

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra biologie

Paraziti ovlivňující chování hostitele

Bakalářská práce

Autor: Nikola Hlávková
Studijní program: B1101 Matematika
Studijní obor: Biologie se zaměřením na vzdělávání
Matematika se zaměřením na vzdělávání
Vedoucí práce: RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D.



Zadání bakalářské práce

Autor: Nikola Hlávková

Studium: S19MA003BP

Studijní program: B1101 Matematika

Studijní obor: Biologie se zaměřením na vzdělávání, Matematika se zaměřením na vzdělávání

Název bakalářské práce: Parazité ovlivňující chování hostitele

Název bakalářské práce Parasites affecting host's behavior
AJ:

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Bakalářská práce se zaměřuje na parazity a jejich životní cykly v tělech hostitelů. Zvláštní důraz je pak kladen na parazity, kteří dokáží ovlivňovat chování hostitele ve svůj prospěch. V rámci teoretické části jsou rozpracovány kapitoly týkající se lidských a zvířecích parazitů a částečně didaktické aspekty tématu. V praktické části je podrobně zpracován návrh projektového dne na zpracovávané téma s tím, že celá práce je směřována jako nabídka inspirace či pokladu ke zpestření a rozšíření výuky přírodopisu/biologie.

FLEGR, Jaroslav. *Pozor, Toxo!: tajná učebnice praktické metodologie vědy*. 1. vyd. Praha: Academia, 2011. ISBN 978-80-200-2022-2.

LIN, Wei-jiun, Yung-i LEE, Shao-lun LIU, Chung-chi LIN, Tan-ya CHUNG a Jui-yu CHOU. Evaluating the tradeoffs of a generalist parasitoid fungus, *Ophiocordyceps unilateralis*, on different sympatric ant hosts. *Scientific Reports* [online]. 2020, **10**(1), 1-12. ISSN 20452322. Dostupné na: doi:10.1038/s41598-020-63400-1

VOLF, Petr a kol. *Paraziti a jejich biologie*. 1. vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-80-7387-008-9.

Garantující pracoviště: Katedra biologie,
Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: RNDr. Alena Myslivcová Fučíková, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 23.1.2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, z kterých jsem čerpala.

V Hradci Králové dne

.....

Nikola Hlávková

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce paní RNDr. Aleně Myslivcové Fučíkové, Ph. D. za milý přístup při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Lukáši Vízkovi, Ph. D. za cenné rady při zpracování návrhu projektového dne. Též děkuji svým nejbližším, kteří mi byli po dobu studia i při psaní práce velkou oporou.

Anotace

HLÁVKOVÁ, N. *Paraziti ovlivňující chování hostitele*. Hradec Králové, 2022. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce Alena Myslivcová Fučíková. 87 s.

Bakalářská práce se zaměřuje na parazity a jejich životní cykly v tělech hostitelů. Zvláštní důraz je pak kladen na parazity, kteří dokážou ovlivňovat chování hostitele ve svůj prospěch. V rámci teoretické části jsou rozpracovány kapitoly týkající se lidských a zvířecích parazitů a částečně didaktické aspekty tématu. V praktické části je podrobně zpracován návrh projektového dne na zpracovávané téma s tím, že celá práce je směřována jako nabídka inspirace či pokladu ke zpestření a rozšíření výuky přírodopisu/biologie.

Klíčová slova

parazitismus, parazit, manipulační hypotéza, *Toxoplasma gondii*, *Candida albicans*, *Ophiocordyceps unilateralis*, *Leucochloridium paradoxum*, *Sacculina carcini*, virus vztekliny, *Nematomorpha*, projektový den

Annotation

HLÁVKOVÁ, N. *Parasites affecting host's behavior*. Hradec Králové, 2022. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis Supervisor Alena Myslivcová Fučíková. 87 p.

The bachelor thesis focuses on parasites and their life cycles in host bodies. Particular emphasis is then placed on parasites that can influence host behaviour to their advantage. Within the theoretical part, chapters on human and animal parasites and partly didactic aspects of the topic are elaborated. In the practical part, a detailed proposal for a project day on the topic is elaborated, with the whole work being directed as an offer of inspiration or treasure to diversify and extend the teaching of science/biology.

Keywords

parasitism, parasite, manipulation hypothesis, *Toxoplasma gondii*, *Candida albicans*, *Ophiocordyceps unilateralis*, *Leucochloridium paradoxum*, *Sacculina carcini*, *rabies virus*, *Nematomorpha*, project day

Obsah

Úvod.....	9
1 Parazitismus	11
1.1 Dělení parazitů.....	13
1.2 Manipulace hostitele.....	14
2 Toxoplasma gondii	16
2.1 Životní cyklus	16
2.2 Toxoplasmóza	18
2.3 Ovlivnění hostitele.....	19
3 Ophiocordyceps unilateralis.....	21
3.1 Životní cyklus	22
3.2 Ovlivnění hostitele.....	23
4 Motolice podivná.....	25
4.1 Životní cyklus	26
4.2 Ovlivnění hostitele.....	27
5 Další parazité ovlivňující chování.....	29
5.1 Candida albicans	29
5.2 Strunovec	30
5.3 Sacculina carcini.....	31
5.4 Virus vztekliny	32
6 Projektový den.....	34
7 Plánování realizace, prezentace a hodnocení.....	37
7.1 Rozdělení do sedmi skupin	37
7.2 Motivace	38
7.3 Samostatná práce skupiny – shromažďování informací.....	40
7.4 Samostatná práce skupiny – pokusy	42
7.5 Výstup.....	45

7.6 Soutěž RISKUJ.....	46
7.7 Hodnocení.....	51
Závěr.....	52
Seznam použité literatury.....	54
Seznam použitých obrázků.....	60
Seznam použitých tabulek.....	63
Seznam příloh.....	64

Úvod

Téměř každý biologický druh je hostitelem nějakého parazita. Není tak divu, že právě parazitismus je dominantní životní formou na naší planetě. Počet cizopasníků, jenž mají v přírodě nezastupitelné místo, je mnohonásobně vyšší než volně žijících organismů. Dle odhadu by mohly ostatní organismy převyšovat v poměru 4:1 a navíc se předpokládá, že velké množství ještě nebylo dosud objeveno (Zimmer, 2005; Votýpka, 2019a).

Někteří z parazitů se během evoluce naučili manipulovat hostitelem ve svůj prospěch a měnit jeho chování. Dokážou tak zvýšit pravděpodobnost svého přenosu do dalšího hostitele. Tato schopnost je velmi zajímavá a pro lidi i studenty často atraktivní, což bylo důvodem námětu této práce.

Z pedagogického hlediska považují parazitismus a obecně vztahy mezi organismy za velmi důležité pro pochopení přírody. Manipulace s hostiteli je zároveň hezkým příkladem evoluce organismů. Cílem práce je shrnout dostupné informace o některých manipulujících parazitech, zejména se zaměřit na jejich životní cyklus v tělech hostitelů a způsob manipulace. A následně se pokusit o zpracování tématu do středoškolské biologie v rámci projektového dne.

Teoretická část se postupně zabývá jednotlivými parazity. V první kapitole jsou vysvětleny obecné pojmy důležité pro dané téma. Dále jsou popsány klíčové informace o parazitismu a rozdělení parazitů dle jednotlivých kritérií. Jedna z podkapitol je věnována manipulační hypotéze. Následující tři kapitoly jsou podrobně zaměřeny na životní cykly a způsoby manipulace parazitů, konkrétně *Toxoplasmy gondii*, *Ophiocordyceps unilateralis* a motolice podivné. Poslední kapitola teoretické části je věnována stručnějším popisům dalších parazitů, jenž také disponují schopností měnit chování svého hostitele (*Candida albicans*, strunovec, *Sacculina carcini* a virus vztekliny).

V praktické části je navržen návrh projektového dne s ohledem na zpracované téma. Součástí je též harmonogram, navržené úkoly, aktivity, pokusy, otázky do soutěže RISKUJ i koncept online dotazníku. Záměrem je zvýšit zájem o soužití mezi organismy, podpořit mezipředmětové vztahy a zpestřit výuku parazitů.

Práce je určena lidem a učitelům, které daná problematika zajímá. Návrh projektu může následně posloužit jako nabídka inspirace či pokladu ke zpestření a rozšíření výuky přírodopisu/biologie.

1 Parazitismus

Podle Volfa et al. (2007) a jiných odborníků v rostlinné i živočišné říši organismy nežijí samostatně ale společně a existují mezi nimi různé mezidruhové vztahy. Rozlišujeme osm forem vztahů, jež dělíme dle vzájemného soužití v závislosti na přínosu pro jednotlivé strany.

Losos (1985) poukazuje na nabízející se dělení dle kladných (+) a záporných (-) interakcí. Kladnými (pozitivními) vztahy myslíme protokooperaci, mutualismus a komenzalismus. Zvláště se poté vytyčuje neutralismus jakožto neutrální (0) interakce. Parazitismus, predace, kompetice a amenzalismus jsou označovány za vztahy záporné (negativní). Všechny výše zmíněné formy jsou v širším slova smyslu zaštiťovány pojmem symbióza. Navzdory tomu termín symbióza můžeme chápat v určitém směru jako kladné soužití organismů, přesněji mutualismus, na čemž se shodují i Storch s Mihulkou (2000).

Tabulka 1 - Mezidruhové vztahy

Forma vztahu	Přínos jednoho	Přínos druhého
parazitismus	+	-
predace	+	-
kompetice	-	-
protokooperace	+	+
mutualismus	+	+
komenzalismus	0	+
amenzalismus	0	-
neutralismus	0	0

(vlastní úprava dle Volf et al, 2007)

Parazitismus je vzájemné soužití dvou organismů přinášející výhody pouze jednomu ze symbiontů (viz tabulka 1). Jedná se o vztah parazit – hostitel, přičemž parazit bývá zpravidla menší než hostitel a žije vždy dlouhodobě na jeho úkor. Příživník používá hostitele buď jako svou potravu, nebo jako prostředí, v němž žije. Podobně bychom mohli chápat predaci, která má ale kratší trvání. Cizopasník využívá menší počet jedinců během svého života, zatímco predátor má větší pole působnosti při výběru své kořisti (Losos, 1985; Storch et Mihulka, 2000; Volf et al, 2007; Votýpka et al, 2018).

Pro každého parazita existuje hostitel (napadený jedinec), jež má v životě parazita svou roli. Cizopasník může mít jednohostitelský (monoxenní) nebo vícehostitelský (heteroxenní) životní cyklus. V rámci cyklu s vícero hostiteli rozlišujeme mezihostitele, v němž se parazit množí nepohlavně či vůbec a definitivního hostitele, ve kterém se již množí pohlavně. V případě mezihostitelů můžeme mluvit ještě o tzv. vektorech (přenašečích, transportních hostitelích), kteří mají za úkol přenos parazita z jednoho hostitele na druhého. Odborníci též zmiňují paratenického hostitele, v němž se parazit pouze hromadí a následně může infikovat další jedince, což ale není podmínkou. Pro příživníky je výhodou mít více mezihostitelů, jelikož se nabízí větší šance rozšíření a zábrana zániku parazita (Volf et al, 2007; Flegr, 2011).

Infekční přenosné onemocnění zapříčiněné cizopasníkem se obecně nazývá parazitóza (parazitární onemocnění). Obor parazitologie zkoumá především helminty (červy), členovce a prvoky. Paraziti mohou zapříčinit vážné zdravotní komplikace svému hostiteli, avšak častěji nákaza probíhá bez klinických potíží, což je důsledek dlouhodobého soužití cizopasníka s hostitelem. Správný parazit nemá v úmyslu svého hostitele usmrtit, jelikož by tím způsobil i vlastní zánik. Na rozdíl od predátora, který svou kořist zabije hned po ulovení, se cizopasník nesnaží hostitele vážně poškodit za účelem delšího žití a dokončení svého životního cyklu. Blízcí parazitům jsou i monoxenní parazitoidi, kteří mají trochu odlišnou strategii. Konkrétně způsobují biologickou nebo evoluční smrt svého hostitele, což v praxi znamená zamezit jeho rozmnožení. Parazitoid hostitele zabije buď v předreprodukčním věku, nebo jej vykastruje (Votýpka et al, 2018; Votýpka 2019a; Votýpka, 2019b).

Volf et al. (2007) poukazuje na fakt, že úspěch parazita spočívá v jeho specifické strategii, aby se dostal do zvoleného hostitele. Ten též hledá obranu proti zbraním protivníka. Z biologického hlediska se mluví o tzv. závodech ve zbrojení neboli efektu červené královny, což je důvodem, proč daný parazit má jen omezené množství svých potenciálních hostitelů. Příkladem může být veš muňka (*Pthirus pubis*) lidově filcka, která je na pokraji vyhynutí, napadá pouze člověka. Volf et al. (2007) společně s Votýpkou (2019) uvádí, že navzdory tomu existují i parazité bez hostitelské specifity jako například *Toxoplasma gondii*, která může infikovat skoro všechny teplokrevné obratlovce, člověka nevyjímaje.

V přírodě nejsou vztahy mezi organismy úplně jednoduché a často můžeme pozorovat i méně běžné formy parazitismu, kdy se například i samotný parazit může stát hostitelem. Urfus (2019) vysvětluje epiparazitismus jako případ, kdy sám parazit se stává hostitelem jiného parazita. Vzorovým příkladem může být dub, na němž parazituje ochmet evropský (*Loranthus europeaus*), který se stává hostitelem jmelí bílého (*Viscum album*). Častěji se setkáme s termínem hyperparazitismus, který je pouze synonymem epiparazitismu. Janšta (2019) v té souvislosti poukazuje v živočišné říši na hmyz tvořící háčky, což jsou parazitické útvary vypadající jako „nádor“, které vznikají na hostiteli. Původce v našem případě chemicky ovlivní rostlinu, která háčku vytvoří, aby v ní přežily larvy parazita a mohly se z ní živit. Běžně můžeme v přírodě pozorovat střapaté háčky žlabatky růžové (*Diplolepsis rosae*) parazitující na růžích, jak už její druhové jméno napovídá. Larvy žlabatek se pak stávají hostiteli pro larvy krásenky šípkové (*Torymus bedeguaris*), jež se na nich vyvíjejí.

Za zmínku stojí hnízdní parazitismus spojený zejména s ptáky, nejčastěji kukačkami. Kukačka obecná (*Cuculus canorus*) snáší svá vejce do cizích hnízd pěvců, mnohdy si vybírá hnízda rákosníka. Adoptivní rodiče kukaččí vejce nemusí poznat, jelikož samice vzhledově napodobují vejce hostitele. Mládě kukačky pak likviduje ostatní potomky hostitele, aby se adoptivní rodiče mohli starat jen o něj. U ptáků se vyskytuje též kleptoparazitismus, který spočívá v mezidruhovém i vnitrodruhovém kradení kořisti či stavebního materiálu (Volf et al, 2007).

1.1 Dělení parazitů

Vztahy mezi parazity a jejich hostiteli jsou složité a různorodé. Než se společně podíváme na konkrétní zástupce, je důležité si je rozdělit, což lze provést dle rozličných hledisek.

Prvotní dělení parazitů, s nímž se setkáváme na základních a středních školách, je dle hostitelského organismu. Zooparaziti napadají živočichy (př. klíště), kdežto fytoparaziti infikují rostliny (př. mšice). Další základní dělení poukazuje na místo působení. Endoparazit žije uvnitř svého hostitele, nejčastěji se nám vybaví motolice či tasemnice. Cizopasník ale může škodit i na povrchu těla, v takovém případě mluvíme o ektoparazitovi (Smrž et al, 2004). Votýpka et al (2018) rozděluje ektoparazity ještě na permanentní (se stálým a dlouhodobým kontaktem) a dočasné

(s omezeným kontaktem na sání krve). Blechy a vši můžeme použít jako modelové zástupce permanentních ektoparazitů, na rozdíl od dočasných mají absenci křídel. Příkladem dočasných příživníků jsou komáři či ovádi, kteří bývají označováni též za mikropredátory.

Cizopasníky lze klasifikovat i dle životní strategie na mikroparazity a makroparazity, ale na samotné velikosti moc nezáleží. Mikroparazit zmnožuje svůj počet většinou bez infekčních stádií. Nákaza může vést ke smrti hostitele nebo se jedinec uzdraví a vytvoří si imunitu. Makroparaziti se v těle hostitele nezmnožují, zato vytváří infekční stadia pro přenos na dalšího jedince. Například motolice v rámci svého cyklu má stadia obou životních strategií (Volf et al, 2007).

Rohde (2005) definuje další dělení závislé na vazbě na hostitele, přičemž většina druhů jsou tzv. obligátní paraziti, kteří ke svému přežití hostitele potřebují. Cizopasníci, jenž mohou přežít ve volném prostředí celý život, ale jsou schopni i infikovat hostitele, se označují za fakultativní parazity (př. půdní bakterie *Clostridium tetani* způsobující tetanus). Fakultativní příživníci spíše zapříčiňují smrt (př. měňavky *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba*).

Zpravidla u rostlin, kde parazit získává živiny a metabolity pomocí specializovaného orgánu tzv. haustoria, dělíme příživníky dle způsobu autotrofie. Hemiparazitem, jinak řečeno poloparazitem, chápeme rostlinu mající chlorofyl, tedy na příklad jmelí. Naopak pojem holoparazit označuje nezelené druhy rostlin (bez chlorofylu) jako je například záraza (Volf et al, 2007; Urfus, 2019).

1.2 Manipulace hostitele

Parazit svádí s hostitelem zápas o jeho tělo. Ačkoliv je hostitel větší a využívá obranné mechanismy, ve většině případů zvítězí příživník. Důvodem jsou větší evoluční zkušenosti ohledně chování svého protivníka. Potenciální hostitelský organismus, který nebyl infikován, nemůže předat zkušenosti potomkům, zatímco cizopasník bojuje s hostitelem v každé generaci. Na otázku „Proč parazité manipulují své hostitele?“ nám může odpovědět tzv. manipulační hypotéza, podle níž příživníci pozmění hostitele za účelem snazšího postupu z nakaženého na nenakaženého jedince, nejčastěji formou predace. Parazité s heteroxenním cyklem se snaží udělat vše pro to, aby skončili v definitivním hostiteli. Manipulují svého hostitele tak, aby byl snadnější kořistí pro cílového predátora (Volf et al, 2007;

Flegr, 2011; Votýpka et al, 2018). Schopnost jakéhosi přeprogramování za účelem zvýšení biologické zdatnosti parazita je známa již z poloviny 20. století v souvislosti s rybami infikovanými tasemnicí, jež se častěji stávaly kořistí ptáků. Později hypotézu potvrdil Bethel a Holmes, shrnují Gopko a Mikheev (2019).

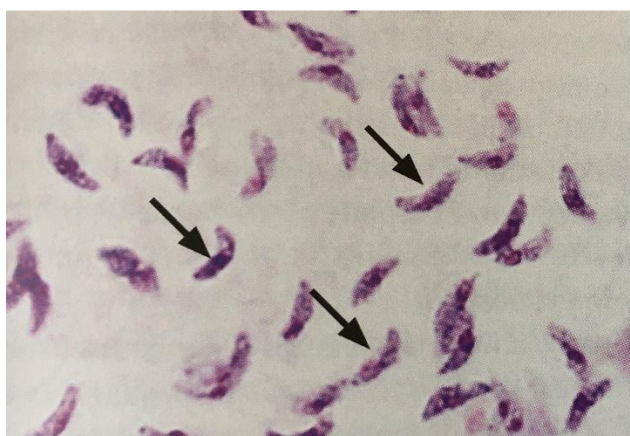
Výsledná manipulace hostitele má vliv na jeho fenotyp či chování. Vliv na fenotyp hostitele můžeme pozorovat ve změnách morfologických znaků jedince. Volf et al. (2007) připomíná výše zmíněné tvorby hálek. Dalším příkladem jsou vynalézavé motolice rodu *Ribeiroia*, které během života infikují pulce. Při vývoji v žábu vznikne šestinohý dospělec, jenž kvůli své neohrabanosti skončí brzy jako oběť vodního ptáka, čímž svými výkaly započíná nový cyklus parazita (Votýpka et al, 2018).

Mnoha parazitům ovlivnění fenotypu nijak nepomůže, a tak se zaměří na změnu chování původního hostitele. Motolice kopinatá (*Dicrocoelium dendriticum*), jež infikuje plže a následně mravence, pro dokončení cyklu potřebuje nakazit například ovci. Mravenec se bez svévolného rozhodnutí vydá z mraveniště, odtrhne se od ostatních, zakousne se do horní části rostliny a čeká na spasení býložravým definitivním hostitelem (Dawkins, 1998; Volf et al, 2007; Votýpka et al, 2018).

2 Toxoplasma gondii

Toxoplasma gondii (dále jen *T. gondii*) je velmi rozšířený prvok (*Protozoa*) patřící do kmene výtrusovců (*Apicomplexa*), ve kterém najdeme mnoho organismů s parazitickým způsobem života, konkrétně spadá do podtřídy kokcidie (*Coccidea*) (Smrž et al, 2004).

Votýpka et al. (2018) uvádí, že tento endoparazit byl objeven v Tunisku francouzskými vědci (Nicolle, Manceaux) roku 1908 u hlodavce, gundiho saharského (*Ctenodactylus gundi*). Cizopasník dostal své rodové jméno dle vzhledu, jelikož *toxon* v překladu z řečtiny znamená luk a *plasma* označuje tvar (viz obrázek 1). Druhové jméno odkazuje na latinský název živočicha, u něhož byl nalezen.



Obrázek 1- Tachyzoiti *Toxoplasmy gondii*

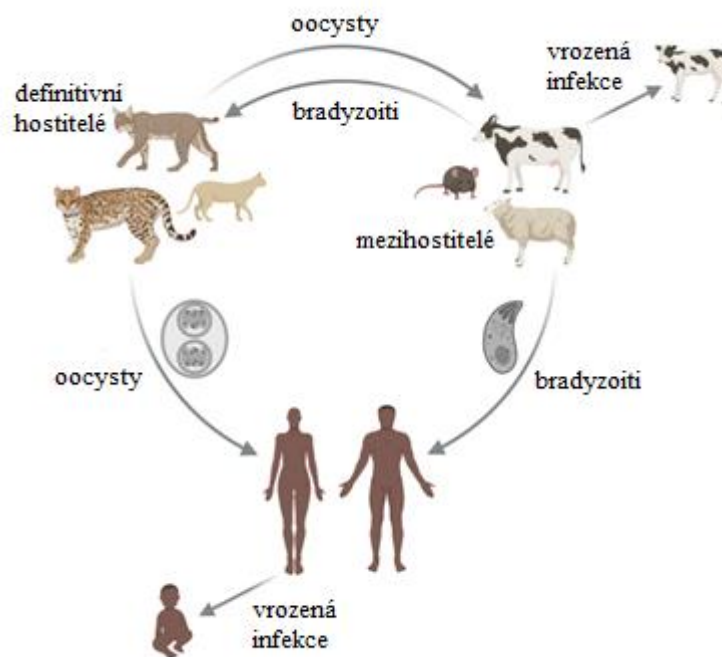
(Votýpka et al, 2018)

2.1 Životní cyklus

Už výše je *T. gondii* uvedena jako příklad parazita bez hostitelské specifity. Definitivními hostiteli jsou pouze kočkovité šelmy, avšak jako své mezihostitele využívá téměř všechny teplokrevné obratlovce, včetně lidí (paratenických hostitelů) (Smrž et al., 2004).

Její životní cyklus (viz obrázek 2) začíná v našich podmínkách u infikované kočky, která se většinou nakazí jako malé kotě. Kočka mající *T. gondii* v těle vylučuje tzv. oocysty společně s výkaly do půdy jednou za život (vzácně vícekrát). Uvádí se dva až tři týdny ve velkém množství, poté je vůči parazitovi odolná. Sporulace oocyst ve volné přírodě pak trvá jeden až pět dnů. Právě z půdy se může nakazit další kočka,

nebo jakýkoliv teplokrevný živočich, jenž se tímto stává mezipostitelem. V jeho střevech se z cyst vytvoří tachyzoiti umožňující pohyb. Ti napadají hostitelovy buňky, aby se mohli rychle pomnožit (*tachos* = rychlý). Poté se často mění i v důsledku imunitní odpovědi na pomaleji množící se bradyzoity (*brady* = pomalý), kteří přečkávají v tkáňových cystách (např. v nervovém systému nebo svalovině) až do smrti svého mezipostitele. Pokud je jedinec kořistí dalšího mezipostitele, *T. gondii* pronikne přes střevní stěnu, zopakuje fázi nepohlavního množení a opět přetrvává v tkáňových cystách. Životní cyklus se uzavírá pouze v případě, kdy infikovaného živočicha sežere kočkovitá šelma. V jejím střevě se už prvek začíná rozmnožovat pohlavně a může znovu uvolnit odolné oocysty nesoucí dvě sporocysty, každou se čtyřmi sporozoity (Berdoy et al., 2000; Zimmer 2000; Volf et al., 2007; Flegr, 2011; Votýpka et al., 2018; Tong et al., 2021).



Obrázek 2 - Životní cyklus *Toxoplasmy gondii*

(vlastní úprava dle Milne, 2020)

Zvřata se nejčastěji infikují pozřením již nakažených živočichů. Možnou cestou nákazy u lidí se nabízí manipulace s kočičím trusem, avšak chov koček není považován za ohrožující. Větší riziko představují toulavé kočky. Nakazit se dokážou ale i ti, kteří je nechovají, protože kočky rády zahrabávají svůj trus do záhonů či

písku. Člověk může oocysty sníst se špatně omytou zeleninou, nebo je dostat do těla fekálně orální cestou při práci na zahradě či hraní si na pískovišti. V podobě bradyzoiti se do našeho těla dostanou orální cestou v případě konzumace špatně upraveného masa nebo transplantace, kdy dárce je infikovaný. Další možností je tzv. kongenitální přenos přes placentu z matky na dítě, jež za jistých okolností dokáže ohrozit plod. V současné době se spekuluje o pravděpodobném přenosu pohlavním stykem (Votýpka et al., 2018). Flegr (2011) zmiňuje, že se zpravidla nejčastěji nakazíme v dětství, jelikož poznáváme věci všemi smysly.

2.2 Toxoplasmóza

V našich krajích, ale obecně i Evropě a Severní Americe, je *T. gondii* původcem nejčastějšího parazitárního onemocnění lidské populace tzv. toxoplasmózy, jež se řadí do zoonóz, infekcí přenosných mezi zvířaty a lidmi (Volf et al., 2007). Tong (2021) odhaduje počet toxo-positivních lidí po celém světě na jednu třetinu. V některých oblastech se může jednat až o 90 % obyvatel (Zimmer, 2000). Votýpka et al. (2018) uvádí, že v České republice je nakažen každý pátý člověk (20 %). Také zmiňuje první světově uznávaný popis nákazy člověka *T. gondii*, o který se v roce 1923 zasloužil český vědec, profesor Janků.

Volf et al. (2007) zmiňuje, že samotná nákaza prvokem většinou nic nezpůsobí, inkubační doba trvá jeden až dva týdny. Příznaky připomínají mírnou angínu, virózu nebo chřipku. Často se objevuje lymfadenopatie v oblasti hlavy a krku, teplota, bolest hlavy, svalů, kloubů či únava. Většina lidí ani nezjistí, že onemocnění prodělala.

Toxoplasmóza sestává ze dvou fází. Při fázi akutní převládají v těle rychle se šířící tachyzoiti, jež pronikají do tkání prakticky všech orgánů. Dokážou realizovat i přestup přes placentu do plodu. Po druhém týdnu infekce se začínají tvořit protilátky, makrofágy pohlcují tachyzoity. Někteří se zachrání přeměnou v odolné bradyzoity ukryté v tkáňových cystách. Následně toxoplasmóza přechází do latentní (klidové) bezpříznakové fáze. Parazit v nás zůstává, ale naše imunita se postarala o to, aby nám neškodil a dál se v nás nemnožil. Pouze u 1 % nakažených může toxoplasmóza vyvolat vážné obtíže (Flegr, 2011; Votýpka et al., 2018).

V ohrožení jsou lidé se sníženou imunitou. Důvodem je znemožnění tvorby T lymfocytů, které pomáhají tvořit protilátky hubící tachyzoity. Bez příslušné léčby

mohou zemřít (Zimmer, 2000). Odborníci (Smrž et al., 2004; Volf et al., 2007, Flegr, 2011; Votýpka et al., 2018) uvádí, že toxoplasmózy by se měly bát zejména nenakažené těhotné ženy, jelikož při infekci v průběhu gravidity může být plod poškozen. Prodělání nemoci lze zjistit z krve, v níž se nachází specifické protilátky. Závažné komplikace nastávají při nákaze v prvním trimestru, ve třetím trimestru poškození plodu není tak vážné. Předem infikované ženy nákazu na plod nepřenaší.

Votýpka et al. (2018) dodává, jak je důležité rozlišovat nemoc a infekci. Infekcí rozumíme nakažení a život s parazitem, zatímco nemoc označuje zhoršení stavu. O toxoplasmóze mluvíme, pokud nastane jedna z následujících situací:

- závažná akutní toxoplasmóza s dlouhodobě trvajícími příznaky
- kongenitální toxoplasmóza, jež může způsobit vážné poškození plodu např. hydrocefalus, slepotu, v lehčích případech se projeví oční toxoplasmóza nebo postižení centrální nervové soustavy
- reaktivovaná toxoplasmóza u osob se sníženou imunitou (při transplantaci)
- oční toxoplasmóza zapříčiňující nevratné poškození sítnice

2.3 Ovlivnění hostitele

U *T. gondii* byla prokázána manipulace s hostitelem. Berdoy et al. (2000) prováděl se svým týmem pokusy na infikovaných dospělých jedincích potkana obecného (*Rattus norvegicus*), kteří byli srovnáváni s kontrolní skupinou zdravých potkanů. Zjistilo se, že nakažení jedinci se nevyhýbají kočičí moči a pachu, některé dokonce přitahuje. Hostitel ztrácí vrozený strach z koček a snáze se chytá do pastí. Zatímco negativní jedinci při takovém kontaktu vylučují stresové hormony a jsou ostražití. Tím se potvrzuje manipulační hypotéza, jelikož změnou chování se zvyšuje pravděpodobnost ulovení definitivním hostitelem.

Příživníci si svého hostitele, chtějí udržet co nejdéle. *T. gondii* záměrně čeká na silnou imunitní odpověď hostitele, aby ji zahrnala do odolných tkáňových cyst. Pokud se tak nestane, parazit se nadměrně množí a může dojít k zahubení či vážnému poškození hostitele, což pro rafinovaného prvoka není výhodné, uvádí Zimmer (2000).

U infikovaných myší byla též zjištěna vyšší koncentrace dopaminu, což může v částech centrálního nervového systému oslabit pocit nebezpečí a zvýšit libido

(Gopko et Mikheev, 2019). Další z výzkumů potvrzuje vyšší koncentraci dopaminu o 14 % u pozitivních jedinců. Zároveň nevyvrací hypotézy zmiňované Flegrem a jinými odborníky ohledně vlivu toxoplasmózy na neurotransmitery (přenašeče vzruchů). Může potvrdit i souvislost toxoplasmózy s neurodegenerativním onemocněním (př. schizofrenie, Alzheimerova choroba, Parkinsonova choroba), u nichž se prokázal zvýšený výskyt protilátek na parazitického prvoka (Mirzaeipour et al, 2021).

Nutno podotknout, že nákaza člověka není vhodným východiskem pro dokončení životního cyklu, jelikož fakt, že budeme kořistí kočkovitých šelem, je v našich podmínkách dost nereálný. To ale parazit neví (Votýpka et al., 2018). Profesor Jaroslav Flegr (2011) se zabývá výzkumem změn chování způsobené tímto prvokem u lidí. Dle něho mívají nakažení lidé zpomalené reakce a stávají se častěji viníky dopravních nehod s 2,65krát větší pravděpodobností. Zároveň popisuje rozdíly při naze lidí s odlišným Rh faktorem i krevní skupinou. Také poukazuje na dobu nakažení matky, jež může mít vliv na pohlaví novorozence.

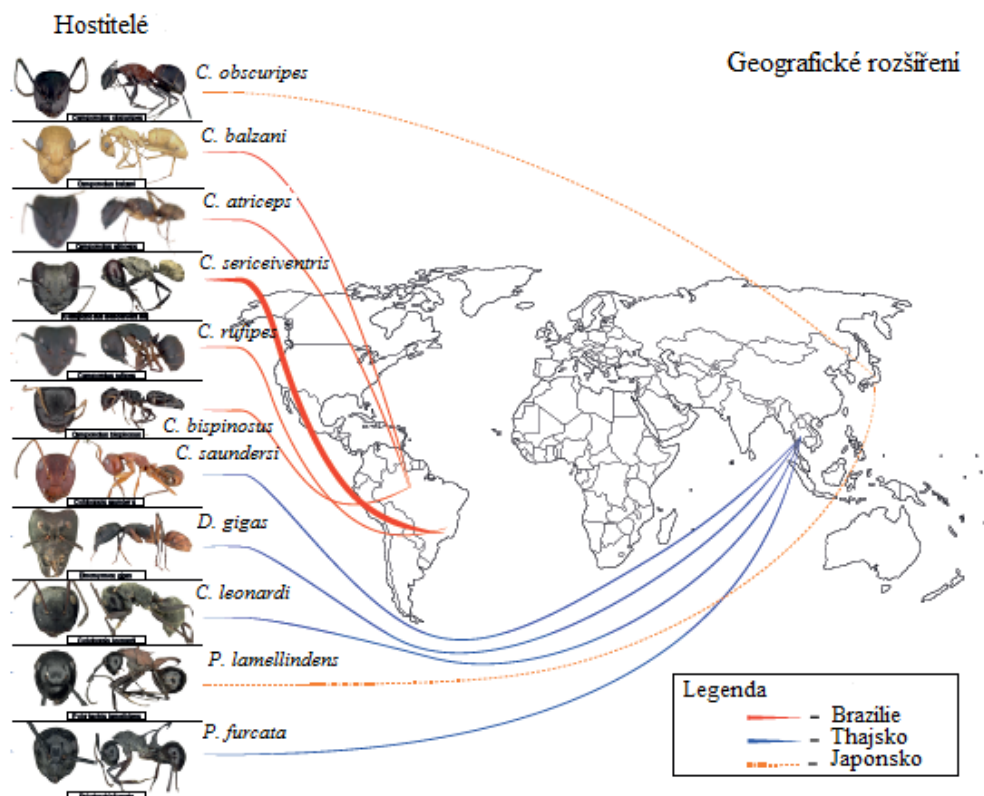
Gopko et Mikheev (2019) prezentují objevy Flegra a Heila, jež spekulují nad možným pohlavním přenosem. Tento fakt nevyvrací ani Tong (2021), jelikož *T. gondii* dokáže napadnout varlata potkanů (nikoliv myší) a je obsažena i v jejich ejakulátu. Zvyšuje se tak procento nakažených hostitelů.

3 *Ophiocordyceps unilateralis*

Ophiocordycepss unilateralis (dále jen *O. unilateralis*) je monoxenní houba patřící do vřeckovýtrusných hub (*Ascomycota*), konkrétněji do *Ophiocordycipitaceae*, třídy *Sordariomycetes* a podtřídy *Hypocreales*. Nemá oficiální český název, ale svou působivou manipulací hostitele si vysloužila označení „zombie houba“ (Mohd Salleh et al., 2016; Evans et al., 2018; Gopko et Mikheev, 2019).

Odborníci (Andersen et al., 2009; Mohd Salleh et al., 2016; Gopko et Mikheev, 2019; Votýpka, 2019b) uvádí, že se jedná o hostitelsky specifického endoparazita, jenž infikuje tropické druhy mravenců rodu *Camponotus*. Za hlavního hostitele se považuje mravenec *Camponotus leonardi* (dále jen *C. leonardi*) velký 0,7 – 2,5 cm) hnízdící na stromech. Cizopasník napadá s nižší úspěšností i mravence rodu *Polyrhachis*.

Někdy můžeme narazit na pojmenování *O. unilateralis sensu lato* (v širším slova smyslu), jelikož houba je součástí druhového komplexu. Očekává se existence několika kryptických druhů, které nelze na první pohled hned odlišit a postupem času budou teprve popsány (Wei-jiun et al., 2020). Evans et al. (2011, 2018) předpokládá infekci mravenců po celém světě, ačkoliv je častější v tropech. Momentálně víme o nakažených mravencích z Thajska, Brazílie a Japonska (viz obrázek 3), přičemž každý druh může být hostitelem odlišného druhu houby.

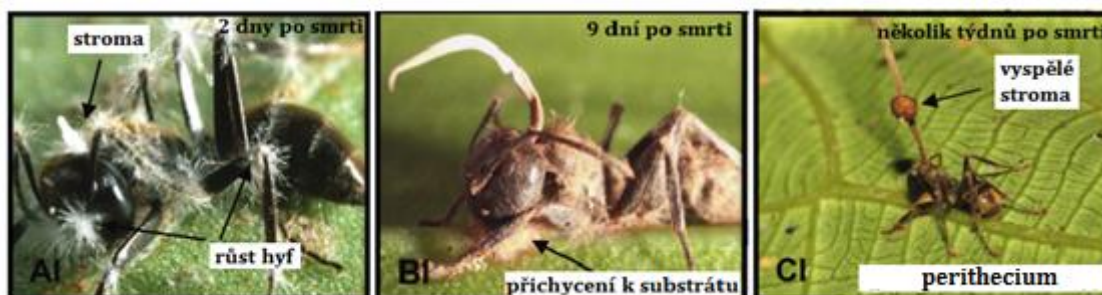


Obrázek 3 - Infikovaní mravenci
(vlastní úprava dle Evans et al., 2018)

3.1 Životní cyklus

Životní cyklus zahajují spory (výtrusy) dopadající na exoskelet mravence, kde se pevně přichytí. Poté pronikají do těla a kolonizují jej, přičemž k průniku pomáhají enzymy rozpouštějící chitin. Parazit dokáže uniknout obranným mechanismům a napadený jedinec se do této fáze jeví bez příznaků. Má neporušený skelet, zatímco vnitřnosti postupně tráví kvasinky. Po pár dnech příživník ovládá centrální nervový systém a začíná řídit chování. Hostitel následně opouští mraveniště a navzdory periodickým křečím hledá vhodné místo pro dokončení životního cyklu houby. Na ideálním místě se mravenec čelistmi zachytí vegetace a visí hlavou dolů. Svalová tkáň čelistí degeneruje, což zapříčiňuje hyfy obalující mozek a mravenec po několika hodinách umírá. Mrtvolu parazit využívá jako zdroj uhlíku a základnu pro rozmnožování (viz obrázek 4). Vnější hyfy schopny nepohlavního rozmnožování vyrůstají z tělních otvorů a kloubů. Porůstají celé tělo, přichycují jej k substrátu a zároveň chrání mrtvolu před mrchožrouty a mikroby. Životní cyklus končí

minimálně dva týdny po smrti jedince, kdy začíná ze zadní části hlavy růst stroma (nadzemní houbová struktura) s peritheciem, jež šíří pohlavní spory dopadající na nové hostitele (Andersen et al., 2009; Evans et al., 2011; Bekker et al., 2014; Mohd Salleh et al., 2016; Votýpka et al., 2018; Gopko et Mikheev, 2019; Votýpka, 2019b, Wei-juin et al., 2020).



Obrázek 4 - Životní cyklus *O. unilateralis* po smrti *C. leonardi*
(vlastní úprava dle Andersen et al., 2009)

3.2 Ovlivnění hostitele

Parazitická houba si musela najít východisko, jak dokončí svůj životní cyklus. Samotná infekce jedince zapříčiňující smrt jí nestačí, jelikož mravenci umírající v mraveništi jsou ostatními vyneseni ven, kam ukládají odpad. Houba potřebuje na rozmnožení čas, ale na „smetišti“ pro ni nejsou vhodné podmínky (Petr, 2013). Na hledání vhodného řešení měla dost času, protože Wei-juin et al. (2020) udává, že stopy kousnutí byly nalezeny na 48 milionů let starých zkamenělinách listů.

Andersen et al. (2009) a Evans et al. (2011) uvádí, že tzv. zombie houba produkuje nervové toxiny napomáhající manipulaci a k produkci výtrusů dochází až po smrti hostitele. Spory se často uvolňují v noci, kdy mají potenciální cíl v dosahu, jelikož rychle ztrácejí infekčnost. Jeden nakažený jedinec je schopen vytvořit pole dopadajících spor o rozloze 1 m².

Bekker et al. (2014) a Gopko et Mikheev (2019) poukazují na synchronizované změny chování. Domnívají se tak, že parazit má vliv na cirkadiánní rytmus, kvůli nápadně narušené činnosti dělníka v mraveništi. Při výzkumu v Thajsku bylo zjištěno, že nakažení jedinci (*Camponotus*) po opuštění kolonie našli vhodné místo pro zakousnutí kolem poledne, přičemž k úhynu došlo zhruba při západu slunce.

Andersen et al. (2009) zkoumal infikované mravence rodu *Camponotus* i *Polyrhachis* na místech, kde zemřeli vlivem parazita a následně je přemísťoval tak, aby mohl pozorovat změny v životním cyklu *O. unilateralis*. Došel k závěru, že změna polohy mrtvých mravenců snižuje fitness cizopasníka. K úhynu dochází na velmi přesných místech odlišných od nik zdravých jedinců. Mrtví mravenci (*C. leonardi*) byli nalezeni obvykle na spodní straně listu, konkrétně přichyceni na žilnatině převážně ve středu na severní/severo-západní straně rostliny, 25–28 cm nad zemí. V této poloze je teplota stabilně nízká (20–30 °C) a vlhkost trvale vysoká (94–95 %). Petr (2013) podotýká, že například v korunách je suchý vzduch, proto hostitelé míří níže, jelikož malé výkyvy vlhka vyvolávají výstřel spor.

Wei-juin et al. (2020) poukazuje na odlišnou výšku zakousnutí u různých druhů mravenců. V Thajsku našel osm rozdílných infikovaných druhů převážně rodu *Polyrhachis*. Přičemž *Polyrhachis mesota* byl nalezen v průměrné výšce 123–174 cm, což je nižší než u *Polyrhachis vlci* objeveného v 170–214 cm nad zemí. Domnívá se, že nákaza odlišných druhů mravenců udržuje míru infekce po celý rok.

O. unilateralis reaguje odlišně na centrální nervový systém různých druhů mravenců (Bekker et al., 2014). Andersen et al. (2009) uvádí odlišné parazity v rámci již výše zmíněného druhového komplexu, jenž odkazuje na specifický výběr hostitele i na určité místo smrti.

- *Ophiocordyceps kniphofiodes* + rod *Cephalotes* – zakousnutí do kůry
- *Ophiocordyceps australis* + ponravový mravenec – zakousnutí na větvičkách
- *Ophiocordyceps unilateralis* + rod *Camponotus* – zakousnutí na spodní straně listu

Svět musí být v rovnovážném stavu. Kdyby parazitická houba neměla zábran, zřejmě by brzy vyhynuly kolonie mravenců, které napadá, což by znamenalo i její vlastní zánik. V průběhu evoluce se naučily z tohoto soužití profitovat další organismy. Jedním z nich je hyperparazitický hmyz z čeledi bejlmorkovitých, který využívá mrtvého jedince pro kladení vajíček. Larvy se živí *O. unilateralis*, čímž zabraňují uvolnění spor (Petr, 2013).

4 Motolice podivná

Motolice podivná (*Leucochloridium paradoxum*, dále jen *L. paradoxum*) je obligátní endoparazit patřící mezi ploštěnce (*Plathelminthes*) do třídy motolice (*Trematoda*). Dokáže naklást velké množství poměrně odolných vajíček (Smrž et al., 2004). Vyniká zajímavým životním cyklem a neobvyklými sporocystami, jež mají rozvětvené tělo. Hojně se v literatuře setkáme s termínem tzv. broodsac (plodový vak) mající typický tvar a barvu, jež označuje určité stádium motolice (Ataev et al., 2016). Ataev et al. (2013) uvádí, že různé barvy sporocyst označují výskyt odlišných druhů v rámci rodu *Leucochloridium* (dále jen *L.*), přičemž pigmentace váčků se objevuje vlivem denního světla. Zelené sporocysty patří *L. paradoxum* (číslo 1 na obrázku 5), hnědé plodové vaky se objevují u *L. problematicum* a bradavičnaté plodové vaky odpovídají *L. vogtianum* (číslo 3 na obrázku 5c). Wesenberg-Lund (1931) podotýká, že zelené vaky jsou o něco štíhlejší než ostatní. Ataev et al. (2016) ve svém článku poukazuje též na odlišnost druhů s ohledem na barvy, avšak hnědé plodové vaky přisuzuje (i na základě hlubší analýzy) *L. perturbatum* (číslo 2 na obrázku 5a). Dále předkládá, že sporocysty *L. vogtianum* postrádají pigmentaci, mají jednotné, světle žluté zbarvení, nepulzují a většinou neprorůstají do tykadel na rozdíl od ostatních druhů.

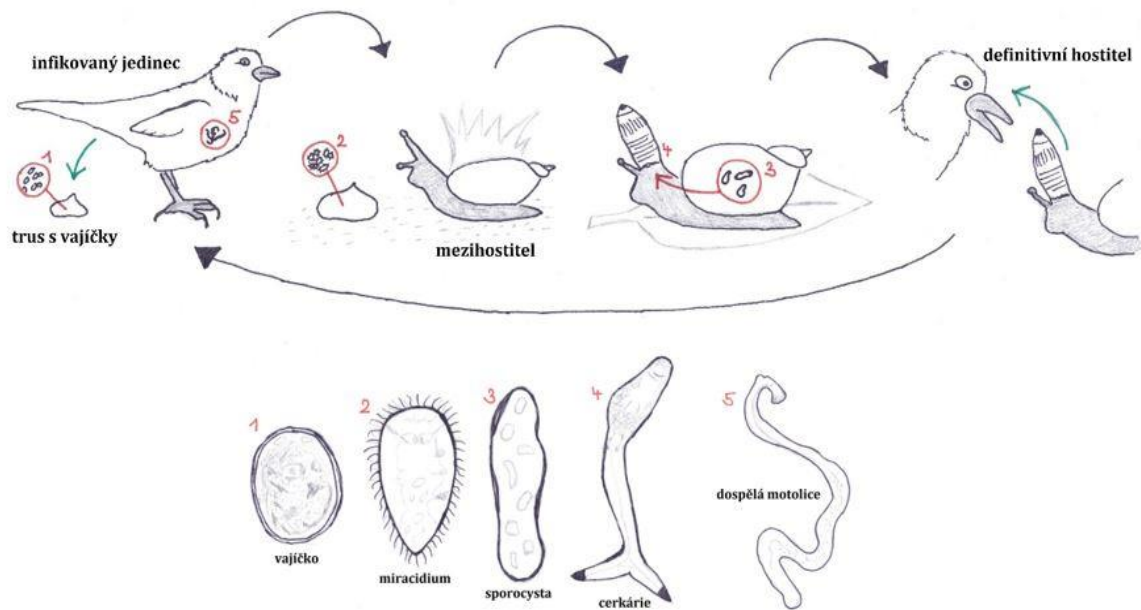


Obrázek 5 - Motolice rodu *Leucochloridium*
(Ataev et al., 2016)

4.1 Životní cyklus

L. paradoxum má dvouhostitelský životní cyklus (viz obrázek 6), v němž střídá suchozemského plže, jantarku obecnou (*Succinea putris*) a hmyzožravého pěvce. Nakažený pták uvolňuje spolu s trusem vajíčka motolice, jež ulpí na vegetaci. Ve vnějším prostředí se z nich poté vyvíjí první mikroskopické larvy tzv. miracidia, přičemž jejich výskyt koreluje s přítomností hostitelů. Mezihostitelský plž se nakazí v období od května do srpna, když zkonzumuje trus obsahující parazita. Z jednoho miracidia se v trávicím traktu jantarky vyvine pouze jedna sporocysta, která dále roste a množí se nepohlavně. Sporocysty připravené k přenosu stvoří makroskopické, nápadně zbarvené vaky obsahující metacerkárie, jež zajišťují infekci dalšího hostitele. Každá sporocysta tvoří průměrně 2-3 vaky pronikající do průhledných tykadel plže. Pestře zbarvené vaky v tykadlech pulzují, čímž napodobují housenku, aby přilákaly ptáky. Ti klovou do infikovaných jantarek a nakazí se i přesto, že plži nepatří do jejich jídelníčku. Někdy se mohou vaky uvolnit z tykadel a v prostředí jsou schopny přežít přibližně hodinu, kdy mohou stále

infikovat definitivního hostitele. Nakaženému pěvci příliš neškodí. Uvnitř jeho trávicího traktu se z motolice stává dospělý jedinec, čímž životní cyklus končí (Wesenberg-Lund, 1931; Zimmer, 2000; Volf et al., 2007; Flegr, 2011; Weselowska et Weselowski, 2013; Ataev et Tokmakova, 2015; Ataev et al., 2016; Votýpka et al., 2018).



Obrázek 6 - Životní cyklus motolice podivné
(Hlávková, 2021)

Dokončení životního cyklu bylo pozorováno v 19. století na ptácích v zajetí, pro které byly pestré vaky atraktivní, uvádí Weselowska et Weselowski (2013). Wesenberg-Lund (1931) podotýká, že tento experiment není absolutním důkazem pro stejné fungování i ve volné přírodě, kde tento jev nebyl dosud zpozorován.

4.2 Ovlivnění hostitele

V první kapitole (Parazitismus) jsou popsáni paraziti měnící chování či fenotyp hostitele, ovšem někteří umí obojí. Weselowska et Weselowski (2013) sdělují, že *L. paradoxum* dokáže kromě fenotypové modifikace sporocyst měnit i chování jantarek. Jedná se o ojedinělou situaci, která zřejmě zvyšuje pravděpodobnost přenosu parazita na definitivního hostitele. Pestře zbarvené vaky pulzující v průhledných tykadlech plže napodobují larvy motýlů. Díky tomu je motolice

vzácným příkladem živočicha, jenž napodobuje barvu a pohyb druhého z důvodu vyšší pravděpodobnosti predace, nikoliv za účelem ochrany.

Wesenberg-Lund (1931) při svém výzkumu přišel na řadu zajímavostí. Podotknul, že některé jantarky dokážou existovat s parazitem velmi dlouhou dobu, aniž by váčky pronikly do tykadel. Většinou se tak děje v období sucha, kdy jedinec nepřijímá potravu. Objevil i plže mající pouze jeden plodový vak, jenž se nejčastěji nacházel v levém tykadle, jelikož na pravé straně je umístěn otvor pro pohlavní orgány. Pokud plž vlastní dva vaky, každý obsadí jedno z tykadel. V tomto případě se zpozorovala redukce pohlavního aparátu navzdory tomu, že sporocysty s nimi nejsou v přímém kontaktu. Po zániku parazita je plž schopen obnovit své pohlavní orgány. Již výše byl zmíněný vliv světla na pigmentaci vaků. Špatné světelné podmínky mohou zastavit pulzaci a způsobit stažení plodových vaků. Avšak v období vlhka a dostatku potravy tma nezapříčiní stažení plže, což poukazuje na fakt, že symbionti nejsou plně přizpůsobeni jeden druhému, pokud bereme v potaz podmínky prostředí. Navíc se zdá, že váčky v tykadlech neomezují hostitelův zrak, jelikož v situaci, kdy se nakažený jedinec dostal k objektu ve vzdálenosti 1- 2 mm, stáhnul tykadla a změnil jejich směr.

Weselowska et Weselowski (2013) porovnávali chování infikovaných jantarek a kontrolních zdravých jedinců. Předpokládali, že imitace housenek byla určena pro hmyzožravé ptáky, kteří jsou aktivní především ve dne. Z důvodu lepší přístupnosti by měli paraziti změnit chování hostitele. Nakažení plži se chovali rozdílně, posouvali se dál a vyhledávali osvětlená místa umístěná výše ve vegetaci, což zvýšilo jejich viditelnost. Wesenberg-Lund (1931) uvádí, že jantarky s vaky zřídka nalezl na spodní straně listů či v hlubokém stínu. Pokud seděli na spodní straně listu, z okraje jim vykukovala pestrá tykadla.

Nakažený plž poskytuje potravu a odstraňuje odpadní látky sobě i parazitovi. Napadení je pro jantarku nepříznivé, avšak motolice je pouze výjimečně příčinou smrti svého hostitele (Wesenberg-Lund, 1931). Plodové vaky mohou opustit hostitele a žít mimo něj po dobu jedné hodiny, což můžeme brát jako mechanismus, který dokáže zabránit nadměrné infekci plže. Častokrát byla nalezena jantarka infikovaná dvěma druhy rodu *Leucochloridium*. Trojnásobná infekce je ovšem mnohem vzácnější (Ataev et al., 2016).

5 Další parazité ovlivňující chování

Parazity jsou myšleni především prvoci, helminti (červi) a členovci, avšak cizopasník může být jakýkoliv organismus žijící dlouhodobě na úkor jiného organismu např. houba. Dokonce i viry z obecné definice patří mezi parazity, jelikož ke svému množení mají potřebu využívat hostitelskou buňku (VOTÝPKA, 2019b). Mezi další parazity, jenž dokážou ovlivnit chování hostitele patří *Candida albicans*, strunovec, kořenohlavec krabí nebo virus vztekliny.

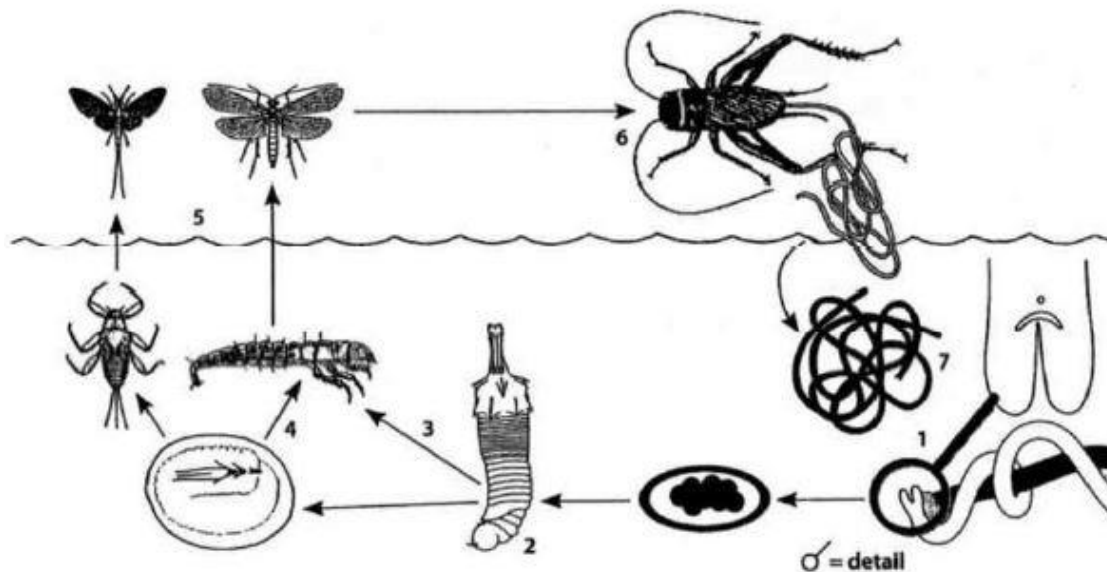
5.1 *Candida albicans*

Candida albicans (dále jen *Candida*) je oportunní (vyčkávací na oslabení jedince) kvasinka patřící do vřeckovýtrusých hub (*Ascomycota*), konkrétně do *Sacharomycetaceae*. Je součástí střevní mikrobioty, přičemž dokáže chránit lidské tělo rozpoznáním a zabíjením škodlivých bakterií a patogenů. Za normálních podmínek se rozmnožuje pučením a soupeří s ostatními mikroorganismy o potravu, což udržuje rovnováhu. *Candida* zaujímá se svým hostitelem, jemuž neškodí, komenzální vztah (viz tabulka 1). Například při užívání antibiotik (ztrátě přátelských bakterií), nahromadění toxinů, nevhodné stravě nebo oslabení imunitního systému může dojít k nerovnováze a následnému přemnožení kvasinky, což způsobuje tzv. kandidózu. V této situaci se z komenzála stává parazit potřebující živou tkáň organismu. *Candida* je v příznivých podmínkách schopna se rozmnožovat pohlavním spojením buněk, kdy výtrusy tvoří podhoubí pronikající do okolních tkání a způsobující houbové infekce na povrchu pokožky, v ústní dutině, střevech, pohlavních orgánech a jiných částech těla. Přenáší se vertikální cestou (z matky na plod) nebo pohlavním stykem. Spory mohou v nepříznivých podmínkách přežít 2-3 roky v neporušeném stavu díky silnému obalu. *Candida* se živí jednoduchými cukry (glukóza, maltóza) a v případě jejich větší absence je schopna vytvořit látku podobnou inzulínu, jež hlídá hladinu cukru v krvi a způsobuje větší chuť na sladké. Nakažení muži trpí omezeným počtem i životaschopností spermií a zánikem libida. Ženám vaginální kandidóza způsobuje poruchy menstruačního cyklu, potrat a neplodnost. Houbová infekce může zasáhnout i centrální nervový systém a následkem bývají problémy s pamětí, koncentrací, deprese, únava a různé fobie. Je možné se setkat i se sklonem k alkoholismu, vznětlivostí, nespavostí a ADHD.

Candida se nejeví jako parazit ovlivňující naši psychiku za účelem napadení dalšího jedince. Jde mu o přežití, tudíž o udržení nerovnováhy v organismu (Kincl et al., 2008; Berman, 2012; Janus, 2013; Hussein, 2021; Weissová, 2021).

5.2 Strunovec

Strunovci (*Nematomorpha*) s nitkovitým tělem jsou blízcí hlísticím (*Nematoda*) a společně tvoří taxon *Nematoidea*. Skupina *Gordiida* infikující suchozemské členovce zahrnuje většinu zástupců žijících ve sladké vodě např. strunovec vodní (*Gordius aquaticus*), jenž infikuje především potápníky nebo *Gordionus alpestris* parazitující na mnohonožkách. Zbylé mořské druhy rodu *Nectonema* parazitují na korýších. Zatímco dospělci žijí volně ve vodě a nepřijímají potravu, jejich larvy parazitují na různých členovcích a jsou schopny zmanipulovat hostitele kvůli dosažení vhodného místa pro reprodukci. Po kopulaci dospělí jedinci hynou a vajíčka jsou uvolňována do vody jednotlivě nebo ve shlucích, které tvoří dlouhé řetízky. Z vajíčka se vylíhne parazitická larva, jež dokáže přežít i několik měsíců přichycená na vegetaci v ochranné cystě. Do hostitele se dostane nejčastěji pozřením. Zatímco u *Gordiida* je často přítomen paratenický/transportní bezobratlý hostitel, u *Nectonema* nic takového prokázáno nebylo a definitivní hostitel může být infikován přímo. Larva se vyvíjí v těle hostitele do doby, než je připravena jej opustit a rozmnožit se. Hostitel se musí dostat do kontaktu s vodou, což není problém pro parazity vodních hostitelů, ale může to představovat překážku pro suchozemské členovce. Kontakt s vodou je výsledkem částečného vyschnutí v důsledku působení parazita nebo dochází k manipulaci, kdy cizopasník donutí skočit hostitele do vody. Mezitím co dospělec podobně jako popisovaná tzv. zombie houba vylézá z jejich těl, aby mohl dokončit svůj životní cyklus (viz obrázek 7), hostitel většinou umírá (utopí se, sežere ho ryba/žába). Avšak výskyt strunatce není sám o sobě pro hostitele smrtelný např. cvrčci, jenž infikuje kamikaze strunovec (*Paragordius tricuspidatus*) mohou žít i několik měsíců po vypuštění parazita (Zimmer, 2000; Biron et al, 2005; Rohde, 2005; Volf et al, 2007; Poinar, 2012).



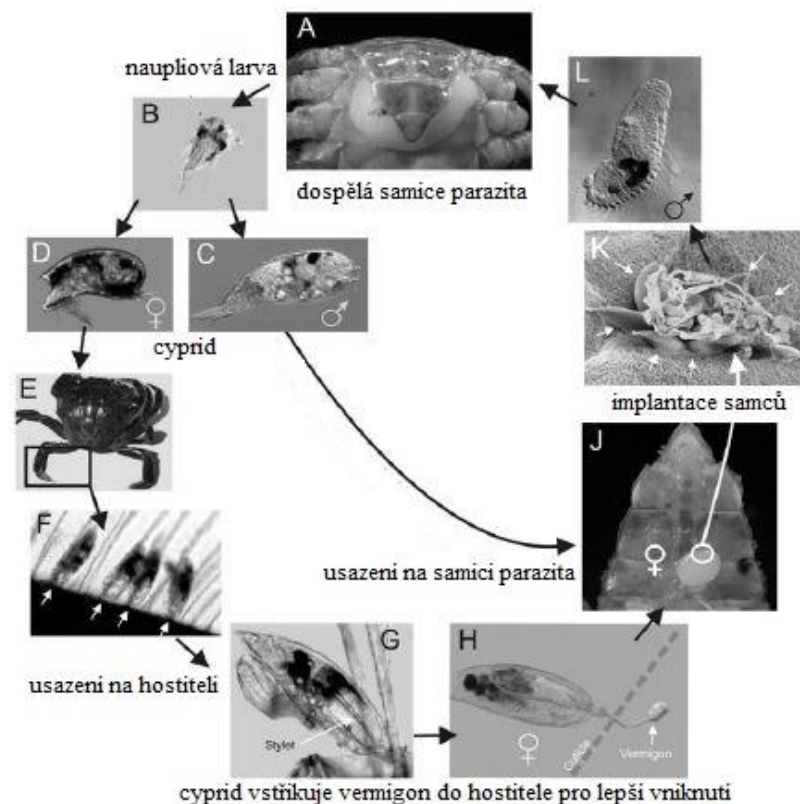
Obrázek 7 - Životní cyklus strunovce

(Volf et al, 2007)

5.3 *Sacculina carcini*

Kořenohlavec krabí (*Sacculina carcini*) je korýš (*Crustacea*) patřící do třídy svijonožců (*Cirripedia*) konkrétně do řádu kořenohlavci (*Rhizocephala*) (Smrž et al, 2004). Tyto zdatné parazity Flegr (2011) označuje za zloděje těl, jelikož umí přimět kraba, aby produkoval cizí potomstvo a staral se o něj i v případě, že se jedná o samce. *Sacculina carcini* infikuje více než 10 druhů krabů, přičemž nejčastějším hostitelem je krab pobřežní (*Carcinus maenas*) žijící v západní Evropě a severní Africe. Z vajíčka cizopasníka se vyvine volně žijící naupliová larva. Samičí larva ve stádiu cyprid (nekrmí se stádium) díky smyslovým orgánům na nohou dokáže zachytit pach hostitele a napadá kraba jako první. Na bázi končetin najde otvor, z něhož vyrůstají chloupky a vnikne do těla, kde se morfologicky mění. Ztrácí chitinózní kostru a tenkými kořenovými výběžky (tzv. interna) postupně prorůstá celým tělem kraba, ze kterého vstřebává živiny. Odtud pochází pojem sakulinizace (redukce/morfologické zjednodušení parazita). Tři dny po usazení začíná přebírat kontrolu nad hostitelem, jenž se nemůže svlékat a růst, aby neztrácel energii. Parazit energii potřebuje pro sebe, tudíž zamezí i dorůstání upuštěných klepet. Nakažení samci jsou zpravidla silněji ovlivněni než samice. Rozšíří se jim zadeček, degenerují jim nebo dokonce vymizí kopulační orgány (tzv. kastrace) a chovají se, jako by měli samičí váček (tzv. feminizace). Dospělá *Sacculina* vytvoří vak (tzv. externu)

přípevněný na břicho v místě, kde krab nosí vlastní váček s vajíčky a donutí ho se o něj starat. Na externě se nachází otvor pro vniknutí samčích larev. Po oplození krab vyleze na kámen a houpavými pohyby uvolňuje vajíčka parazita a životní cyklus se opakuje (viz obrázek 8). Krab zůstává celou dobu naživu a žije dlouho, ale protože ho parazit vykastroval, nemůže přenášet své geny (Zimmer, 2000; Rohde, 2005; Volf et al, 2007; Kristensen, 2012).



Obrázek 8 - Životní cyklus *Sacculiny carcini*
(vlastní úprava dle Rohde, 2005)

5.4 Virus vztekliny

Rabies virus (virus vztekliny) též označován jako RABV je RNA virus patřící do čeledi *Rhabdoviridae*, rodu *Lyssavirus*. Název vznikl z latinského slova *rabere*, což znamená být šílený. RABV způsobuje smrtelné onemocnění zvané vzteklna. Jedná se o kosmopolitní zoonotické onemocnění přenosné ze zvířat (zejména domácích) na člověka, přičemž nejvíce je nakaženo obyvatelstvo Afriky a Asie. Přirozeně infikuje velké množství různých zvířat, nejčastěji však šelmy (př. psy, lišky, šakaly,

mývaly, mangusty), ale i netopýry. Hospodářská zvířata (př. kráva, prase, koza, velbloud) jsou považována za konečné hostitele bez dalšího přenosu. Nákaza se přenáší kousnutím infikovaného savce, přičemž sliny obsahují vysokou koncentraci RABV. Nejdůležitějším rezervoárem virů jsou psi a jejich kousnutí představuje více než 99 % případů onemocnění u lidí. Další cestou infekce může být vdechnutí aerosolu RABV v netopýřích jeskyních, nebo kontaminace otevřené rány, škrábance a oděrky. Přenos z člověka na člověka je velmi vzácný. Inkubační doba se pohybuje od 10 dní až po 6 měsíců, přičemž délka závisí na závažnosti a umístění poranění. Životní cyklus začíná po vstupu do těla hostitele. RABV se šíří ze svalových buněk přes periferní nervstvo až do centrálního nervového systému, kde je prostor pro jeho rychlé pomnožení. Prostupuje do tkání různých orgánů včetně slinné žlázy, aby se mohl dále šířit. Ve většině případů způsobuje smrt v důsledku neuronální dysfunkce. Vzteklinu lze rozdělit na dvě klinické formy: zuřivou a paralytickou (klidnou), jež se projevuje hlavně horečkou, motorickou slabostí a následně paralýzou. Pro vývoj virů je výhodnější zuřivá forma, jež dokáže nakazit více jedinců v důsledku změn v chování. Projevuje se zvýšeným sliněním, agresivitou, aerofobií (nesnášenlivost cítění závanu vzduchu přes obličej), hydrofobií (strachem z vody) a následně paralýzou končící smrtí při plném vědomí. Hlavní strategií boje proti vzteklině je očkování inaktivovaným nebo živým oslabeným virem, přičemž první vakcínu vyrobili Louis Pasteur a Emile Roux v roce 1885. Dnes se používají i bezpečné orální vakcíny (Hubálek et Rudolf, 2007; Votýpka, 2019b; Bansal et al, 2021; Khalafalla et Ali, 2021). Dle Státní veterinární zprávy (2018) od roku 2002 se na území ČR vzteklinu nevyskytuje. Nadále však platí povinné očkování psů od 3 měsíců a jejich vyšetření do 5 dnů v případě poranění člověka.

6 Projektový den

Navrhovaný projektový den s názvem „Paraziti, jak je neznáme“ je připraven s ohledem na zpracované téma. Zaměřuje se na parazity, jenž ovlivňují chování hostitele, konkrétně na: *T. gondii*, *Candidu albicans*, zombie houbu, RABV, *Sacculinu carcini*, motolici podivnou a strunovce. Studenti se v průběhu svého studia setkali s termínem parazit/parazitismus, jenž se dle Rámcového vzdělávacího programu (RVP) případně Školního vzdělávacího programu (ŠVP) objevuje např. v oblastech Biologie člověka, Ekologie apod. Důvodem zvoleného názvu je fakt, že se žáci s ovlivněním chování hostitele a tzv. manipulační hypotézou nemuseli setkat, jelikož tato látka není zařazena do RVP, potažmo ŠVP. Záleží tedy na samotném učiteli, zda se s žáky bude během výuky daným tématem zabývat.

Tabulka 2 - Návrh projektového dne

Název: „Paraziti, jak je neznáme“	
Ročník:	3. ročník
Navržený:	umělé (učitel)
Organizace:	Školní
Účastníci:	Třídní
Rozsah:	střednědobý (jednodenní)
Výstup:	vyhodnocení dat prezentace před spolužáky

(Hlávková, 2022)

Dle Coufalové (2006) se jedná o střednědobý projekt z důvodu uskutečnění během jednoho dne. Projektový den může být realizován například 24. 1. s ohledem na Mezinárodní den vzdělání v časovém rozmezí od 8:00 do 14:00, přičemž žáci by v tuto dobu měli mít již uzavřené známky za 1. pololetí.

S návrhem projektu v rámci jedné školy nepomáhají žáci a uměle připravovaný námět vymýšlí pouze vyučující, přičemž účastníky jsou studenti jedné třídy. U víceletých gymnázií, v případě menšího počtu žáků, může dojít ke spojení paralelních tříd. Samotný projekt je zvolen konkrétně pro studenty 3. ročníku vyššího gymnázia, jelikož dle RVP/ŠVP žáci mohou uplatnit již osvojené vědomosti

z probraných okruhů (např. Biologie hub, Biologie živočichů, Biologie virů), ze kterých mohou při plnění úkolů čerpat.

Projektový den primárně postaven na předmětu biologie využívá i mezipředmětových vztahů. Integruje učivo informatiky, matematiky, anglického jazyka, případně výtvarné výchovy a mediální výchovy, jež se řadí mezi průřezová témata.

Navržený projekt po obsahové stránce spadá do několika vzdělávacích oblastí. Vzdělávací oblast Jazyk a jazyková komunikace rozšiřuje užívání jazyka jakožto základního pilíře při rozvoji myšlení. Zároveň zdokonaluje vyjadřování a komunikační schopnosti v mluvené i psané podobě. Oblast Člověk a příroda odkrývá komplexní poznání přírodních zákonitostí světa kolem nás. Klade důraz na objektivitu při řešení problémů, přičemž nesmí být opomenuty empirické prostředky (objektivní pozorování, měření a experimenty), ale také prostředky teoretické, do nichž spadají pojmy, hypotézy aj. Informatika a informační a komunikační technologie (dále jen Informatika a ICT) je oblast podporující informační gramotnost tzn. využívání informačních a komunikačních technologií, informačních zdrojů. Vyžaduje od žáků přizpůsobení se inovovaným verzím digitálních zařízení a schopnost jejich vzájemného propojování. Oblast dává žákovi prostor pro tvořivost, vlastní seberealizaci i spolupráci (Jeřábek et al, 2007).

Podstatou projektového dne je podněcovat u žáků zájem o vztahy v přírodě, především dominantní formu symbiózy – parazitismus a rozvíjet jejich zvědavost ohledně evolučních proměn souvisejících s efektem červené královny a manipulační hypotézou. Projekt dává studentům možnost si vyzkoušet jiné metody učení, při nichž se mohou učit navzájem. Umožňuje stmelit kolektiv a zdokonalit týmovou práci, především schopnost spolupráce, komunikace i organizace. Vede žáky k zodpovědnosti za sebe i ostatní, iniciuje hledání a využití jejich individuálních schopností, což napomáhá sebepoznání. V neposlední řadě také rozvíjí a upevňuje již získané vědomosti i dovednosti. Žáci si vyzkouší práci ve skupinách, práci s celou třídou i práci individuální.

Návrh naplňuje i řadu kognitivních, afektivních i psychomotorických cílů. Žáci uplatní své vědomosti z různých předmětů, vyhledají nezbytné informace v rozličných zdrojích, naučí se porozumět dané problematice, zanalyzují získaná data z provedených pokusů a zároveň vyjádří vlastní názor, ocení přínos ostatních

a budou ohleduplní. Studenti prokážou schopnost samostatného rozhodování, logického myšlení i spisovného prezentování získaných poznatků.

Jedná se o projekt rozvíjející klíčové kompetence, jež jsou dle RVP (2007) souhrnem vědomostí, dovedností, schopností, postojů a hodnot důležitých pro osobní rozvoj a uplatnění každého člena společnosti. Projektový den povede k utváření pracovních návyků jednotlivce i skupiny, orientaci v informačním světě, rozšiřování slovní zásoby a správnému pojmenování v rámci tématu. Dále přispěje k zájmu objevování a poznávání, ale také k samostatnému a sebejistému vystupování a jednání, k efektivní, bezproblémové a bezkonfliktní komunikaci.

Učitel v průběhu celého projektového dne bude nepřímo řídit činnost žáků. Jeho úkolem bude motivovat žáky při řešení úloh, organizovat vytváření skupin, zadávat jasné instrukce, pozorovat práci skupin, činnost žáků, v případě potřeby poskytovat pomoc.

Výsledkem projektu bude výstup, jenž má dvě části. První část bude představovat vyhodnocení získaných dat pomocí grafů, zatímco druhá část se zaměří na prezentaci a představení studovaného tématu spolužákům.

Hodnocení v rámci projektu bude slovní, písemné i kvantitativní v podobě bodového ohodnocení, které žáci získají během závěrečné soutěže. Slovní hodnocení učitele bude průběžné, ale především se bude týkat konečných výsledků projektu. Slovně mohou hodnotit žáci sami sebe i své spolužáky. Prostřednictvím online dotazníku žáci písemně ohodnotí celkový projektový den.

7 Plánování realizace, prezentace a hodnocení

Projekt se dle návrhu uskuteční v rozmezí od 8:00 do 14:00, což dohromady činí 6 hodin. Výuka nebude rozčleněna do klasických 45minutových bloků. Navržený harmonogram projektu (viz tabulka 3) obsahuje dvě plánované přestávky, přičemž jakékoliv jiné pauzy si studenti v průběhu projektu udělají dle vlastní potřeby.

Žáci maximálně týden dopředu dostanou potřebné informace o projektu včetně termínu, časového rozmezí, instrukcí, plakátu a potřebných pomůcek, mezi které kromě klasických psacích potřeb patří i průhledná sklenice, jež studenti budou potřebovat, aby si vyzkoušeli slinový test. Studenti budou mít dovoleno si přinést vlastní chytrá zařízení, jež jim mohou pomoci zefektivnit práci.

Tabulka 3 - Časový harmonogram

	Časová dotace
Rozdělení do 7 skupin	5 min
Motivace	20 min
Samostatná práce skupiny	180 min
Přestávka	5 min
Prezentace	70 min
Vyhodnocení dat	15 min
Přestávka	10 min
Rozdělení do soutěžních týmů	5 min
Soutěž RISKUJ	45 min
Závěr	5 min

(Hlávková, 2022)

7.1 Rozdělení do sedmi skupin

Součástí informací, které žáci obdrží před projektovým dnem bude plakát s parazity (viz obrázek 9) vytvořený v bezplatné webové platformě Canva (Melanie Perkins, Cameron Adams et Cliff Obrecht, Austrálie, 2012). Žáci se dle něj rozdělí do sedmi skupin (s ohledem na 7 různých parazitů vyobrazených na plakátu) s rovnoměrným počtem členů. Rozhodnutí, do jakého pracovního týmu se přidají, je na nich samotných. Cílem svévolného rozhodnutí a utvoření skupiny je správné

vyhodnocení situace s ohledem na počet lidí ve třídě, rozvíjí se tak kompetence k řešení problémů. Například při počtu 30 žáků ve třídě by měly vzniknout čtyřčlenné případně pětičlenné skupiny.

Prvních 5 minut projektu studenti utvoří týmy a zvolí si ve třídě pracovní místo dle potřeb a vlastního uvážení.



Obrázek 9 - Plakát
(Hlávková, 2022)

7.2 Motivace

Po rozdělení do pracovních skupin bude následovat motivace sestávající ze dvou částí, které mají žáky blíže seznámit s tématem projektu. Cílem je pozitivně prožívat vzájemnou spolupráci, vyjadřovat svůj názor a ocenit přínos svých spolužáků.

Celková časová dotace je stanovena na 20 minut (viz tabulka 4).

Tabulka 4 - Harmonogram motivace

Motivace		20 min
Brainstorming	První fáze	5 min
	Druhá fáze	10 min
Otázky a odpovědi		5 min

(Hlávková, 2022)

Motivace studentů bude zprostředkována pomocí techniky tzv. brainstormingu. Průcha et al (2003) uvádí, že brainstorming se ve vyučování používá jako aktivizační prvek mající dvě fáze, jež rozvíjí tvořivé myšlení. V první fázi je zakázané hodnocení nápadů, které jsou produkovány spontánně. Analyzování a diskutování nápadů se objevuje až ve druhé fázi, v níž se dopracováváme k nejlepšímu řešení.

Žáci budou mít za úkol vymýšlet vše, co je napadne, když se řekne parazitismus. Učitel v první fázi postupně napíše nápady skupin na tabuli, aniž by cokoliv kritizoval. Posléze se nápady dají do souvislostí a zanalyzují se. Cílem do jisté míry kontrolované skupinové diskuze je naučit studenty respektovat zásady vedené diskuze a zapisovat řetězce asociací.

Po ukončení diskuze každý z žáků dostane papír s otázkami (viz obrázek 10). Na první 3 odpoví před zahájením samostatné práce. Jedná se o otázky, na které žáci nutně nemusejí znát odpověď, přičemž v průběhu projektu zjistí, jak byli/nebyli svou úvahou blízko. Při odpovídání není zakázána skupinová diskuze. Studenti uplatní kritické myšlení, využijí svou představivost a intuici. Poslední otázku si ponechají nevyplněnou a se svou odpovědí počkají až do prezentací svých spolužáků.

1. Má větší evoluční výhodu parazit nebo hostitel? A proč?
2. Je možné, aby parazit změnil chování svého hostitele?
3. Proč by ke změně chování mohlo dojít?
4. Na základě prezentace ostatních skupin odhadni, kvůli kterým parazitům se dělaly jednotlivé pokusy.

Pokus	Parazit
Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?	
Jak zdatný je tvůj postřeh?	
Jen si plivni!	

Obrázek 10 - Otázky a odpovědi

(Hlávková, 2022)

7.3 Samostatná práce skupiny – shromažďování informací

Před samostatnou prací učitel seznámí žáky s jejich výstupem majícím dvě části: prezentace a vyhodnocení dat. Během stanoveného času (180 min) by měli studenti rozdělení do skupin shánět informace o jednom ze 7 parazitů. Mohou čerpat z připravené knihovny (viz tabulka 5), využít počítačovou učebnu nebo vlastní chytrá zařízení (mobilní telefony, tablety, notebooky). Veškeré potřebné pomůcky (aktivity, volné listy papíru, velké archy papíru, výtvarné potřeby aj.) a připravené informační materiály budou k dispozici u katedry učitele.

Tabulka 5 - Knihovna

Typ média	Název
Kniha	Paraziti a jejich biologie
Kniha	O parazitech a lidech
Kniha	Nebud' potravou pro houbu Candida
Kniha	Pozor Toxo!
Časopis	Přírodovědci.cz – Paraziti
Učebnice	Biologie živočichů pro gymnázia
Učebnice	Biologie rostlin a hub pro gymnázia
Slovník	Česko-anglický a anglicko-český slovník

(Hlávková, 2022)

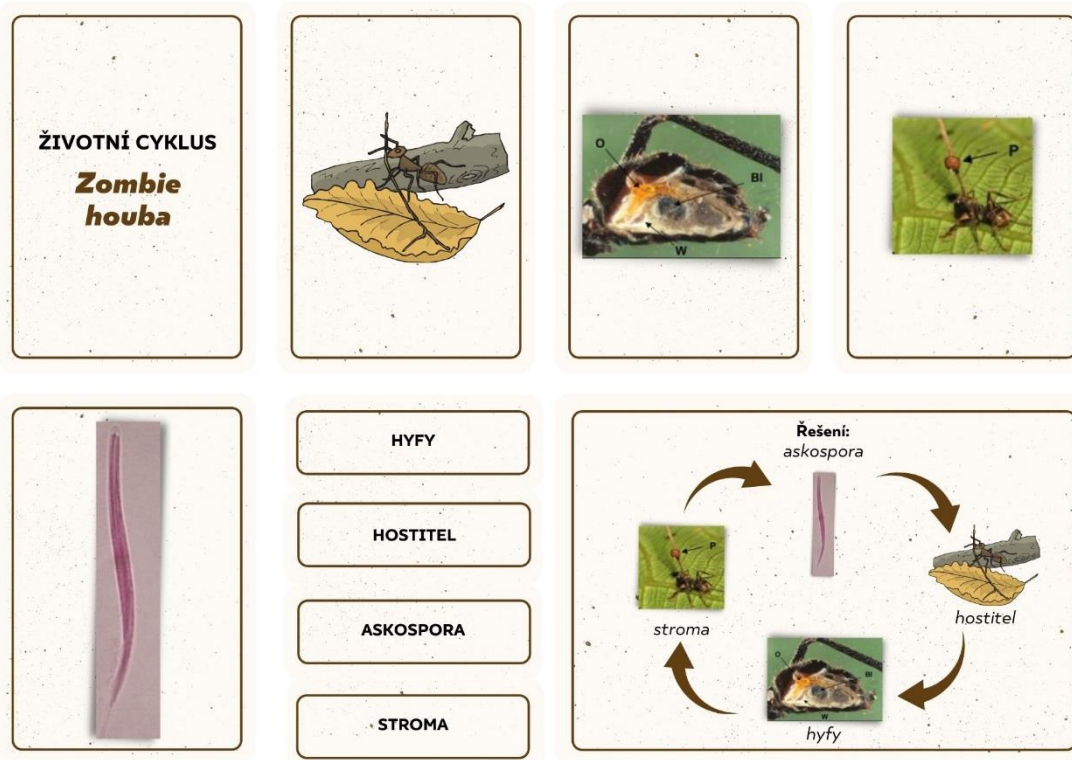
V připravených podkladech se budou nacházet tři aktivity, které všem skupinám zprostředkují informace o daných parazitech.

- odborné texty v anglickém jazyce
- kartičky s klíčovými pojmy
- kartičky s životními cykly

Odborné úryvky článků na dané téma psané v angličtině (viz příloha 1) propojí biologii s anglickým jazykem v rámci mezipředmětových vztahů. Žáci si osvojí cizí jazyk, jenž usnadňuje přístup k informacím. Cílem je studenta naučit číst s porozuměním, rozlišit podstatné a okrajové informace a následně reprodukovat obsah. Aktivita dá možnost vyniknout žákům, kteří mají větší zájem o cizí jazyky.

Kartičky s klíčovými pojmy (viz příloha 2) poslouží k utřídění informací. Žáci vyberou pouze pojmy, které pro zvoleného parazita platí. Správné řešení pro kontrolu studenti naleznou u vyučujícího, který s nimi úkol projde.

Poslední aktivitou budou přiřazovací kartičky (viz příloha 3) vytvořené v bezplatné webové platformě Canva, z nichž žáci sestaví po sobě jdoucí fáze životního cyklu parazita, přičemž každý tým dostane sadu kartiček odpovídající tématu. Žáci nejprve správně přiřadí pojmy k obrázkům a následně sestaví životní cyklus (viz obrázek 10). O kartu se správným řešením požádají učitele, který jim případné chyby pomůže opravit.



Obrázek 11 - Kartičky s životními cykly (Zombie houba)

(Hlávková, 2022)

Úkolem samostatné práce je nahromadit důležité informace a připravit maximálně pěti až sedmi minutovou prezentaci pro zbylé skupiny, přičemž forma výstupu závisí na dohodnutí skupiny. Studenti mohou zhotovit plakát, prezentaci v PowerPointu (s počtem slidů v rámci jednotek), natočit video, předvést scénku apod. Vyučující vítá jakýkoliv realizovatelný nápad, který lze za daný čas stihnout.

Práce je inspirována aktivitou „Hon na vědomosti“, jejímž záměrem je získání co nejvíce informací z připravených materiálů ve stanoveném čase. Žáci si vyzkouší práci s jednotlivými informačními zdroji. V průběhu „honu“ se zaměří na rozvoj především klíčových kompetencí k učení, přičemž aktivita podporuje schopnost práce v časovém limitu, využití různých informačních zdrojů, nalézání klíčových slov a rozlišování podstatného od nepodstatného (Hansen, 2006).

V průběhu samostatné práce si žáci v pracovním týmu dohodnou plnění rolí ve skupině (vedoucí, prezentující aj.), rozvrhnou práci a zváží využití různých postupů při řešení problémů, čímž prohlubují kompetence k řešení problémů. Dále si určí cíle s ohledem na své osobní schopnosti a zájmy. Budou aktivně spolupracovat pro dosažení cíle, přispívat k vzájemné úctě a toleranci při udržování vztahů, což jsou pilíře pro kvalitní soužití a celkové rozvíjení kompetence sociální a personální. Zároveň rozvinou komunikativní kompetenci při spolupráci s ostatními a použijí s porozuměním odborný jazyk. V neposlední řadě zdokonalí kompetenci k podnikavosti a rozvinou tak svůj osobní i odborný potenciál, prosadí vlastní iniciativu a tvořivost, budou usilovat o dosažení cílů a průběžně objektivně hodnotit dosažené výsledky.

Kognitivním cílem je, aby žáci dokázali vyhledat potřebné informace v knihách, učebnicích, časopisech i na internetu. Měli by se naučit organizovat svou činnost v týmu, aktivně se zapojit do realizace a být ohleduplní vůči ostatním. Zároveň si osvojí stanovení vlastního cíle, ke kterému jejich konání bude spět.

7.4 Samostatná práce skupiny – pokusy

V průběhu samostatné práce se všichni členové jednotlivých skupin zúčastní připravených pokusů, přičemž výsledky zaznamenají do vytištěných tabulek a následně ze získaných dat vytvoří grafy ve společně sdílené prezentaci.

Cílem je studenty naučit užívat jednotlivé grafy (především výsečový) s ohledem na získané výsledky a pracovat v prostředí Microsoft Powerpoint i Microsoft Excel. Žáci během pokusů uplatní vhodné metody a dříve získané vědomosti a dovednosti, čímž podpoří kompetence k řešení problémů. Zároveň rozvinou sociální a personální kompetence, neboť by při práci měli projevit zodpovědnost vůči vlastnímu zdraví i bezpečnosti druhých.

Každá skupina bude mít k dispozici své tři strany v prezentaci, kde vytvoří grafy se získanými daty k jednotlivým pokusům. Následně je vnese do předem připraveného společného grafu, jenž obsáhne výsledky v rámci celé třídy. Půjde o mezipředmětové propojení biologie, matematiky a informatiky s ohledem na vzdělávací oblast „Informatika a informační a komunikační technologie“, v níž se žáci naučí užívat moderních technologií k prezentaci výsledků.

Pokusy:

- Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?
- Jak zdatný je tvůj postřeh?
- Jen si plivni!

Pokus s názvem „Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?“ může odhalit nákazu *T. gondii*. Studenti přičichnou ke všem vzorkům a zaznamenají do připravené tabulky (viz obrázek 11), posléze i grafů, který jim nejvíce voní. Vzorky budou připraveny v jedné z prvních lavic.

V jednotlivých kádinkách bude obsažena kočičí, psí a lidská moč. Na základě Berdoyova pokusu (2000) by nakaženému jedinci měla nejvíce vonět právě moč kočičí (viz podkapitola 2.3).

„Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?“

Přičichněte si ke třem odlišným vzorkům a následně označte křížkem políčko s odpovídajícím vzorkem, jenž vám nejvíce voní.

Jméno	Vzorek A	Vzorek B	Vzorek C

Obrázek 12 - Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?

(Hlávková, 2022)

„Jak zdatný je tvůj postřeh?“ je název pokusu, jenž odhadne reakční dobu (čas potřebný k reakci) jedince. Reakční doba řidičů se skládá z reakce optické, psychické i svalové a závisí na úhlu pohledu. Reakční doba průměrného řidiče se pohybuje v rozmezí od 0,3 do 0,5 sekund (Sajdl, 2022).

Flegr (2011) ve své knize píše, že člověk infikovaný *T. gondii* může mít pomalejší reakce. Avšak získaná data nemusí být přesná, jelikož záleží na mnoha faktorech (např. hladině testosteronu, tréninku, motivaci, odpočinku, únavě apod.). Pomalejší reakce zřejmě zvyšují pravděpodobnost predace.

Žáci budou mít připraven počítač s testem reakční doby prostřednictvím internetové stránky *HUMAN BENCHMARK* (<https://humanbenchmark.com/>). Test je zaměřen na postřeh změny barvy. Testující má před sebou červené okno a čeká na okamžik, kdy se změní na zelené. Jeho úkolem je co nejrychleji kliknout po přeměně barev. Aplikace test provádí celkem pětkrát k získání průměrné reakční doby. Naměřené časy mohou být nepatrně vyšší vzhledem k odezvám počítačových periférií apod. Ze získaných dat v tabulce (viz obrázek 12) studenti vytvoří grafy, v nichž zohlední výsledky nižší, vyšší nebo v normě průměrného řidiče.

„Jak zdatný je tvůj postřeh?“

Vyzkoušejte si online test a následně napište v sekundách svou výslednou reakční dobu, jež vám vyšla na konci testu.

Průměrná reakční doba řidiče se pohybuje v rozmezí 0,3 – 0,5 sekund. Do grafů zaznamenejte, zda je vaše reakční doba vyšší, nižší nebo v rozmezí.

Jméno	Reakční doba (s)

Obrázek 13 - Jak zdatný je tvůj postřeh?

(Hlávková, 2022)

V rámci posledního pokusu nesoucí název „Jen si plivni!“ si studenti udělají slinový test na zjištění infekce houbou *Candida* dle popisu Januse (2013). Každý žák si naplní donesenou průhlednou sklenici vodou a vyplivne do ní sliny. Po dobu 1 hodiny, v patnácti minutových intervalech, bude pozorovat slinu na povrchu. Dle pozorování svého vzorku slin usoudí, zda je či není nakažen a vepíše do odpovídajícího políčka v tabulce (viz obrázek 13) křížek. Nákaza se pozná, pokud slina zůstane na povrchu a visí z ní tenké prameny, slina se rozdrolí a bude klesat

zakalená na dno sklenice nebo zůstane viset ve vodě jako zakalená mlha. V případě žádných provázků a následného jednolitého splynutí na dno sklenice se nebude jednat o nákazu. Studenti získaná data vynesou do grafů.

„Jen si plivni!“

Naplňte svou průhlednou sklenici vodou a vyplivte do ní sliny. Po dobu 1 hodiny v patnácti minutových intervalech pozorujte slinu na povrchu. Dle pozorování svého vzorku slin posuďte, zda jste či nejste nakaženi a vepište do odpovídajícího políčka křížek.

Nákaza se pozná, pokud slina zůstává na povrchu a visí z ní tenké prameny, slina se rozdrolí a bude klesat zakalená na dno sklenice nebo zůstane viset ve vodě jako zakalená mlha.

V případě žádných provázků a následného jednolitého splynutí na dno sklenice se nejedná o nákazu.

Jméno	Nakažený	Nenakažený

Obrázek 14 - Jen si plivni!

(Hlávková, 2022)

7.5 Výstup

Výstup žáků z projektového dne bude sestávat z prezentace a vyhodnocení dat z provedených pokusů. Během 70 minut proběhne prezentování skupin, přičemž žákům bude ve třídě k dispozici tabule, počítač, dataprojektor a vizualizér. Každá skupina by měla mít celkem 10 minut, přičemž 5–7 minut připadne na vlastní prezentaci. Zbýlý čas bude určen pro případné dotazy, zhodnocení vyučujícím i ostatními skupinami a sebereflexi. Studenti se naučí vyjádřit svůj názor, kriticky posoudit cizí i vlastní výkon a ocenit přínos druhých.

Cílem je dohodnout se společně na způsobu prezentace společné práce, přičemž se může jednat o komentář k vytvořenému plakátu, prezentaci v PowerPointu s výkladem, natočené video, zinscenování scénky aj. Zároveň by žáci měli dokázat vystoupit před třídou, shrnout získané informace, rozdělit si efektivně role při prezentaci a efektivně využít moderní informační technologie.

Důraz je kladen na rozvoj komunikativní kompetence, kdy žák rozumí informačním i komunikačním prostředkům a využívá je ke svému rozvoji. Prezentující by měl dokázat obhájit svůj názor, formulovat a vyjadřovat své

myšlenky a názory v logickém sledu, výstižně, souvisle a kultivovaně. Ostatní členové skupin by měli být schopni naslouchat druhým a porozumět jim. Následně by měli umět vhodně reagovat a účinně se zapojit do diskuze. Studenti zdokonalí kompetence k učení, neboť se mohou z vlastních úspěchů a chyb poučit.

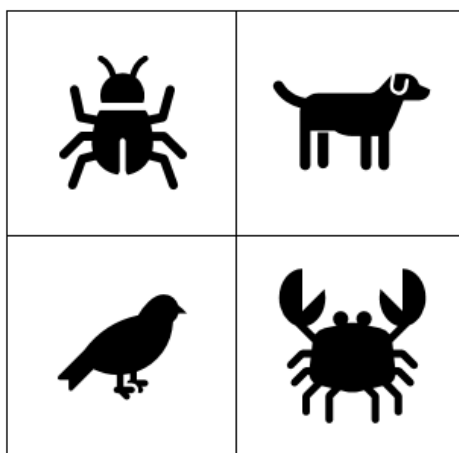
Žáci v průběhu prezentací vyplní tabulku k poslední otázce (viz výše zmíněný obrázek 10), jež dostali před samostatnou prací. Úkolem je dle jednotlivých prezentací zkusit odhadnout, k jakému parazitovi se dané pokusy vztahovaly. Studenti rozvinou klíčové kompetence k řešení problému, konkrétně zformulují hypotézy na základě dostupných informací.

V druhé části výstupu se žáci zaměří na vyhodnocení dat z provedených pokusů, které budou zaznamenány ve sdílené prezentaci. Každá ze skupin okomentuje výsledky v rámci jejich skupiny a společně se skupiny s vyučujícím zaměří na data v rámci celé třídy. Studenti společně s vyučujícím zhodnotí správnost svých úvah o manipulaci hostitele a zároveň odhad, kvůli kterým parazitům se jednotlivé pokusy prováděly.

7.6 Soutěž RISKUJ

Hlavním cílem soutěže RISKUJ je rozšířit si a upevnit své dosavadní znalosti z projektu. Zároveň se žáci naučí konzultovat v týmu získané zkušenosti a poznatky.

Pro férový průběh soutěže se žáci musejí rozdělit do nových týmů sestavených ze zástupců předešlých skupin. Důvodem je, aby žáci vybírali otázky z různých kategorií a nesoustředili se jen na téma, které během 3 hodin studovali. Utvoření soutěžních týmů bude náhodné dle připravených karet (viz obrázek 14) vycházejících z předpokladu, že třída sestává z třiceti žáků. Jednotlivé karty budou rozděleny mezi členy skupiny. Studenti vytvoří týmy dle shodných obrázků. Zbylí dva členové, na něž karty nevyšly, se mohou rozhodnout, který tým posílí. Rozdělením by měly vzniknout čtyři skupiny po sedmi až osmi lidech.



Obrázek 15 - Karty pro vytvoření týmů

(Hlávková, 2022)

Soutěž RISKUJ bude zahrnovat 35 otázek, které se rozdělí do sedmi sekcí dle jednotlivých parazitů. Dílčí okruhy budou sestávat z pěti postupně ohodnocených otázek od 100 do 500 bodů.

Toxoplasma gondii

- *Toxoplasma gondii* je prvok. Do jakého kmene a třídy patří?
výtrusovci (Apicomlexa), kokcidie (Coccidea)
- Dopln: Pokud je žena ..., nemusí se obávat poškození plodu v průběhu gravidity.
infikovaná/nakažená
- Proč se *Toxoplasma* uvádí jako parazit bez hostitelské specifity?
jako své meziphostitele využívá téměř všechny teplokrevné obratlovce, nespécializuje se na jediný druh
- Za jakým účelem a jak *Toxoplasma* manipuluje s potkany?
za účelem predace a následného přenosu do definitivního hostitele (voní jim kočičí moč, jsou méně bojácní...)
- Jak se jmenuje český vědec, jenž se zabývá studiem *Toxoplasmy*?
Jaroslav Flegr

Candida albicans

- Jaký vztah zaujímá *Candida* se svým hostitelem za normálních podmínek?
komezální (jeden profituje, druhému škodí)

- *Candida* je oportunní kvasinka. Co to znamená?
vyčkává na oslabení jedince
- Dopln: *Candida* je součástí ..., kde se živí ...
střevní mikroflóry, jednoduchými cukry (maltóza, glukóza)
- Za jakých podmínek může dojít k přemnožení *Candidy*?
při užívání antibiotik, nahromadění toxinů, nevhodné stravě, oslabení imunity...
- Proč *Candida* mění chování hostitele?
jde jí o přežití, chce udržet nerovnováhu v organismu

Zombie houba:

- Dopln: Zombie houba je ...parazit
endo-parazit
- Zombie houba má hostitelskou specifitu, jejím definitivním hostitelem je
mravenec
- Kde nakažený mravenec zpravidla umírá?
je zakousnutý na spodní straně listu
- Proč *O. unilateralis* dostala označení zombie houba?
kvůli manipulaci s hostitelem, mravenci opouští kolonii a nejednají ve svém zájmu
- Co v místě zakousnutí mravence vyvolává výstřel spor parazita?
trvale vysoká vlhkost

Virus vztekliny:

- Dopln: Virus vztekliny patří do ... virů a nejčastěji infikuje ...
RNA, šelmy – psy, lišky...
- Vztekliny patří do zootonických onemocnění. Co to znamená?
jedná se o onemocnění přenosné ze zvířete na člověka
- Vyhráváte zlatou cihličku
- Jak se projevuje změna chování vyvolaná vzteklinou?
zvýšené slinění, agresivita, paralýza
- Jakou roli mají v životním cyklu sliny?
nejčastějším přenosem je kousnutí, jelikož sliny obsahují vysokou koncentraci viru

Kamikaze strunovec:

- Jakým živočichům jsou strunovci s nitkovitým tělem velmi blízcí?
hlísticím (*Nematoda*)
- Dopln: Strunovci parazitují na ...
suchozemských členocích, korýších
- Kde se dospělí strunovci rozmnožují?
ve vodě
- V životním cyklu se objevují transportní hostitelé. Jakou mají roli?
přenos parazita z jednoho na druhého
- Co dělají napadení cvrčci a není jim to vlastní?
skáčou do vody

Sacculina carcini:

- *Sacculina* má jednohostitelský cyklus. Jaké zvíře infikuje?
kraba
- Jak se nazývá volně žijící larva *Sacculiny*?
naupliová larva
- Co se skrývá pod pojmem sakulinizace?
redukce/morfologické zjednodušení parazita
- Co je zvláštní zejména u infikovaných **samců** krabů?
starají se o parazitovu snůšku jako o vlastní, dochází k feminizaci
- Proč není pro kraby výhodné nakažení *Sacculinou* z populačního hlediska?
parazit jedince vykastruje, nejsou schopni předat svoje geny dál

Motolice podivná:

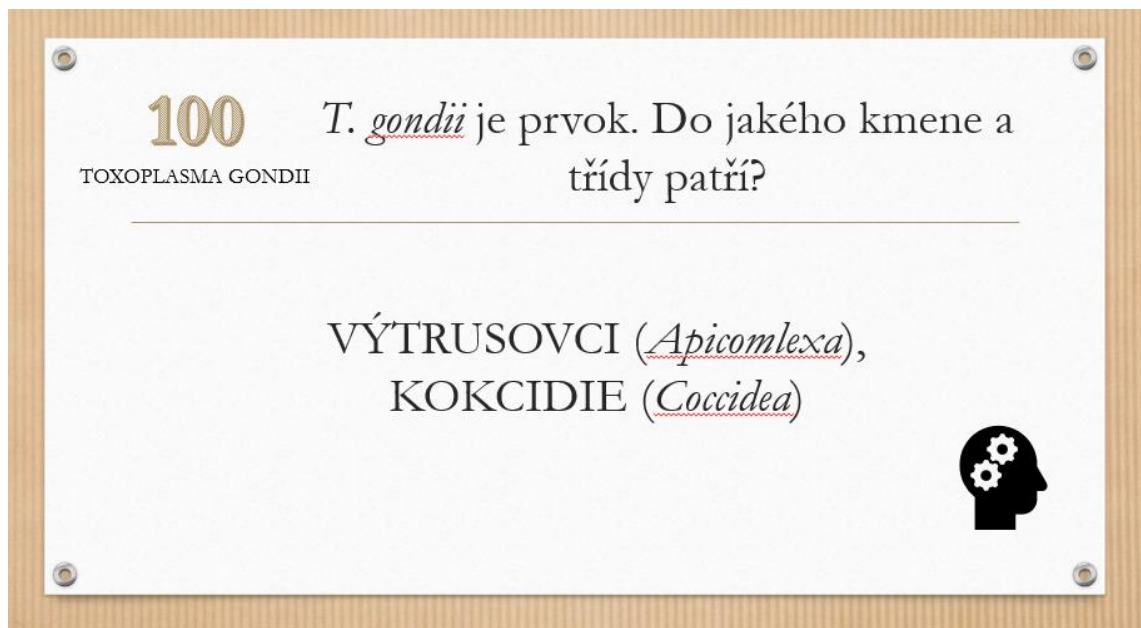
- Jak dochází k nákaze jedince?
orální přenos - predace
- Má motolice podivná dvouhostitelský životní cyklus? Pokud ano, uveď hostitele.
ano - jantarka obecná a pták
- Dopln vývojová stádia motolice: vajíčko - ... - sporocysta - ... - dospělec
miracidium, cercárie

- V jaké části těla definitivního hostitele se z motolice stává dospělý jedinec?

v trávicím traktu

- Jak změnil parazit chování infikovaných jedinců?
vyhledávají osvětlená místa, vyskytují se ve vyšší vegetaci, posunují se dál

Soutěžní týmy si postupně vyberou pole s otázkou např. *Toxoplasma gondii* za 100. Po kliknutí na pole se objeví otázka (viz obrázek 15), na níž tým po poradě odpoví. Pokud zazní správná odpověď, tým dostane odpovídající body. V případě špatné odpovědi se dané body odečtou a odpovídat může jiný tým. Nasbírané skóre vyučující zapíše na tabuli. Pouze jedno z polí obsahuje tzv. zlatou cihličku, kdy si tým může rovnou připsat body, aniž by odpovídal na otázku. Hra skončí zodpovězením veškerých otázek a vyhraje tým s nejvyšším nahraným počtem bodů.



Obrázek 16 - Otázka a odpověď

(Hlávková, 2022)

7.7 Hodnocení

Samotné hodnocení projektu bude sestávat ze tří částí. První slovní hodnocení bude součástí prezentace, kdy vyučující ohodnotí zejména obsahovou a formální část, přičemž shrne výsledky práce všech skupin. Následně vyzve samotné členy skupiny k hodnocení jejich společné práce i k individuálnímu sebehodnocení přínosu při práci. Ostatní skupiny mohou zhodnotit celkový dojem z prezentace skupiny.

Soutěž RISKUJ zastane druhou část hodnocení, jenž se zaměří na nově získané informace. Poslední fází bude celkové hodnocení projektového dne prostřednictvím online dotazníku (viz příloha 4), který zprostředkuje vyučujícímu zpětnou vazbu. Dotazník bude obsahovat šestnáct otázek, a kromě zhodnocení celkového projektového dne se zaměřuje i na jednotlivce a práci ve skupině.

Hodnocení bude zaměřeno zejména na rozvoj komunikační kompetence. Žák se zdokonalí ve vyjadřování v mluvených i psaných projevech, v citlivosti k možným pocitům spolužáků v komunikaci.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo shrnout dostupné informace o některých manipulujících parazitech, zejména se zaměřit na jejich životní cyklus v tělech hostitelů a způsob manipulace. A následně se pokusit o zapracování tématu do středoškolské biologie v rámci projektového dne.

Teoretická část sestávala z pěti kapitol, přičemž jedna se věnovala parazitismu jako životní formě a další konkrétním zástupcům ovlivňujícím chování hostitele. Nejprve jsme se věnovali parazitismu jakožto celku, který je negativním soužitím organismů. Úspěch parazita spočívá v dlouhé evoluci, při níž hraje roli efekt červené královny. Popsali jsme si i méně časté formy parazitismu (hyperparazitismus, hnízdni parazitismus) a dělení cizopasníků dle různých aspektů (hostitelský organismus, výskyt aj.). Následně byla jedna z podkapitol věnována samotné manipulaci hostitele, kdy parazit je schopen měnit chování či fenotyp svého hostitele za účelem snadnější infekce.

Každý z parazitů manipuluje se svým hostitelem dle potřeb a míra vlivu na chování hostitele je tak individuální s ohledem na napadeného jedince. Často uváděným parazitem, který dokáže změnit chování svého hostitele, je *T. gondii*. Tento prvok infikuje řadu teplokrevných zvířat i člověka a dokáže zhoršit reakční dobu živočichů i zvýšit chuť pro vyhledávání nových podnětů.

V jedné z kapitol bylo ukázáno, že někteří paraziti mají vliv nejen na chování ale i fenotyp svého hostitele. Ukázkovým příkladem nám byla motolice podivná infikující jantarky obecné, které následně obývají exponovanější místa, aby si ptáci všimli barevných vaků v jejich tykadlech a následně mohlo dojít k jejich predaci.

Definici parazitismu splňují mimo prvoků, helmintů a členovců také houby i viry, kteří svého hostitele využívají jako zdroj potravy či svůj příbytek. *O. unilateralis* parazituje na mravencích, kteří se pod vlivem oddělují od kolonií a hledají vhodné prostředí pro následné dokončení cyklu cizopasníka. V jistém aspektu může být tzv. zombie houba považována za parazitoida, jelikož zabíjí svého hostitele. Podobně jako virus vztekliny, který široký rezervoár šelem i člověka využije ke svému pomnožení a dalšímu přenosu. K infekci často využívá nadměrné slinění a zvýšenou agresivitu hostitele, přičemž se při pokousání virus dostává do nového hostitele.

Dalším popsaným manipulátorem byl strunovec. Tento parazit pro dokončení svého cyklu dokáže přimět suchozemské členovce, aby skočili do vody. Hostitelé následně mohou utonout nebo se stát součástí potravního řetězce, což už není v rukách parazita. Jsou známy i případy, kdy hostitel po opuštění parazita nezemřel.

Lidskou změnu chování může mít na svědomí i oportunní kvasinka *Candida albicans*, která je součástí střevní mikroflóry, avšak parazituje jen při vhodných podmínkách (např. při snížené imunitě).

Posledním rozebíraným parazitem byla *Sacculina carcini*, koryš, který napadá kraby. Ti se následně starají o cizí snůšku jako o vlastní i v případě, že se jedná o nakaženého samce. Celá teoretická část tak slouží jako zdroj nových informací pro učitele i žáky, kteří chtějí poznat parazity z jiného úhlu pohledu.

V rámci praktické části byl podrobně navržen projektový den zaměřený na výše zmíněné parazity ovlivňující chování hostitele. Během projektu by se měly rozvíjet zejména kompetence k učení, kdy žák vyhledává a třídí informace na základě jejich pochopení, propojení a systematizace. Cílem projektu by mělo být rozšíření dosavadních poznatků a vzbuzení zájmu o mezidruhové vztahy. Navržený projekt by mohl být při vyšší časové dotaci vylepšen testováním na přítomnost *T. gondii* v rámci výzkumu „Pokusní králíci“ pod záštitou českého vědce Prof. RNDr. Jaroslava Flegra, CSc.

Tato práce pro mě byla v mnoha ohledech přínosem. Ačkoliv jsem si vypracované materiály a navržený den neověřila v praxi, věřím, že k využití budu mít prostor v průběhu budoucí pedagogické praxe. Zmínění parazitů nejsou jedinými, jenž mají schopnost měnit chování svého hostitele. Do budoucna by bylo zajímavé se zabývat i dalšími parazity s touto dovedností. Je možné, že řadu z nich ještě jako manipulátory neznáme.

Seznam použité literatury

ANDERSEN S. B., GERRISTMA S., YUSAH K. M., MAYNTZ D., HYWEL-JONES N. L., BILLEN J., BOOMSMA J. J. et HUGHES D. P. The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype. *The American Naturalist* [online]. 2009, vol. 174, no. 3. [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/603640>

ATAEV G. L., BABICH P. S. et TOKMAKOVA A. S. The study of the sporocysts broodsacs coloring in *Leucochloridium paradoxum* (Trematoda: Brachylaemidae). *Parazitologija* [online]. 2013, vol. 47, no. 5, pp. 372-379. [cit. 2021-9-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269183003_The_study_of_the_sporocyst_broadsacs_coloring_in_Leucochloridium_paradoxum_Trematoda_Brachylaemidae/citations

ATAEV G. L. et TOKMAKOVA A. S. Seasonal changes in the biology of *Leucochloridium paradoxum* (Trematoda, Leucochloridiomorphae) *Parazitologija* [online]. 2015, vol. 49, pp. 200–207. [cit. 2021-9-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/280546931_SEASONAL_CHANGES_IN_THE_BIOLOGY_OF_LEUCOCHLORIDIUM_PARADOXUM_TREMATODA_LEUCOCHLORIDIOMORPHIDAE?channel=doi&linkId=55b8911108ae9289a08d690a&showFulltext=true

ATAEV G. L., ZHUKOVA A. A., PROKHOROVA E. E. et TOKMAKOVA A. S. Multiple infection of amber *Succinea putris* snails with sporocysts of *Leucochloridium* spp. (Trematoda). *Parasitology Research* [online]. 2016, vol. 155, no. 8, pp. 3203-3208. [cit. 2021-9-19]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00436-016-5082-6>

ANONYMUS. Vzteklna – problematika vzteklna a její výskyt v České republice. *Státní veterinární správa* [online]. 2018, [cit. 2022-2-4]. Dostupné z: <https://www.svscr.cz/zdravi-zvirat/vzteklna/>

BANSAL U., RATHORIA E. et SAXENA A. Rabies. *Child Today* [online]. 2021, vol. 2, pp. 16-34. [cit. 2022-2-3]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/357092157_Rabies

BERDOY M., WEBSTER J. P. et MACDONALD D. W. Fatal attraction in rats infected with *Toxoplasma gondii*. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* [online]. 2000, vol. 267, no. 1452, pp. 1591–1594. [cit. 2021-9-2]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1182>

BERMAN, J. *Candida albicans*. *Current biology* [online]. 2012, vol. 22, no. 16, pp. 620-622 [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.05.043>

BIRON G. D., PONTON F., JOLY C., MENIGOZ A., HANELT B. et THOMAS F. Water-seeking behavior in insects harboring hairworms: should the host collaborate? *Behavioral Ecology* [online]. 2005, vol. 16, no. 3, pp. 620-622 [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/beheco/ari039>

COUFALOVÁ, J. Projektové vyučování pro 1. stupeň základní školy. 1. vydání. Praha: Fortuna, 2006. ISBN 80-7168-958-0.

ČEPIČKA I., KOLÁŘ F. et SYNEK P. Mutualismus, vzájemně prospěšná symbióza: biologická olympiáda 2007-2008, 42. ročník: přípravný text pro kategorie A, B. 1. vyd. Praha: NIDM MŠMT ČR, 2007. ISBN 978-80-86784-50-2.

DAWKINS, R. *Sobecký gen*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 1998. ISBN 80-204-0730-8.

DE BEKKER C., MERROW M. et HUGHES D. From Behavior to Mechanisms: An Integrative Approach to the Manipulation by a Parasitic Fungus (*Ophiocordyceps unilateralis* s.l.) of Its Host Ants (*Camponotus* spp.). *Integrative and Comparative Biology* [online]. 2014, vol. 54, no. 2, pp. 166-176. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/26369712>

FLEGR, J. *Pozor, Toxo! : tajná učebnice praktické metodologie vědy*. 1. vyd. Praha: Academia, 2011. ISBN 978-80-200-2022-2.

EVANS H. C., ARAÚJO J. P. M., HALFELD V. R. et HUGHES D. P. 2018. Epitypification and re-description of the zombie-ant fungus, *Ophiocordyceps unilateralis* (*Ophiocordycipitaceae*). *Fungal Systematics & Evolution* [online]. 2018, vol. 1, no. 1, pp. 13-22. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: doi.org/10.3114/fuse.2018.01.02

EVANS H. C., ELLIOT S. L. et HUGHES D. P. Ophiocordyceps uni-lateralis: a keystone species for unraveling ecosystem functioning and biodiversity of fungi in tropical forests? *Communicative & Integrative Biology* [online]. 2011, vol. 4, no. 5, pp. 598-602. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4161/cib.16721>

GOPKO M. V. et MIKHEEV V. N. Parasitic manipulation of the host phenotype: effects internal and external environments. *Biology Bulletin Reviews* [online]. 2019, vol. 9, no. 1, pp. 1-28. Dostupné z: <https://doi.org/10.1134/S2079086419010018>

HANSEN Č., B. Nápadník pro rozvoj klíčových kompetencí ve výuce. Praha: www.scio.cz, 2006. ISBN 80-86910-53-9.

HLÁVKOVÁ, N. Životní cyklus motolice podivné [fotografie], 2021.

HUBÁLEK Z. et RUDOLF I. Mikrobiální zoonózy a sapronózy [online], 3. vyd., Masarykova Univerzita Brno, 2007. [cit. 2022-2-3] Dostupné z: researchgate.net/profile/Zdenek-Hubalek-2/publication/47058282_Mikrobialni_zoonozy_a_sapronozy/links/5abb549a0f7e9bad209bd4ca/Mikrobialni-zoonozy-a-sapronozy.pdf

HUSSEIN, H. K. Candida albicans and Abortion. *Intechopen* [online]. 2021 [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/76691>

JANŠTA, P. Hálky a evoluční „války“. *Přírodovědci.cz: magazín Přírodovědecké fakulty UK*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 3/2019, s. 18-19. ISSN 1805-5591.

JANUS, A. Nebud' potravou pro houbu Candida. 1. vyd. Vendryně: Beskydy, 2013. ISBN 979-80-87431-21-4.

JEŘÁBEK J. a kol. Rámcový vzdělávací program pro gymnázia. Výzkumný ústav pedagogický v Praze. Praha, 2007. ISBN 978-80-87000-11-3.

KHALAFALLA A. I., ALI Y. H. Rabies Virus Infection in Livestock. *IntechOpen* [online]. 2021. [cit. 2022-2-3]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/online-first/77118>

KINCL L., KINCL M. et JAKRLOVÁ J. Biologie rostlin pro 1. ročník gymnázií. 4. přepracované vyd. Praha: Fortuna, 2008. ISBN 80-7168-947-5.

KRISTENSEN T.; NIELSEN A., JORGENSEN A., MOURITSEN K., GLENNER H., CHRISTENSEN J.; LÜTZEN J. et HOEG J. The selective advantage of host feminization: A case study of the green crab *Carcinus maenas* and the parasitic barnacle *Sacculina carcini*. *Marine Biology* [online]. 2012, 159, 2015–2023 [cit. 2022-1-31]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00227-012-1988-4>

LOSOS, B. a kol. Ekologie živočichů. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1985. ISBN 14-174-85.

MIRZAEIPOUR M., MIKAEILI F., ASGARI Q., NOHTANI M. RASHIDI S. et BAHREINI M. S. Evaluation of the Tyrosine and Dopamine Serum Levels in Experimental Infected BALB/c Mice with Chronic Toxoplasmosis. *Journal of Parasitology Research* [online]. 2021, no. 5, pp. 1-9. [cit. 2021-9-2]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/jpr/2021/5511516/>

MOHD SALLEH S., NUR-ZATI AKMA M., ABRIZA M. Z. et PATAHAYAH M. The death grip of ants infected by the brain-manipulating fungus *Ophiocordyceps unilateralis*. *Conversation Malaysia* [online]. 2016, no. 24, pp. 3-4. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.mybis.gov.my/pb/1152>

PETR, J. Houby a mravenčí zombie. *Český rozhlas* [online]. 2013 [cit. 2021-9-9]. Dostupné na: http://www.rozhlas.cz/leonardo/priroda/_zprava/1159031

POINAR, G. Nematomorpha. Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region [online]. 2012, pp. 157-161. [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/233727101_15_Nematomorpha

PRŮCHA, Jan, Jiří MAREŠ a Eliška WALTEROVÁ. Pedagogický slovník. 4. aktualiz. vyd. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-772-8.

ROHDE, K. Marine Parasitology. Melbourne, Australia: CSIRO Publishing, 2005. ISBN 0643090258.

SAJDL, J. Reakční doba řidiče. *Autolexicon.net* [online]. 2022 [cit. 2022-4-9]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/reakcni-doba-ridice/>

STORCH D. et MIHULKA S. Úvod do současné ekologie. 1. vyd. Praha: Portál, 2000. ISBN 80-7178-462-1.

SMRŽ J., HORÁČEK I. et ŠVÁTORA M. Biologie živočichů pro gymnázia. 1. vyd. Praha: Fortuna, 2004. ISBN 80-7168-909-2.

TONG W. H., PAVEY CH., O'HANDLEY R. et VYAS A. Behavioral biology of *Toxoplasma gondii* infection. *Parasites & Vectors* [online]. 2021, vol. 14, no. 1, pp. 1-6 [cit. 2021-9-2]. Dostupné z: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-020-04528-x>

URFUS, T. Příživníci mezi rostlinami. *Přírodovědci.cz: magazín Přírodovědecké fakulty UK*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 3/2019, s. 14-15. ISSN 1805-5591.

VOLF P. a kol. Paraziti a jejich biologie. 1. vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-80-7387-008-9.

VOTÝPKA, J. Bezbřehá rozmanitost parazitů. *Přírodovědci.cz: magazín Přírodovědecké fakulty UK*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 3/2019a, s. 4-5. ISSN 1805-5591.

VOTÝPKA, J. Paraziti, kam se podíváš! *Přírodovědci.cz: magazín Přírodovědecké fakulty UK*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 3/2019b, s. 8-11. ISSN 1805-5591.

VOTÝPKA J., KOLÁŘOVÁ I. et HORÁK P. a kol. O parazitech a lidech. 1. vyd. Praha: Triton, 2018. ISBN 978-80-7553-350-0.

WEI-JIUN L., SHAO-LUN L., CHUNG-CHI L., TAN-YA C. et JUI-YU C. Evaluating the tradeoffs of a generalist parasitoid fungus, *Ophiocordyceps unilateralis*, on different sympatric ant hosts. *Scientific Reports* [online]. 2020, vol. 20, no. 1, pp. 1-12. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-63400-1>

WEISSOVÁ, M. Jak přírodně na candidu: průvodce celostním přístupem ke zdraví. Praha: Alferia, 2021. ISBN 978-80-271-2100-7.

WESELOWSKA W. et WESELOWSKI T. Do *Leucochloridium* sporocysts manipulate the behavior of their snail hosts? *Journal of Zoology* [online]. 2013, vol. 292, no. 3, pp. 151-155. [cit. 2021-9-11]. Dostupné z: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jzo.12094>

WESENBERG-LUND C. Contributions to the development of the Trematoda Digenea: Part I., The biology of *Leucochloridium paradoxum*. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter, Naturvidenskabelig og Matematisk Afdeling* [online]. 1931. Dostupné z: <http://publ.royalacademy.dk/books/378/2600?lang=en>

ZIMMER, Carl. Vládce parazit: pohled do světa nejnebezpečnějších tvorů planety. 1. vyd. Praha: Paseka, 2005. ISBN 80-7185-685-1.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Tachyzoiti *Toxoplasmy gondii*:

VOTÝPKA J., KOLÁŘOVÁ I. et HORÁK P. a kol. O parazitech a lidech. 1. vyd. Praha: Triton, 2018. ISBN 978-80-7553-350-0.

Obrázek 2 - Životní cyklus *Toxoplasmy gondii*:

MILNE, G. Parasites and behavior: the influence of *Toxoplasma gondii* on human populations. *Science Innovation Union* [online], 2020. Dostupné z: <http://scienceunion.org/articlelist/2020/6/7/parasites-and-behaviour-the-influence-of-toxoplasma-gondii-on-human-populations>

Obrázek 3 - Infikování mravenci:

EVANS H. C., ARAÚJO J. P. M., HALFELD V. R. et HUGHES D. P. 2018. Epitypification and re-description of the zombie-ant fungus, *Ophiocordyceps unilateralis* (Ophiocordycipitaceae). *Fungal Systematics & Evolution* [online]. 2018, vol. 1, no. 1, pp. 13-22. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: doi.org/10.3114/fuse.2018.01.02

Obrázek 4 - Životní cyklus *O. unilateralis* po smrti *C. leonardi*:

vlastní úprava dle ANDERSEN S. B., GERRISTMA S., YUSAH K. M., MAYNTZ D., HYWEL-JONES N. L., BILLEN J., BOOMSMA J. J. et HUGHES D. P. The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype. *The American Naturalist* [online]. 2009, vol. 174, no. 3. [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/603640>

Obrázek 5 - Motolice rodu *Leucochloridium*:

ATAEV G. L., ZHUKOVA A. A., PROKHOROVA E. E. et TOKMAKOVA A. S. Multiple infection of amber *Succinea putris* snails with sporocysts of *Leucochloridium* spp. (Trematoda). *Parasitology Research* [online]. 2016, vol. 155, no. 8, pp. 3203-3208. [cit. 2021-9-19]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00436-016-5082-6>

Obrázek 6 - Životní cyklus motolice podivné:

HLÁVKOVÁ, N. *Životní cyklus motolice podivné* [fotografie]. Teplá, 2021.

Obrázek 7 - Životní cyklus strunovce:

VOLF P. a kol. Paraziti a jejich biologie. 1. vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-80-7387-008-9.

Obrázek 8 - Životní cyklus *Sacculiny carcini*:

vlastní úprava dle ROHDE, K. Marine Parasitology. Melbourne, Australia: CSIRO Publishing, 2005. ISBN 0643090258

Obrázek 9 - Plakát:

HLÁVKOVÁ, N. Plakát [fotografie]. Teplá, 2022. Obrázky převzaty z:

VOTÝPKA J., KOLÁŘOVÁ I. et HORÁK P. a kol. O parazitech alidech. 1. vyd. Praha: Triton, 2018. ISBN 978-80-7553-350-0.

ANDERSEN S. B., GERRISTMA S., YUSAH K. M., MAYNTZ D., HYWEL-JONES N. L., BILLEN J., BOOMSMA J. J. et HUGHES D.P. The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype. *The American Naturalist* [online]. 2009, vol. 174, no. 3. [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/603640>

ZIMMER, Carl. Vládce parazit: pohled do světanejnebezpečnějších tvorů planety. 1. vyd. Praha: Paseka, 2005. ISBN 80-7185-685-1.

ATAEV G. L., ZHUKOVA A. A., PROKHOROVA E. E. et TOKMAKOVAA. S. Multiple infection of amber *Succinea putris* snail with sporocysts of *Leucochloridium* spp. (Trematoda). *Parasitology Research* [online]. 2016, vol. 155, no. 8, pp. 3203-3208. [cit. 2021-9-19]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00436-016-5082-6>

Y TAMBLE. *Candida albicans*. Wikimedia Commons [online]. 2005. Dostupné

z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Candida_albicans.jpg

KOEHNE, A. Rabid virus schema. Wikimedia Commons [online]. 2010. Dostupné

z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rabid_virus_schema.png

Obrázek 10 - Otázky a odpovědi:

HLÁVKOVÁ, N. *Otázky a odpovědi* [fotografie]. Teplá, 2022.

Obrázek 11 - Kartičky s životními cykly (Zombie houba):

HLÁVKOVÁ, N. *Kartičky s životními cykly (Zombie houba)* [fotografie]. Teplá, 2022.

Obrázek 12 - Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?:

HLÁVKOVÁ, N. *Parfumerie aneb co ti nejvíce voní?* [fotografie]. Teplá, 2022.

Obrázek 13 - Jak zdatný je tvůj postřeh?:

HLÁVKOVÁ, N. *Jak je zdatný tvůj postřeh?* [fotografie]. Teplá, 2022.

Obrázek 14 - Jen si plivni!:

HLÁVKOVÁ, N. *Jen si plivni!* [fotografie]. Teplá, 2022.

Obrázek 15 - Karty pro utvoření týmů:

HLÁVKOVÁ, N. *Karty pro utvoření týmů* [fotografie]. Teplá, 2022.

Obrázek 16 - Otázka a odpověď:

HLÁVKOVÁ, N. *Otázka a odpověď* [fotografie]. Teplá, 2022.

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 - Mezidruhové vztahy:

vlastní úprava dle VOLF P. a kol. Paraziti a jejich biologie. 1. vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-80-7387-008-9.

Tabulka 2 - Návrh projektového dne:

HLÁVKOVÁ, N. *Návrh projektového dne* [tabulka]. Teplá, 2022.

Tabulka 3 - Časový harmonogram:

HLÁVKOVÁ, N. *Časový harmonogram* [tabulka]. Teplá, 2022.

Tabulka 4 - Harmonogram motivace:

HLÁVKOVÁ, N. *Harmonogram motivace* [tabulka]. Teplá, 2022.

Tabulka 5 - Knihovna:

HLÁVKOVÁ, N. *Knihovna* [tabulka]. Teplá, 2022.

Seznam příloh

Příloha 1 – Odborné texty v anglickém jazyce

Příloha 2 – Kartičky s klíčovými pojmy

Příloha 3 – Kartičky s životními cykly

Příloha 4 – Online dotazník

Příloha 1 - Odborné texty v anglickém jazyce

MOTOLICE PODIVNÁ (*Leucochloridium paradoxum*)

Do *Leucochloridium* sporocysts manipulate the behaviour of their snail hosts?

The conspicuous broodsacs of *Leucochloridium* spp. Sporocysts, invading tentacles of their intermediate terrestrial snail hosts, are presented as a classic textbook example of the manipulation of host behaviour by a parasite. However, the conspicuous features indicated as facilitating the transmission of the parasite to its final avian hosts are characteristics of the appearance and behaviour of the parasite and not of its intermediate hosts. The demonstration that the 1st instar also manipulate the behaviour of the snails is still largely missing. In order to find out whether *Leucochloridium paradoxum* could manipulate the behaviour of its *Succinea putris* hosts, we compared the behaviour of *Leucochloridium*-infected snails with that of control animals (showing no signs of infection) living side by side, in the same habitat patches, in the field (Białowieża National Park, Poland). We had assumed that the 'moving caterpillar' display of the broodsacs was addressed to day-active, visually hunting, insectivorous birds and that the 'signalling' parasites should change the behaviour of their hosts to make the broodsacs more visible and/or more accessible to the group of predators mentioned. The infected snails with pulsating broodsacs behaved differently from their apparently non-infected counterparts. They moved farther, positioned themselves in more exposed and better illuminated places, situated higher in the vegetation. These alterations of behaviour would be beneficial for the parasites, would increase their visibility (detectability) and accessibility to the potential definite hosts. Thus, we demonstrated that, apart from their own phenotypic modifications, *L. paradoxum* 1st instar also changed the behaviour of their intermediate *S. putris* hosts. Such combination of modified host behaviour and strikingly visible parasite behaviour is rather unique, 1st instar likely increasing the likelihood of parasite transmission to avian hosts.

WESELOWSKA W. et WESELOWSKI T. Do *Leucochloridium* sporocysts manipulate the behavior of their snail hosts? *Journal of Zoology* [online]. 2013, vol. 292, no. 3, pp. 151–155. [cit. 2021-9-11]. Dostupné z: <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jzo.12094>

Fatal attraction in rats infected with *Toxoplasma gondii*

We tested the hypothesis that the parasite *Toxoplasma gondii* manipulates the behaviour of its intermediate host in order to increase its chance of being predated by cats, its feline definitive host, thereby ensuring the completion of its life cycle. Here we report that, although rats have evolved anti-predator avoidance of areas with signs of cat presence, *T. gondii*'s manipulation appears to alter the rat's perception of cat predation risk, in some cases turning their innate aversion into an imprudent attraction. The selectivity of such behavioural changes suggests that this ubiquitous parasite subtly alters the brain of its intermediate host to enhance predation rate whilst leaving other behavioural categories and general health intact. This is in contrast to the gross impediments frequently characteristic of many other host-parasite systems.

Accordingly, recent studies on both wild and wild-laboratory hybrid rats have demonstrated that *T. gondii* causes an increase in activity (Webster 1994b) and a decrease in neophobic (fear of novelty) behaviour (Webster et al. 1994; Berdoy et al. 1995b), both of which can be argued to facilitate transmission to the feline definitive host. In contrast, other costly behavioural patterns such as competition for mates and social status (Berdoy et al. 1995a), which do not have any obvious impact upon cat predation rate, are left unaltered by the parasite (Berdoy et al. 1995b).

For any small mammal under heavy predation pressure, the capacity to detect and avoid areas associated with high predation risk is likely to be of strong selective advantage. Rats have evolved an innate and pronounced defensive reaction to predator odours, including cat (Vernet-Maury et al. 1984; Blanchard et al. 1990; Berdoy & Macdonald 1991; Klein et al. 1994). Even naive laboratory rats that have not been in contact with cats for several hundred generations still show strong aversive reactions when confronted with cat odours. Such innate anti-predator behaviour and the inherent anxiety that signs of cat presence seem to engender (Blanchard et al. 1990) is, from the parasite's point of view, an obvious obstacle militating against its successful transmission to its cat definitive host. Here we investigate whether the parasite is able to interfere with the rat's innate reaction to potential predation risk by cats.

Moreover, we found here that the alterations induced by *T. gondii* infection were confined to the predator's odour, as both types of rats behaved similarly with respect to areas containing their own smell (which was preferred by both), neutral smell and rabbit odour (figure 1). This suggests that the potentially fatal attraction exhibited by infected rats was not caused by a gross impairment of olfactory faculties. Instead, manipulation by *T. gondii* appears to alter subtly the cognitive perception of the host in the face of predation risk. *T. gondii*-infected rats are indeed more likely to be caught by traps in the wild (Webster et al. 1994).

BERDOY M., WEBSTER J. P. et MACDONALD D. W. Fatal attraction in rats infected with *Toxoplasma gondii*. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* [online]. 2000, vol. 267, no. 1452, pp. 1591–1594. [cit. 2021-9-2]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1182>

The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype

Specialized parasites are expected to express complex adaptations to their hosts. Manipulation of host behavior is such an adaptation. We studied the fungus *Ophiocordyceps unilateralis*, a locally specialized parasite of arboreal *Camponotus leonardi* ants. Antinfecting *Ophiocordyceps* are known to make hosts bite onto vegetation before killing them. We show that this represents a fine-tuned fungal adaptation: an extended phenotype. Dead ants were found under leaves, attached by their mandibles, on the northern side of saplings ~25 cm above the soil, where temperature and humidity conditions were optimal for fungal growth. Experimental relocation confirmed that parasite fitness was lower outside this manipulative zone. Host resources were rapidly colonized and further secured by extensive internal structuring. Nutritional composition analysis indicated that such structuring allows the parasite to produce a large fruiting body for spore production. Our findings suggest that the osmotrophic lifestyle of fungi may have facilitated novel exploitation strategies.

ANDERSEN S. B., GERRISTMA S., YUSAH K. M., MAYNTZ D., HYWEL-JONES N. L., BILLEN J., BOOMSMA J. J. et HUGHES D. P. The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype. *The American Naturalist* [online]. 2009, vol. 174, no. 3. [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/603640>

The Death Grip of Ants Infected by The Brain-Manipulating Fungus *Ophiocordyceps unilateralis*

The discovery of *Ophiocordyceps unilateralis* (Tul. & C.Tul.) Petch at Ulu Muda Forest Reserve, Kedah, in April 2016 came as an unexpected surprise while we were conducting a mushroom and insect survey. We found an ant, almost rotted but with an unusual long stalked outgrowth, clamped to the underside of a *Microporus xanthopus* mushroom. Upon closer inspection, we found that this ant had been infected by the brain-manipulating fungus, *Ophiocordyceps unilateralis*. *Ophiocordyceps unilateralis* is an entomopathogenic fungus from the family Ophiocordycipitaceae, order Hypocreales, class Sordariomycetes, and is commonly known as the zombie fungus or brain-manipulating fungus. This fungus has been given such a name because of its ability to take over and completely control the behaviour of its host ant, causing it to grip the vegetation with its mandibles and hang upside down before it dies. In tropical forests, the occurrence of *O.unilateralis sensu lato* on ants from tribe Comptonini is common (Evans & Samson, 1984; Evans et al., 2011).

MOHD SALLEH S., NUR-ZATI AKMA M., ABRIZA M. Z. et PATAHAYAH M. The death grip of ants infected by the brain-manipulating fungus *Ophiocordyceps unilateralis*. *Conversation Malaysia* [online]. 2016, no. 24, pp. 3-4. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.mybis.gov.my/pb/1152>

Candida albicans

What kinds of conditions cause *C. albicans* to become a pathogen?

C. albicans is an opportunistic pathogen that resides as a harmless commensal in the gut, genitourinary tract and skin. It becomes an opportunistic pathogen under a number of different host conditions, usually involving reduced immune competence or an imbalance of the competing bacterial microflora. Mucosal infections, such as oral thrush or vaginitis, are usually not life-threatening, but they can be the sentinel symptom of immune suppression, for example in patients infected with HIV. Much more serious are blood stream candidal infections, which are associated with high mortality rates. The limited arsenal of antifungal drugs and the ability of drug resistance to arise through multiple mechanisms, including the natural drug resistance of biofilms, contribute to the recalcitrance of candidal infections and their position as the third or fourth most common cause of nosocomial (hospitalacquired) infections.

BERMAN, J. *Candida albicans*. *Current biology* [online]. 2012, vol. 22, no. 16, pp. 620-622 [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.05.043>

Candida albicans and Abortion

Candida albicans

A dimorphic fungus that can grow as yeast or filamentous cells and considered one of the limited species of the *Candida* genus that cause humans candidiasis [19]. 50–90% of all cases of humans' candidiasis are result from *C. albicans* [20]. Systemic fungal infections (fungemia) caused by *C. albicans* appeared as significant foundations of morbidity and mortality in immunocompromised patients (e.g., AIDS, cancer chemotherapy and, bone marrow transplantation). Today, hospitalacquired candidiasis became a source of major health anxieties. *Candida albicans* is a common human flora that noticed in the gastrointestinal tract of 40% of healthy adults [21]. It is commonly a commensal creature, nonetheless, it can turn out to be pathogenic in immunocompetent individuals under various conditions. Candidiasis also can happen due to excessive growth of the fungus, which recurrently detected in immunocompromised cases including HIV-infected patients. It usually befalls the mucous membranes of the mouth or vagina in addition to a number of other parts of the body [22].

HUSSEIN, H. K. *Candida albicans* and Abortion. *Intechopen* [online]. 2021 [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/76691>

Rabies

Rabies is a fatal tropical disease, claiming the lives of thousands of people annually in the endemic areas (mainly in Africa and Asia). It is a zoonotic viral disease where the viruses of the *Lyssavirus* genus are transmitted to the host via the saliva of an infected animal. Dogs are the most important reservoir for rabies viruses, and dog bites account for >99% of human cases. The infection involves the peripheral motor neurons initially, and florid symptoms are seen once the virus reaches the central nervous system. Development of the clinical disease invariably follows a fatal course. In case of an animal exposure, clinical diseases can be effectively prevented by a timely post-exposure prophylaxis, depending on the exposure category, which includes local wound decontamination, rabies vaccination, and immunoglobulin administration. The primary prevention is aimed at the vaccination of stray dogs. A holistic approach is required to eradicate human rabies, involving both the government and the public by spreading disease awareness, early post-exposure prophylaxis, adoption and immunization of stray dogs, and pre-exposure vaccination of at-risk people. Prevention is the key to achieve the WHO goal of reducing the number of cases of dog-mediated human rabies to zero by 2030.

Rabies virus (RABV), is a bullet-shaped, negative-sense, unsegmented, single-stranded, enveloped RNA virus from the *Mononegavirales* order, the *Rhabdoviridae* family. (Figure 2) It is the prototype virus of the *Lyssavirus* genus and the most common causative agent of rabies and is transmitted by the bite of an infected mammal [6].

In general, an animal is a reservoir of a specific variant, but the cross-species transmission does occur. Bats are the chiropteran hosts who maintain most *Lyssavirus* species across the world apart from the wild carnivores [9,10]. RABV is maintained by dogs, foxes, wolves, jackals, bats, raccoons, skunks or mongoose, bats, and kudu (an herbivore). When a cross-species transmission (spill-over) occurs to other mammals, including humans, through neuroinvasion it results in rabies. Theoretically RABV can infect any mammal, but usually the spill-over infections are a 'dead-end' infection with no further transmission.

BANSAL U., RATHORIA E. et SAXENA A. Rabies. Child Today [online]. 2021, vol. 2, pp. 16-34. [cit. 2022-2-3]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/357092157_Rabies

Water-seeking behavior in insects harboring hairworms: should the host collaborate?

The study of the strategies used by parasites for their transmission is a central topic in parasitology. One strategy of transmission that is especially intriguing is that of host manipulation, which occurs when a parasite enhances its own transmission by altering host behavior (for reviews see Combes, 1991; Moore, 2002). Despite the increasing evidence of such parasite adaptations, the underlying reasons for why infected hosts “capitulate” and act in ways that benefit the parasite remain unexplored in most cases (Poulin, 1998; Thomas et al., 2005).

Hairworms (Nematomorpha: Gordiida) typically develop in arthropods (mainly terrestrial species) until they are ready to exit the host (Schmidt-Rhaesa, 1997, 2001). In accordance with several anecdotal reports, it has recently been shown that insects harboring mature hairworms display a behavior originally not present in the host’s repertoire: seeking and jumping into water (Thomas et al., 2002). The adult worm then actively emerges from the host and starts searching for a sexual partner (Thomas et al., 2002). Because it is usually assumed that seeking and jumping into the water kills the insect host (through drowning or because of the parasite release itself) (Schmidt-Rhaesa, 1997, 2001), the water-seeking behavior of infected hosts has often been considered as an example of “true” host manipulation (i.e., an adaptive parasite-induced behavioral change) aimed at reaching a suitable place for reproduction (Combes, 1995; Moore, 2002; Poulin, 1995, 1998; Thomas et al., 2002, 2003).

In the present work, we first showed that hairworm emergence is not lethal per se for the host, instead crickets of both sexes can live several months after having released the parasite. Despite this finding there is, however, an important mortality during the first week after parasite emergence (47% for females and 71% for males). Causes of this phenomenon are potentially numerous ranging from irretrievable physical damage as a result of the emergence, dehydration and/or subsequent hyperinfection caused by the emergence hole. Presently, the reason why this mortality is significantly higher in males than in females remains obscure but could be due to the smaller size of males compared to females, making the relative consequence of hairworm development and emergence more detrimental for males than for females. Finally, the collaborative behavior is likely to come with several other costs not quantified in the present work. For instance, crickets jumping into a natural aquatic environment (e.g., a river) probably experience a substantial risk of dying through drowning or predation (fishes or frogs). More data are needed concerning the true proportion of individuals that, in natural conditions, are able to leave water after the emergence of the parasite.

BIRON G. D., PONTON F., JOLY C., MENIGOZ A., HANELT B. et THOMAS F. Water-seeking behavior in insects harboring hairworms: should the host collaborate? *Behavioral Ecology* [online]. 2005, vol. 16, no. 3, pp. 620-622 [cit. 2022-1-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/beheco/ari039>

The selective advantage of host feminization: a case study of the green crab *Carcinus maenas* and the parasitic barnacle *Sacculina carcini*

Male crabs infected by parasitic barnacles (*Rhizocephala*) are known to be morphologically feminized. Here, we investigate morphological changes in green crabs, *Carcinus maenas*, induced by the parasitic barnacle *Sacculina carcini*. Infected males acquire a broader, longer and segmented abdomen, fringed with marginal setae. Copulatory appendages and pereopods are reduced in length, and the chelae become smaller. The feminization shows great individual variation. Males with scars from lost externae, the parasites' reproductive organ situated under the abdomen, are less modified than males carrying an externa, and the feminization is more pronounced in smaller than in larger males. No super feminization is evident in female crabs that remain morphologically unaffected by infection. The protective value of a parasitically induced enlargement of the male abdomen may constitute an adaptation that increases parasite longevity. The additional effects on male morphology are viewed as pleiotropic side effects of the main adaptive value of enlarging the abdomen.

KRISTENSEN T.; NIELSEN A., JORGENSEN A., MOURITSEN K., GLENNER H., CHRISTENSEN J.; LÜTZEN J. et HOEG J. The selective advantage of host feminization: A case study of the green crab *Carcinus maenas* and the parasitic barnacle *Sacculina carcini*. *Marine Biology* [online]. 2012, 159, 2015–2023 [cit. 2022-1-31]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00227-012-1988-4>

Marine Parasitology

It is commonly believed that parasites have lost much of the complexity of free-living animals because they depend on the host for food and shelter and so supposedly do not need the same range of sensory receptors, a complex nervous system, sophisticated feeding organs and so on. This is indeed sometimes the case and an example of this is the rhizocephalan *Sacculina*, which parasitises marine crabs. The juvenile, free-living larva has all the characteristics of larval barnacles (to which the rhizocephalans are related) but the adult consists of a sac-like structure (the so-called externa) attached to the ventral surface of the crab's abdomen, and an extensive system of cytoplasmic processes that reach into the various host tissues, without any morphological crustacean characteristics. Simplification of parasites is sometimes called 'sacculinisation', based on this example.

ROHDE, K. *Marine Parasitology*. Melbourne, Australia: CSIRO Publishing, 2005. ISBN 0643090258.

Příloha 2 – Kartičky s klíčovými pojmy

PRVOK	VZTEKLINA
HOSTITELSKÁ SPECIFITA	ZOOTONICKÉ ONEMOCNĚNÍ
BEZ HOSTITELSKÉ SPECIFITY	PSOVITÉ ŠELMY
OOCYSTY	OČKOVÁNÍ
KOČKOVITÉ ŠELMY	SLINY
ENDOPARAZIT	SAKULINIZACE
EKTOPARAZIT	KASTRACE
TOXOPLASMÓZA	FEMINIZACE
ČLOVĚK	KRAB
HYFY	SUCHOZEMSKÝ ČLENOVEC
MEZIHOSTITEL	KORÝŠ
VÍCEHOSTITELSKÝ (HETEROXENNÍ) CYKLUS	NAUPLIOVÁ LARVA
JEDNOHOSTITELSKÝ (MONOXENNÍ) CYKLUS	VIRUS
PARAZIT – HOSTITEL	PLOŠTĚNCI
TRANSPORTNÍ HOSTITEL	SPOROCYSTA
ZOOPARAZIT	MIRACIDIUM
FYTOPARAZIT	CERKÁRIE
VŘECKOVÝTRUSÁ HOUBA	PLŽ
MRAVENEK	PTÁK
SPORY	STŘEVNÍ MIRKOFLÓRA
KANDIDÓZA	KOMENZÁLNÍ VZTAH

Řešení *Toxoplasma gondii*:

PRVOK, BEZ HOSTITELSKÉ SPECIFITY, OOCYSTY, KOČKOVITÉ ŠELMY, ENDOPARAZIT, TOXOPLASMÓZA, ČLOVĚK, TRANSPORTNÍ HOSTITEL, MEZIHOSTITEL, VÍCEHOSTITELSKÝ (HETEROXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL, ZOOPARAZIT, ZOOTONICKÉ ONEMOCNĚNÍ, PSOVITÉ ŠELMY

Řešení *Candida albicans*:

HOSTITELSKÁ SPECIFITA, ENDOPARAZIT, ČLOVĚK, JEDNOHOSTITELSKÝ (MONOXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL, KOMENZÁLNÍ VZTAH, ZOOPARAZIT, VŘECKOVÝTRUSÁ HOUBA, SPORY, KANDIDÓZA, STŘEVNÍ MIKROFLÓRA

Řešení *Zombie houba*:

HOSTITELSKÁ SPECIFITA, ENDOPARAZIT, HYFY, JEDNOHOSTITELSKÝ (MONOXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL, ZOOPARAZIT, VŘECKOVÝTRUSÁ HOUBA, SPORY, MRAVENEC, SUCHOZEMSKÝ ČLENOVEC

Řešení *Sacculina carcini*:

HOSTITELSKÁ SPECIFITA, ENDOPARAZIT, JEDNOHOSTITELSKÝ (MONOXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL, ZOOPARAZIT, SAKULINIZACE, KASTRACE, FEMINIZACE, KRAB, NAUPLIOVÁ LARVA, KORÝŠ

Řešení *Virus vztekliny*:

BEZ HOSTITELSKÉ SPECIFITY, KOČKOVITÉ ŠELMY, PSOVITÉ ŠELMY, ENDOPARAZIT, ČLOVĚK, JEDNOHOSTITELSKÝ (MONOXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL, ZOOPARAZIT, VZTEKLINA, ZOOTONICKÉ ONEMOCNĚNÍ, OČKOVÁNÍ, SLINY, VIRUS

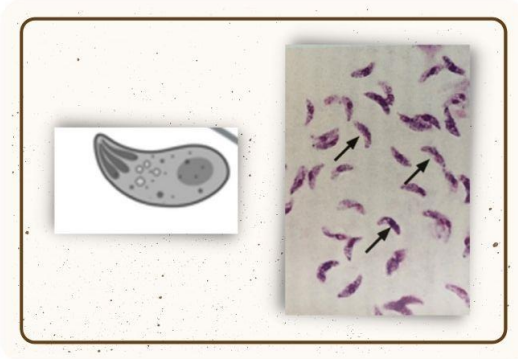
Řešení *Kamikaze strunovec*:

BEZ HOSTITELSKÉ SPECIFITY, ENDOPARAZIT, MEZIHOSTITEL, VÍCEHOSTITELSKÝ (HETEROXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL, TRANSPORTNÍ HOSTITEL, ZOOPARAZIT, KORÝŠ, SUCHOZEMSKÝ ČLENOVEC

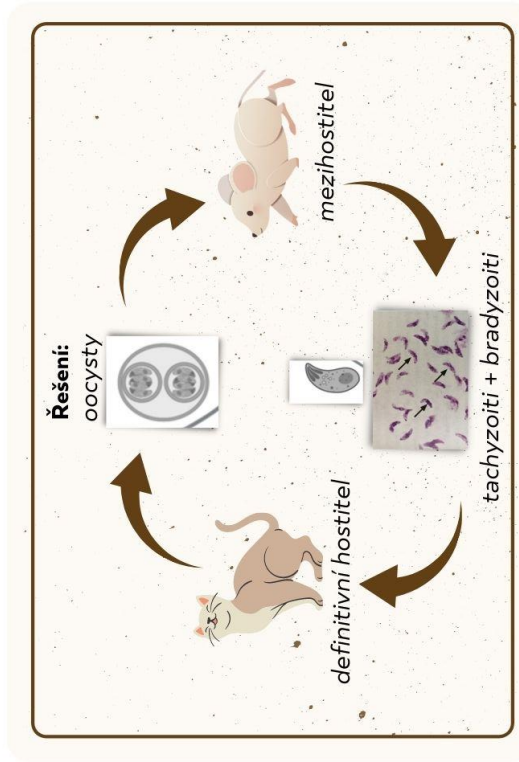
Řešení *Motolice podivná*:

HOSTITELSKÁ SPECIFITA, ENDOPARAZIT, MEZIHOSTITEL,
VÍCEHOSTITELSKÝ (HETEROXENNÍ) CYKLUS, PARAZIT – HOSTITEL,
TRANSPORTNÍ HOSTITEL, ZOOPARAZIT, PLOŠTĚNCI, SPOROCYSTA,
MIRACIDIUM, CERKÁRIE, PLŽ, PTÁK

Příloha 3 – Kartičky s životními cykly



**ŽIVOTNÍ CYKLUS
Toxoplasma
gondii**

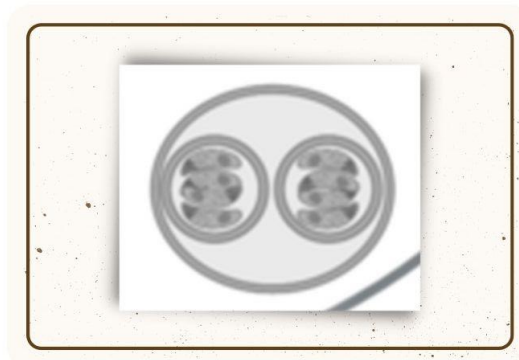


OOCYSTY

MEZIHOSTITEL

**DEFINITIVNÍ
HOSTITEL**

**TACHYZOITI
BRADYZOITI**



ŽIVOTNÍ CYKLUS
Zombie
houba

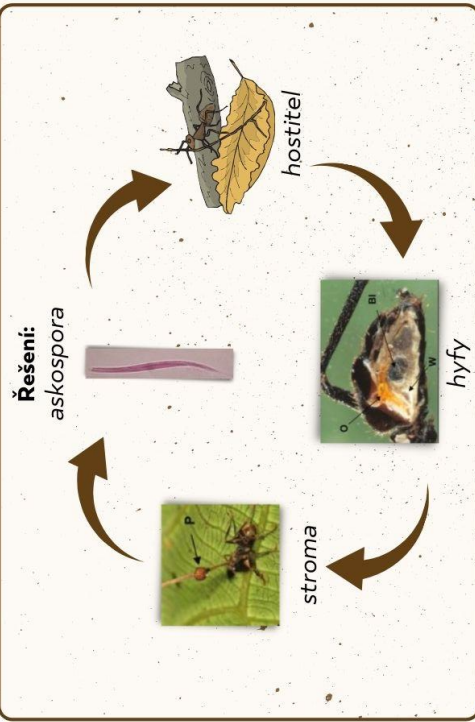


HYFY

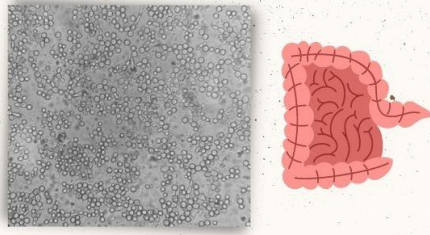
HOSTITEL

ASKOSPORA

STROMA



ŽIVOTNÍ CYKLUS
Candida albicans

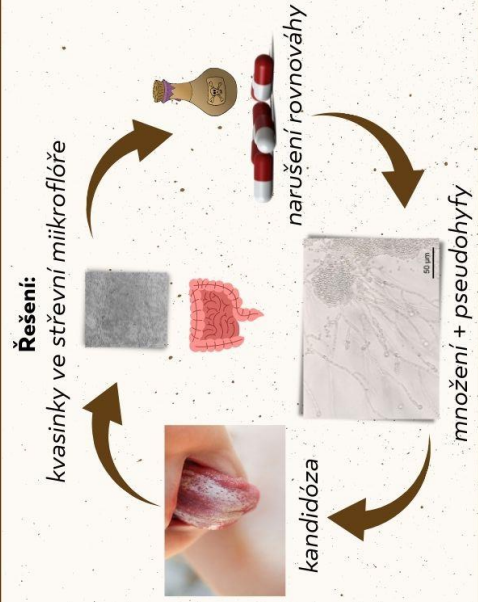


**KVASINKY VE STŘEVNÍ
MIRKOFLOŘE**

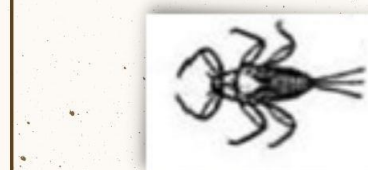
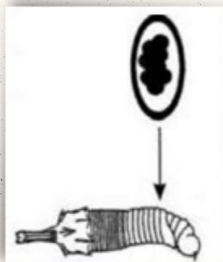
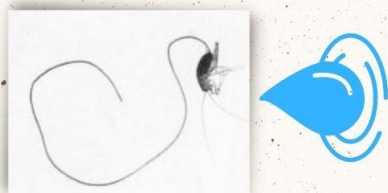
KANDIDÓZA

**MNOŽENÍ
PSEUDOHYFY**

**NARUŠENÍ
ROVNOVÁHY**



ŽIVOTNÍ CYKLUS
Kamikaze
strunatec

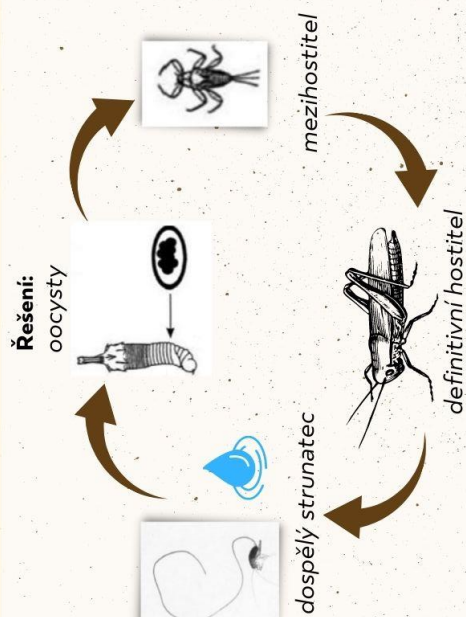


**DOSPĚLÝ
STRUNATEC**

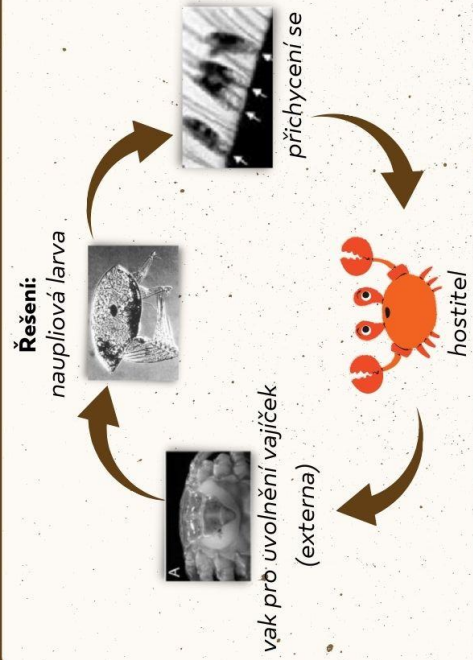
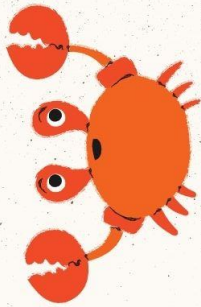
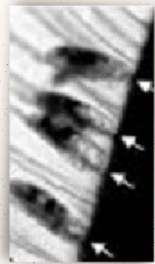
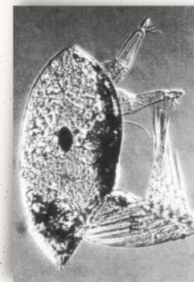
MEZIHOSTITEL

**DEFINITIVNÍ
HOSTITEL**

**VAJÍČKO
PARAZITICKÁ LARVA**



ŽIVOTNÍ CYKLUS
Sacculina
carcini



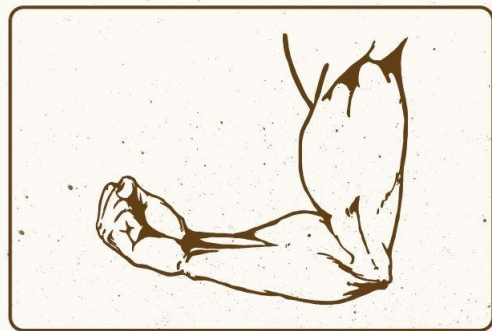
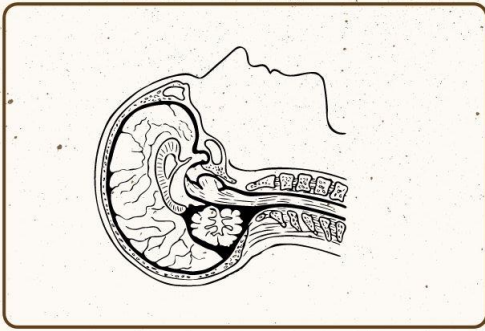
PŘICHYCNÍ SE

HOSTITEL

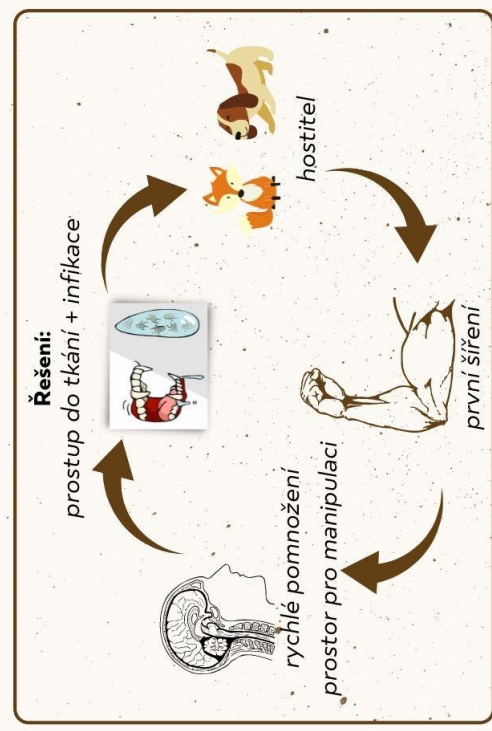
NAUPLIOVÁ LARVA

**VAK PRO UVOLNĚNÍ
VAJÍČEK (EXTERNA)**

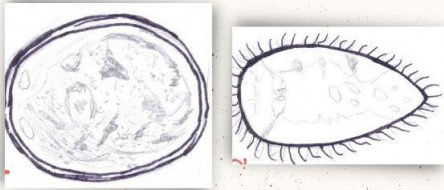
ŽIVOTNÍ CYKLUS
Virus
vztekliny



- PROSTUP DO TKÁNĚ
INFIKACE
- HOSTITEL
- PRVNÍ ŠÍŘENÍ
- RYCHLÉ POMNOŽENÍ
PROSTOR PRO MANIPULACI



ŽIVOTNÍ CYKLUS
Motolice
podivná



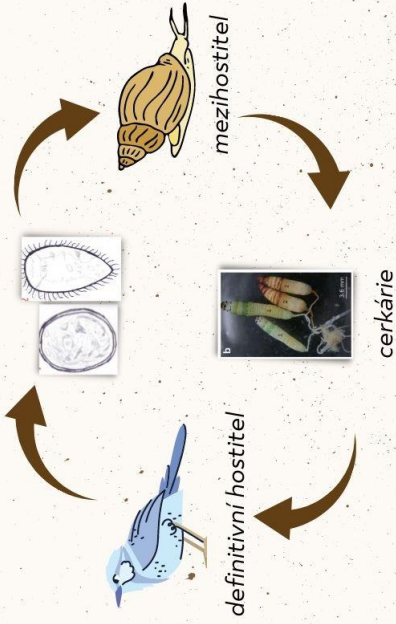
CERKÁRIE

VAJÍČKO
MIRACIDIUM

MEZIHOSITTEL

DEFINITIVNÍ
HOSTITEL

Řešení:
vajíčko + miracidium



Zdroje:

- ANDERSEN S. B., GERRISTMA S., YUSAH K. M., MAYNTZ D., HYWEL-JONES N. L., BILLEN J., BOOMSMA J. J. et HUGHES D. P. The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype. *The American Naturalist* [online]. 2009, vol. 174, no. 3. [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/603640>
- ATAEV G. L., ZHUKOVA A. A., PROKHOROVA E. E. et TOKMAKOVA A. S. Multiple infection of amber *Succinea putris* snails with sporocysts of *Leucochloridium* spp. (Trematoda). *Parasitology Research* [online]. 2016, vol. 155, no. 8, pp. 3203-3208. [cit. 2021-9-19]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00436-016-5082-6>
- Canva.com [online]. 2022. <https://www.canva.com/>
- EVANS H. C., ARAÚJO J. P. M., HALFELD V. R. et HUGHES D. P. 2018. Epitypification and re-description of the zombie-ant fungus, *Ophiocordyceps unilateralis* (Ophiocordycipitaceae). *Fungal Systematics & Evolution* [online]. 2018, vol. 1, no. 1, pp. 13-22. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: doi.org/10.3114/fuse.2018.01.02
- KRISTALYOVÁ, K. Kandidóza na kůži a v ústech. *Zdravovek.cz* [online]. 2020. Dostupné z: <https://zdravovek.eu/cs/kandidoza-v-ustech-na-kuzi/>
- MILNE, G. Parasites and behaviour: the influence of *Toxoplasma gondii* on human populations. *ScienceInnovationUnion* [online]. 2020. Dostupné z: <http://science-union.org/articlelist/2020/6/7/parasites-and-behaviour-the-influence-of-toxoplasma-gondii-on-human-populations>
- ROHDE, K. *Marine Parasitology*. Melbourne, Australia: CSIRO Publishing, 2005. ISBN 0643090258.
- Vzteklina u člověka - příznaky, projevy a léčba. *Rehabilitace.info* [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.rehabilitace.info/nemoci/vzteklina-u-cloveka-priznaky-projevy-a-lecba/>
- VOLF P. a kol. *Paraziti a jejich biologie*. 1. vyd. Praha: Triton, 2007. ISBN 978-80-7387-008-9.
- VOTÝPKA J., KOLÁŘOVÁ I. et HORÁK P. a kol. *O parazitech a lidech*. 1. vyd. Praha: Triton, 2018. ISBN 978-80-7553-350-0.
- Y TAMBLE. *Candida albicans*. Wikimedia Commons [online]. 2005. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Candida_albicans.jpg
- ZIMMER, Carl. *Vládce parazit: pohled do světa nejnebezpečnějších tvorů planety*. 1. vyd. Praha: Paseka, 2005. ISBN 80-7185-685-1.

Příloha 4 – Online dotazník

Hodnocení projektového dne

1. Splnil projektový den tvá očekávání?*

Vyberte jednu odpověď

Ano

Spíše ano

Spíše ne

Ne

2. Byl pro tebe projektový den přínosný?*

Vyberte jednu odpověď

Ano

Spíše ano

Spíše ne

Ne

3. V čem jsi zaznamenal/a přínos projektového dne?

Pokud jsi v předchozí odpovědi odpověděl ano/spíše ano vyberte jednu nebo více odpovědí

Získání nových poznatků

Zlepšení svého vystupování

Zlepšení začlenění se do kolektivu

Jiná...



4. Jak bys obodoval/a jednotlivé aktivity.*

Vyberte jednu odpověď v každém řádku

	1	2	3	4	5
Brainstorming "Parazitismus"	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hledání informací o parazitovi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kartičky s klíčovými pojmy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kartičky s životními cykly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Odborné články	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pokusy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prezentování skupin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Soutěž RISKUJ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Jak jsi se v průběhu dne cítil/a?*

Vyberte jednu odpověď

		
Dobře	Neutrálně	Špatně

6. Jak bys zhodnotil/a práci ve skupině.*

Vyberte jednu odpověď v každém řádku

	Rozhodně souhlasím	Souhlasím	Neutrálně	Nesouhlasím	Rozhodně nesouhlasím
Poslouchali jsme se navzájem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diskutovali jsme společně o zadaném úkolu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spolupracovali jsme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ostatní členové přicházeli s dobrými nápady.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dokončili jsme všechny úkoly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Měli jsme dobře rozvržené role a úkoly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Změnil/a bys něco při práci tvé skupiny?*

Vyberte jednu odpověď

Ano

Ne

8. V případě, že jsi odpověděl/a ano, co konkrétního by to bylo?*

Napište jedno nebo více slov...

500

9. Co se ve skupině dařilo?*

Napište jedno nebo více slov...

500

10. Čím jsi byl své pracovní skupině nejvíce užitečný?*

*

Napište jedno nebo více slov...

500

11. Která ze skupin měla podle tebe nejlepší výstup?*

Vyberte jednu odpověď

Toxoplasma gondii

Virus vztekliny

Candida albicans

Sacculina carcini (kořenožlavec krabí)

Motolice podivná

Strunovec

Zombie houba

12. Který parazit tě nejvíce zaujal?*

Vyberte jednu odpověď

Toxoplasma gondii

Candida albicans

Zombie houba

Sacculina carcini (kořenožlavec krabí)

Virus vztekliny

Strunovec

Motolice podivná

13. Co bylo důvodem zvolení takového parazita?*

Napište jedno nebo více slov...

500

14. Jak by bylo možné projekt vylepšit?*

Napište jedno nebo více slov...

500

15. Jak bys celkově ohodnotil/a projektový den?*

★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

16. Kdyby sis mohl/a zvolit námět příštího projektového dne, jaký by byl?*

Námět by měl být součástí biologie.

Napište jedno nebo více slov...

500