňáková, M., & Zimplová, K. (2017). *Hravý přírodopis 6: pro 6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia* (ilustroval Roland HAVRAN). Taktik.

7 Přílohy

Obrázek ke kapitole 2.3.5 – životní cyklus motolice kopinaté (*Dicrocoelium dendriticum*)



Zdroj: *Dicrocoeliasis: Life cycle*. <https://www.cdc.gov>. Retrieved June 18, 2023, from <https://www.cdc.gov/dpdx/dicrocoeliasis/index.html>

Obrázek ke kapitole 2.3.7 – ukázka nakažené mouchy parazitem *Entomophthora muscae*

PLOS PATHOGENS



Fig 1. Life cycle of *Entomophthora muscae* infecting a muscoid fly. Beginning of infection (1, top). Germination of multinucleate primary infectious conidia on multiple locations on the host surface, producing hyphae and secondary conidium (A) or multiple secondary conidia (B). Infected fly in an intermediate stage of incubation (2) with interior hyphal bodies in insect blood and tissues within the body cavity (C). Death grip of actively sporulating cadaver (3); fungal conidiophores with young primary conidia emerging from membranous areas of host abdominal outside (D). Mummified fly cadaver (4) as a potential reservoir for overwintering resting spores. Center: House fly after most conidial discharge is complete. Note life-like stances, with extended wings, legs, and mouthparts and sticky conidia adhering to legs, wings, and substrate. Photographs: Bradley Mullens, Max Badgley, and Andri Gryganskyi; drawings by Danni Wei, student artist at UC Riverside.

<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006274.g001>

Zdroj: Gryganskyi, A. *Life cycle of Entomophthora muscae* infecting a muscoid fly. Research Gate. Retrieved June 18, 2023, from https://www.researchgate.net/publication/316727990_Hijacked_Co-option_of_host_behavior_by_entomophthoralean_fungi