

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Respirace vybraných zástupců planktonu a bentosu v
jarních periodických tůních

Kateřina Vostrčilová

Diplomová práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Mgr. v oboru

Hydrobiologie

Vedoucí práce: doc. RNDr. Martin Rulík, Ph. D.

Olomouc 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Martina Rulíka, Ph. D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 1. 1. 2024

.....
podpis

Poděkování

Nejvíce bych chtěla poděkovat doc. RNDr. Martina Rulíkovi, Ph. D. za odborné vedení, konzultace a za všechnu pomoc a trpělivost. V neposlední řadě velmi děkuji svému příteli a svým rodičům za všechnu pomoc a podporu, kterou mi poskytli.

Vostrčilová, K. (2024) Respirace vybraných zástupců planktonu a bentosu v jarních periodických tůňích. Diplomová práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 30 s, česky.

Abstrakt

Malým vodním biotopům, ke kterým patří i periodické tůňe, se poslední dobou věnuje zvýšená pozornost. Byl prokázán jejich pozitivní vliv na biologickou rozmanitost, hydrologický cyklus krajiny, ale i jejich vliv na emise skleníkových plynů oxidu uhličitého (CO₂). V řadě případů tvoří dominantní složku jarních periodických tůňích larvy komárů a pravidelně zde dochází k vysokým koncentracím jedinců, kdy se v jedné tůňi může nacházet 500-600 tis. larev. V mé práci jsem měřila toky CO₂ z vody do atmosféry v závislosti na skupinách vodních živočichů přirozeně obývajících tůňe a faktorech, které mohly tyto toky ovlivnit. Do experimentu bylo vybráno 5 skupin živočichů, a to larvy jarních komárů rodů *Aedes* a *Ochlerotatus* a jejich kukly, larvy letních komárů rodu *Culex*, chrostíci čeledi *Limnephilidae* a beruška vodní (*Asellus aquaticus*). Jako faktory, které mohou ovlivnit tok CO₂ byl zvolen pohyb a absence světla.

Při působení všech faktorů dosahovaly nejvyšších hodnot emisí CO₂ larvy chrostíků a berušky vodní. Při srovnání druhů bez vlivu pohybu byly nejvyšší emise CO₂ zjištěny u larev a kukel jarních komárů. Larvy jarních komárů produkovaly prokazatelně více emisí CO₂ když byly v klidu, než když na ně působil pohyb ($p=0,02$). Vliv pohybu na ostatní skupiny živočichů se nepotvrdil, i když byl z výsledků patrný. Stejně tak vliv faktoru světlo/tma na sledované živočichy se neprokázal jako statisticky významný, i když larvy chrostíků vykazovaly výrazně vyšší respirace při světle. Porovnání výsledků s hodnotami emisí CO₂ z jiné studie ukázalo, že zkoumaní živočichové mají na emise CO₂ z jarních periodických tůňích minimální vliv.

Klíčová slova: Tok CO₂, jarní periodická tůň, komáří larvy

Vostrčilová, K. (2024) Respiration of selected species of plankton and benthos in spring periodic pools. Diploma thesis, Department of ecology and environment, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 30 p, Czech.

Abstrakt

Small aquatic habitats, which include periodic ponds, have recently received increased attention. Their positive impact on biodiversity, hydrological cycle of the landscape, as well as their influence on greenhouse gas emissions of carbon dioxide (CO₂) has been demonstrated. In many cases, mosquito larvae are the dominant component of spring periodic ponds. High concentrations of individuals regularly occur in ponds, and 500-600 thousand larvae can be found in a single ponds. In my thesis, I measured CO₂ fluxes from water to the atmosphere that were influenced by groups of aquatic animals naturally inhabiting pools and factors that may have influenced these fluxes. Five groups of animals were selected for the experiment, namely larvae of spring-feeding mosquitoes *Aedes* and *Ochlerotatus* and their pupae, larvae of summer-feeding mosquitoes *Culex*, caddisflies of the family *Limnephilidae* and the *Asellus aquaticus*. Movement and the absence of light were selected as factors that may influence CO₂ flux.

Under all factors, the larvae of the *Limnephilidae* and the *Asellus* reached the highest CO₂ emission values. When comparing species without the effect of movement, the highest CO₂ emissions were found in larvae and pupae of spring mosquitoes. Larvae of spring mosquitoes produced significantly more CO₂ emissions when at rest than when affected by movement ($p = 0.02$). The effect of movement on other groups of animals was not confirmed although it was evident from the results. Similarly, the effect of the light/dark factor on the animals studied did not prove to be statistically significant even though the larvae of *Limnephilidae* showed markedly higher respiration in the light. Comparison of the results with CO₂ emission values from another study showed that the animals studied had minimal effect on CO₂ emissions from spring periodic ponds.

Keywords: CO₂ flux, spring periodic ponds, mosquito larvae

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Teoretická část.....	11
2.1. Respirace.....	11
2.2. Měření respirace.....	12
2.3. Oxid uhličitý.....	13
2.4. Bezobratlí v tůních.....	14
3. Cíle práce.....	16
4. Materiál a metody.....	17
4.1. Sběr vzorků.....	17
4.2. Metody.....	17
4.3. Laboratorní měření emisí CO ₂	17
4.4. Výpočty a statistická analýza.....	18
5. Výsledky.....	19
5.1. Tok CO ₂ ze samotné vody.....	19
5.2. Tok CO ₂ v závislosti na testovaném organismu.....	19
5.3. Tok CO ₂ v závislosti na klidu/pohybu.....	20
5.4. Tok CO ₂ v závislosti na světlu/tmě.....	21
6. Diskuse.....	23
7. Závěr.....	25
8. Literatura.....	26

Seznam tabulek

<i>Tab. 1. Toky CO₂ v testovaných vodách.....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2. Průměrné Emise CO₂ z vody do atmosféry u jednotlivých skupin pod vlivem všech faktorů. SD= směrodatná odchylka.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3. Porovnání emisí CO₂ z vody do atmosféry u jednotlivých skupin pod vlivem faktorů klidu a pohybu. SD= směrodatná odchylka.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 4. Porovnání emisí CO₂ z vody do atmosféry u jednotlivých skupin pod vlivem faktorů světlo a tma. SD= směrodatná odchylka.....</i>	<i>22</i>

Seznam obrázků

Obr. 1. Schematický diagram hlavních složek vodního dýchání a jejich vazby na další aspekty funkce ekosystému. Velikost šipek spojujících různé komponenty naznačuje relativní sílu spojení (Del Giorgio & Williams 2005).....	12
<i>Obr. 2. Složky společenství v rybníční vodě, které se podílejí na spotřebě kyslíku, tudíž jsou součástí respiračního cyklu daného ekosystému (Hartman 1998).....</i>	<i>13</i>
Obr. 3. Proces měření; laboratorní láhev se vzorkem napojená na analyzátor skleníkových plynů umístěna na třepače.....	19
Obr. 4. Příprava vzorku; rozdělování kontrolních skupin larev komárů a kukel po 50 jedincích.....	19
<i>Obr. 5. Tok CO₂ z vody do atmosféry pro jednotlivé skupiny zkoumaných organismů pod vlivem všech faktorů. Výsledek pro 50 jedinců každého organismu s výjimkou chrostíků čeledi Limnephilidae (10 jedinců).....</i>	<i>21</i>
Obr. 6. Toky CO ₂ pro jednotlivé skupiny bez vlivu pohybu.....	21
<i>Obr. 7. Tok CO₂ při působení faktoru klidu a pohybu.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 8. Tok CO₂ při působení faktorů světlo a tma.....</i>	<i>23</i>

1. Úvod

V kontextu klimatických změn dnešní doby již nemůžeme popírat důležité funkce malých vodních biotopů, jakými jsou např. tůně či rybníky. Jsou významným centrem biodiverzity a zvyšují biologickou rozmanitost nejen vodních ale i suchozemských organismů (Biggs et al. 2017). Aktivně ukládají a přeměňují uhlík a slouží jako retenční místa pro organickou hmotu a živiny (Craft et al. 2017). Tyto ekosystémy jsou však také považovány za přirozené zdroje emisí skleníkových plynů, hlavně oxidu uhličitého (CO₂) a metanu (CH₄) (Downing 2010, Mitsch & Mander, 2018). Více jak 90% stojatých vod na Zemi má menší rozlohu než 10 ha (0.1 km²) a zaujímají cca 30% z celosvětové plochy stojatých vod (Downing et al. 2006, Verpoorter 2014), přesto tyto malé vodní plochy produkují nezanedbatelných 15.6 % emisí CO₂ a 40.6 % emisí CH₄ z celkového globálního objemu skleníkových plynů (Holgerson 2016).

Malá vodní tělesa mají také tendenci mít ve vodě vyšší koncentraci CO₂ (Raymond et al. 2013, Kankaala 2013,) i CH₄ (Bastviken 2004, Holgerson 2015) než větší jezera. Tím, že mají vysoký poměr povrchu a mělké vody znamená, že se do nich dostává větší množství terestrického (alochtonního) uhlíku v poměru k objemu vody. Suchozemský uhlík pak poskytuje substrát pro mikrobiální dýchání, které může zvyšovat koncentraci CO₂ ve vodě (Sobek 2005). Kromě toho může respirace sedimentů, která často probíhá anoxickou cestou, ovlivňovat celý vodní sloupec stojatých vod (Kortelainen 2006), zvyšovat koncentraci CO₂, snižovat obsah kyslíku a podporovat produkci CH₄ (Bastviken 2004, Holgerson 2015). A konečně pro CH₄ znamená malá hloubka a časté promíchávání rychlejší výměnu s atmosférou a méně času na odstranění CH₄ oxidací (Bastviken 2008). Tyto faktory tak v důsledku podporují vyšší koncentrace CO₂ a CH₄ v malých vodních tělesech ve srovnání s většími jezery. Malé vodní biotopy proto hrají významnou roli v uhlíkové bilanci Země (Downing 2010) a jsou významnými přispěvateli emisí skleníkových plynů CO₂ a CH₄.

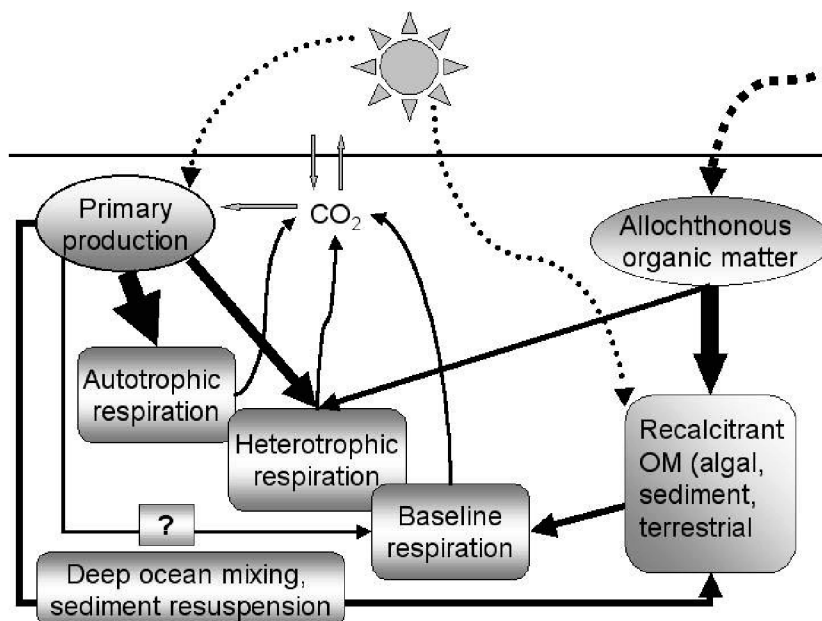
Mezi tyto stojaté vody či malé vodní biotopy můžeme řadit i tůně, které se v České republice vyskytují zejména v záplavových oblastech našich velkých řek, např. v okolí Labe, Moravy a Dyje. Tůně, ať už trvalé či periodické, jsou vhodným biotopem pro velké množství bezobratlých (Sukop 2008). Periodické tůně mají svou specifickou faunu, poskytují však i ideální podmínky pro vývoj larvám komárů. V těchto oblastech proto opakovaně dochází k přemnožení komárů. V době komáří kalamity může na člověka usednout několik desítek až stovek dospělých samiček za 1 minutu (Šebesta et al. 2012). Při výskytu takového množství dospělců se zákonitě musí ve vodním prostředí vyskytovat i velké množství respirujících larev. Rulík et. al. (2023) prováděli měření toků CO₂ a CH₄ ze zaplavených přírodních i umělých tůní v nivě řeky Moravy v CHKO Litovelském Pomoraví se zaměřením na roli denní variability a doby trvání inundace. Při svém výzkumu

prokázali, že tyto tůně byly čistým zdrojem CO₂ a CH₄ a v jarních měsících během dne do atmosféry emitovaly průměrně 5000 μmol CO₂ m⁻² h⁻¹. Obvykle se předpokládá, že respirace bezobratlých živočichů je v porovnání s mikrobiálním rozkladem nevýznamná. Protože Litovelské Pomoraví patří k oblastem, které se pravidelně potýkají s komářími kalamitami, a v některých tůních můžeme nalézt i více než 500-600 tis. larev komárů, nabízela se proto otázka zjistit, zda a do jaké míry se mohou komáří larvy, popř. i jiní bezobratlí v tůních, podílet na celkových emisích CO₂ z tůní.

2. Teoretická část

2.1. *Respirace*

Respirace (dýchání) je biochemický proces, při kterém všechny známé organismy, s výjimkou obligátních fermentorů, získávají životní energii z různých redukovaných sloučenin. Představuje největší obrat organických látek v biosféře, je ústředním prvkem fungování ekosystémů a zásadně ovlivňuje globální cyklus uhlíku. Na úrovni buněk a organismů se dýchání považuje za klíčovou funkci a bylo náležitě prostudováno. Na úrovni ekosystému představuje dýchání největší zásobárnu organických látek v biosféře a přitom je ekosystémová respirace ve vodním prostředí velmi málo prozkoumaná oblast znalosti v našem chápání globálního cyklu uhlíku. Reaktanty a produkty dýchání, jako je kyslík, oxid uhlíčitý, metan a nízkomolekulární sloučeniny, jsou dále klíčovými aktéry ve fungování biosféry (Del Giorgio & Williams 2005)(Obr. 1).

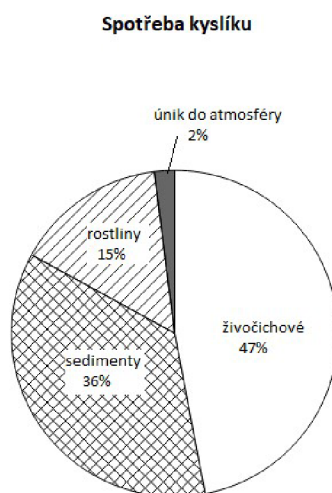


Obr. 1. Schematický diagram hlavních složek vodního dýchání a jejich vazby na další aspekty funkce ekosystému. Velikost šipek spojujících různé komponenty naznačuje relativní sílu spojení (Del Giorgio & Williams 2005)

Za nejvýznamnější přispěvatele do celkové respirace ve vodních ekosystémech jsou považovány sedimenty (Fromin et. al. 2010), bakterie, fytoplankton a zooplankton. Zásadní vliv větších živočichů se obecně nepředpokládá. Studie ekosystémové respirace se však častěji zaměřují na oceány a větší sladkovodní biotopy (Del Giorgio & Williams 2005).

2.2. Měření respirace

Měření respirace je úzce spojeno s měřením rychlosti metabolismu a ekologické energetiky živočichů. Studie, které se zabývají respirometrií, bývají proto zaměřeny na stanovení energetických požadavků zkoumaných druhů živočichů. Techniky používané k měření rychlosti metabolismu u vodních organismů jsou různorodé a využívají rozdílné mechaniky (Steffensen 1989). Průtokové respirometrie se dosahuje měřením množství kyslíku vstupujícího a vystupujícího z komory v poměru k rychlosti průtoku vzduchu nebo vody komorou. Respirometrie s přerušovaným průtokem (IFR) cyklicky přechází mezi otevřenými a uzavřenými periodami. Během otevřených období se komora proplachuje, aby se odstranil odpad a doplnil se kyslík, a během uzavřených období zvíře využívá kyslík uzavřený v komoře (Svendsen et al. 2016). Při uzavřené respirometrii se organismus umístí do uzavřené komory o známém objemu a měří se parciální tlaky kyslíku nebo oxidu uhličitého v několika časových bodech v průběhu pokusu. Tyto metody jsou však navrženy pro měření respirace a metabolismu větších živočichů, nejčastěji pro studium ryb či velkých bezobratlých. Na každé měření je také potřeba delší časový úsek (desítky hodin až dny) (Drown et al. 2020) a metody jsou spíše stavěny na zkoumání spotřeby kyslíku (O₂) (Obr. 2) než na množství produkovaného CO₂ (Everett & Crawford 2010; Gaitan-Espitia et al. 2013). Oproti tomu metody měření emisí používají metody analyzování složek plynné směsi na základě unikátnosti absorpčního spektra některých plynů. Přístroj založený na principu absorpční spektroskopie (analyzátor skleníkových plynů Los Gatos) zvládne s nízkými optimálními integračními časy a vysokou přesností změřit emise z vody do atmosféry s přesností < 40 ppt (Arévalo-Martínez et al. 2013).



Obr. 2. Složky společenství v rybníční vodě, které se podílejí na spotřebě kyslíku, tudíž jsou součástí respiračního cyklu daného ekosystému (Hartman et al. 1998)

2.3. Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO₂) v plynné formě je ve vodě snadno rozpustný, takže jeho množství ve vodě je vyšší než jeho objemový podíl v ovzduší. Vstupuje do vodních ekosystémů z atmosférického rezervoáru, odkud jej čerpají primární producenti zahrnující rostliny a mikroorganismy (řasy, sinice, některé bakterie a prvoci) a pomocí fotosyntézy jej zabudovávají do organické hmoty. Množství CO₂ v atmosféře a rychlost obratu organické hmoty ve vodních ekosystémech je ovlivněno koloběhem uhlíku (del Giorgio & Williams 2005).

Výměna plynu CO₂ přes vodní hladinu v tůních je řízena Henryho zákonem, kdy klíčovými veličinami jsou tlak a Henryho konstanta charakteristická pro daný plyn, která závisí na teplotě. Čím nižší je teplota vody, tím lepší je rozpustnost plynu. Naopak při stoupající teplotě začíná plyn z vody unikat. K emisím CO₂ z vody dochází i tehdy, kdy je koncentrace plynu ve vodě vyšší než v atmosféře nad hladinou, tedy ve chvílích kdy je voda přesycena.

Henryho zákon

$$C_i = K_i \cdot P_i$$

C_i = koncentrace nasycení vody plynem (mg/l)

K_i = absorpční koeficient (rozpustnost plynu v závislosti na teplotě) [mg/l]

P_i = parciální tlak plynu (je přímo úměrný objemovému procentu, v jakém je plyn obsažen ve vzduchu)

Oba parametry ovlivňující tok CO₂ mezi vodou a atmosférou jsou ovlivňovány i dalšími faktory a mohou tak být vysoce variabilní v prostoru i čase (Duvert et al. 2018, Rocher-Ros et al. 2019). Zatímco *K* je ve vodním prostředí často ovlivněno turbulencí vody a morfologií koryta či tvaru nádrže, *P* je ovlivněno stupněm hydrologické konektivity mezi tokem a ripariálními půdami (převážně v tekoucích vodách) (Guasch 1998), ale také procesy v toku (metabolismus organismů-respirace/fotosyntéza).

Rozpuštěný CO₂ se vyskytuje ve vodách i v několika různých sloučeninách; kyselina uhličitá (H₂CO₃), hydrogenuhličitany (HCO₃⁻) a uhličitany (CO₃²⁻) v závislosti na pH vody a intenzitě fotosyntézy. Volné molekuly CO₂ se ve vodách vyskytují také díky mikrobiálnímu rozkladu organické hmoty, ke které dochází u dna. Zde se hromadí a mohou ve formě bublinek (ebulice) unikat k hladině a do ovzduší. Respirace vodních organismů, pohyb vodních mas a povrchová difúze v závislosti na přesycení vody vede ke ztrátě CO₂ z ekosystémů.

Je známo, že množství CO₂ ve vodě podléhá cirkadiánnímu a sezónnímu kolísání (Rudberg et al. 2021). Z organického hlediska jde o závislosti na fotosyntetické aktivitě ve dne, kdy dochází k odčerpávání CO₂, a naopak dýchání produkující CO₂ v noci. Sezónní kolísání je závislé na teplotě a parciálním tlaku; ve studené vodě se rozpouští více CO₂. Primární produkce spotřebovává CO₂ při fotosyntéze, čímž snižuje koncentraci CO₂ ve vodě během

dne. Respirace rostlin i živočichů v noci může koncentraci CO₂ zvyšovat. Pokles teploty, k němuž často v noci dochází, usnadňuje proudění, které vytváří přípovrchovou turbulenci zvyšující rychlost přenosu plynů a přinášející vodu bohatou na CO₂ z hypolimnionu k povrchu (Heiskanen et al. 2014, Liu et al., 2016). Jistým faktorem ovlivňujícím koncentraci CO₂ ve vodě může být i vítr, který ovlivňuje turbulenci povrchové vody, výměnu vody v pórech sedimentů a vzdušných vrstev vodního sloupce (Czikowsky et al., 2018).

2.4. Bezobratlí v tůních

Tůně (ponds) jsou malé, mělké vodní plochy s maximální plochou do 5 ha, maximální hloubkou 5 m a <30 % pokrytím emergentní vegetací. Do tůní proniká světlo až k sedimentům, pokud to průhlednost vody umožňuje, a mohou být trvalé nebo dočasné a přírodní nebo vytvořené člověkem (Richardson et al. 2022). Periodické tůně obsahují vodu pouze dočasně, jen na několik měsíců či týdnů. Dočasný vodní systém definujeme jako systém, ve kterém se celý biotop pro vodní organismy stává z dostupného nedostupným na dobu a/nebo frekvenci dostatečnou k podstatnému ovlivnění celé bioty (Schwartz & Jenkins 2000). Vznikají v terénních prohlubních po tání sněhu (zejména na jaře) a po deštích nebo vlivem stoupající hladiny podzemních vod a životnost nádrže může hrát významnou roli při určování druhové skladby (Hrbáček 1966). Ve většině stojatých vod najdeme vodní hmyz. Jen málo druhů vodního hmyzu je obligátně vázáno na konkrétní typy stojatých vod, ale některé stojaté vody obsahují vysokou diverzitu konkrétních taxonů, převážně dvoukřídlých (Diptera), které žijí v sedimentech, bahnitěm dně, písčinych březích nebo na hnijící či emergentní vegetaci (Batzer & Wissinger 1996; Keiper et al. 2002).

Jarní periodické tůně jsou známé svou specifickou faunou. K typickým vlajkovým druhům jarních periodických tůní patří především velcí lupenonozí korýši: žábřonozka sněžní (*Eubranchipus grubii*), listonoh jarní (*Lepidurus apus*) a měkkýši jako kružník Rossmässlerův (*Gyraulus rossmaessleri*). Společně s nimi pak v řadě případů tvoří dominantní složku jarních periodických tůní i larvy komárů (např. *Ochlerotatus communis*, *O. cataphylla*, *Aedes annulipes*) (Sukop 2008).

Komárovití (*Culicidae*) patří s řadou dalších čeledí k řádu hmyzu dvoukřídlého (*Diptera*), charakterizovaného jedním párem křídel a druhým párem změněných v kyvadélka (haltery). Ústní ústrojí dospělců je prodloužené, přizpůsobené k bodání a sání krve. Podobně jako u všech zástupců hmyzu s proměnou dokonalou mají i komáři tato vývojová stádia: vajíčko, larva, kukla a imago. První tři stádia potřebují pro svůj vývoj vodní prostředí. Vajíčka jsou kladena do vlhké půdy, která se obnažuje poté, co došlo k poklesu hladiny vody v tůni (*Aedes*, *Ochlerotatus*) nebo na vodní hladinu (*Culex*). Vylíhnou se z nich pohyblivé beznohé larvy, které se živí filtrováním organických zbytků a mikroorganismů z vody a vodní hladiny nebo jejich seškrabáváním z povrchů předmětů ve vodě (Volf & Horák 2007). Komáři larvy jsou důležitým zdrojem potravy pro mnoho sladkovodních

živočichů, jako jsou nymfy vážek, mnoho ryb a některé ptáky, například kachny (Lancaster & Downes 2013). Osmý článek zadečku larvy má na hřbetě dýchací sifo se dvěma stigmaty nebo stigmální destičku, do které se navenek otevírá tracheální soustava. Larvy dýchají atmosférický kyslík, musí být tak při jeho čerpání zavěšeny na hladině. Při vyrušení klesají hemživým pohybem ke dnu. Celkem čtyřikrát se svlékají, po čtvrtém svlékání vzniká z larvy kukla. Až u larvy ve čtvrtém instaru jsou dobře vyvinuté všechny důležité determinační znaky, které najdeme především na posledních dvou článcích zadečku. Kukla připomíná tvarem těla notu: hlavičku noty představuje mohutně vyvinutá hlavohruď, nožku štíhlí zadeček. Hlavohruď vznikla splnutím hlavy a všech tří hrudních článků. Na hřbetě kukly je nápadný jeden pár dýchacích nálevků (Kramář 1958).

Beruška vodní (*Asellus aquaticus*), patří mezi vodní stejnonožce (Isopoda), kteří dýchají žábry na plochých končetinách na spodní straně zadečku (Mourek 2023). Je to běžný sladkovodní koryš stojatých i mírně tekoucích vod. Živí se detritem a rostlinnými zbytky.

Chrostíci (*Trichoptera*) jsou řád křídlatého hmyzu s proměnou dokonalou. Vodní larvy si staví schránky z nejrůznějších materiálů, který je charakteristický pro daný druh (písek, jehličí i schránky jiných živočichů). U larev chrostíků vyrůstají keříčkovité nebo vláknité tracheální žábry po stranách či na spodní straně zadečku, u některých zástupců scházejí (Mourek 2023).

2.5. Cíle práce

- 1) Na příkladu larev komárů a dalších vodních živočichů, přirozeně obývajících tůň zjistit, kolik respirují CO_2 .
- 2) Porovnat mezi sebou různé skupiny živočichů přirozeně obývajících tůň. Zhodnotit možný vliv vybraných faktorů (pohyb, světlo) na množství vyrespirovaného CO_2 .
- 3) Porovnat možný vliv faktorů, ovlivňující emise CO_2 z vody, na živočichy. Odhadnout, jaký podíl mohou mít studovaní bezobratlí živočichové na celkovém toku CO_2 z tůň.

3. Materiál a metody

3.1. Sběr vzorků

Sběr vzorků byl proveden na území CHKO Litovelské Pomoraví v okolí obce Střeň. Začátkem května 2021 byl z vybraných periodických tůní odloven mix jarních druhů komárů rodů *Aedes* a *Ochlerotatus*; larvy převážně ve 4. instaru a komáří kukly. Dále byli do experimentu vybrány dva další dominantní organismy ve vybraných tůních- chrostíci čeledi *Limnephilidae* a beruška vodní (*Asellus aquaticus*). Oba tyto taxony se běžně nalézají ve stojatých a mírně tekoucích vodách. Zároveň byla odebrána od plastových 25 L barelů i voda z tůně. Odběr letních druhů komárů rodu *Culex* byl proveden v červenci 2021 ze soukromé zahradní nádrže v Olomouci. Kukly letních komárů nebyly v době odběru k dispozici.

3.2. Metody

Mezi odběrem a vlastní analýzou v laboratoři byly vzorky 1-3 dny uchovány v lednici s teplotou cca 10 °C. Larvy a kukly komárů a berušky vodní jsem rozdělila do kontrolních skupin po 50 jedincích. Larvy chrostíků byly kvůli nedostatečnému počtu jedinců a poměrově větší velikosti rozděleny do skupin po 10 kusech. Pro každé měření jsem vytvořila tři kontrolní skupiny, na kterých byly opakovaně testovány jednotlivé parametry (Obr. 4).

Ze začátku měření jsem použila vodu odebranou z tůně, která byla přefiltrována přes běžný laboratorní papírový filtr. Při měření jsem však zjistila relativně vysokou pozadovou koncentraci metanu a těkání většího množství CO₂. K optimalizování podmínek experimentu byla proto voda z tůní převařena. Dále jsem v experimentech použila vodu kohoutkovou, několik dní odstátou při laboratorní teplotě. Po změření množství vytěkaného CO₂ ze samostatné vody jsem tuto hodnotu odečetla od změřené hodnoty vzorku s živočichy; provedeno u každého vzorku zvlášť.

Jako faktor ovlivnění respirace živočichů a následného těkání CO₂ z vody jsem zvolila vliv pohybu, zajištěný laboratorní třepačkou, která neumožňovala komářími larvám a kuklám zůstat zavěšené na hladině a berušky a chrostíky nutila k mírnému pohybu. Dalším zkoumaným faktorem bylo světlo, resp. tma. Živočichové byli delší dobu uchovávaní v tmavé místnosti a experimentální laboratorní lahve byly obaleny aluminiovou fólií aby byla zajištěna absence světla i u samotného měření.

3.3. Laboratorní měření emisí CO₂

Vzhledem ke skutečnosti, že jsem chtěla své výsledky porovnávat s výsledky výzkumu Rulík et. al. (2023), použila jsem při experimentu téměř stejné postupy, upravené pro laboratorní měření. Emise CO₂ byly měřeny pomocí ultrapřenosného analyzátoru skleníkových plynů značky Los Gatos U-GGA-30p (Los Gatos Research Inc.; Quebec, Kanada), který využívá patentovanou technologii OA-ICOS (Off-Axis Integrated Cavity

Output Spectroscopy), nejnovější vývoj v oblasti absorpční spektroskopie s laditelným diodovým laserem. Použila jsem skleněné laboratorní lahve SIMAX (vnitřní průměr 9,5 cm, objem 640,1 ml) se šroubovacím uzávěrem a 500 ml vody (plocha hladiny 70 cm²). Lahve byly uzavřeny víčkem se dvěma plynotěsnými hadičkami, které byly napojeny na analyzátor a vytvořily tak uzavřenou plynovou komoru. Vnitřní čerpadlo v přístroji zajišťovalo cirkulaci vzduchu v komoře přes plynotěsné hadičky do analyzátoru skleníkových plynů. Měření každého vzorku probíhalo po dobu 250 vteřin a koncentrace CO₂ v komoře se měřila každou sekundu, což umožnilo sledovat aktuální změny koncentrace CO₂ v křivce po celou dobu měření. K simulaci pohybu vodní hladiny byla využita orbitální třepačka yellowline nastavena na 120 otáček za minutu, na kterou byla umístěna láhev připojena na analyzátor (Obr.3).

Celkově bylo během laboratorního měření otestováno 49 vzorků s živočichy, 8 vzorků vody a provedeno 113 měření.

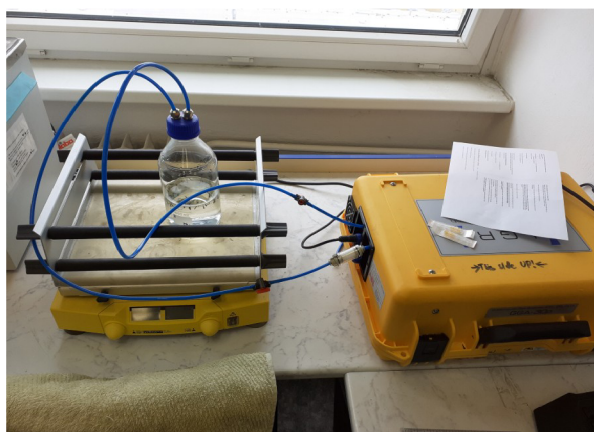
3.4. Výpočty a statistická analýza

Toky CO₂ (FCO₂) (mol m⁻² h⁻¹) mezi vodou a atmosférou (F) byly vypočteny ze sklonů lineárních regresí koncentrací z komory v závislosti na čase takto:

$$F = [s \cdot (V_{ch} / RTA_{ch})]t,$$

kde F představuje difuzní tok plynu z vodní hladiny do atmosféry, s představuje sklon změny koncentrace plynu v komoře v čase (ppm/s), V_{ch} je objem komory (m³), R je univerzální plynová konstanta ($8,2 \times 10^{-5}$ m³ atm K⁻¹ mol⁻¹), T je teplota v komoře, A_{ch} je plocha komory (m²) a t je přepočten ze sekund na hodiny, resp. μ mol na μ mol m⁻² h⁻¹ (Attermeyer et al.; 2016, Ollivier et al. 2019).

Pro testování významných rozdílů mezi jednotlivými skupinami, na které působily faktory klid/pohyb a světlo/tma jsem použila dvouvýběrový t-test v programu excel, $\alpha=0,05$. Grafické výstupy jsem vytvořila v programu R studio.



Obr. 3. Proces měření; laboratorní láhev se vzorkem napojená na analyzátor skleníkových plynů umístěna na třepačce

Obr. 4. Příprava vzorku; rozdělování kontrolních skupin larev komárů a kukel po 50 jedincích

4. Výsledky

4.1. Tok CO₂ ze samotné vody

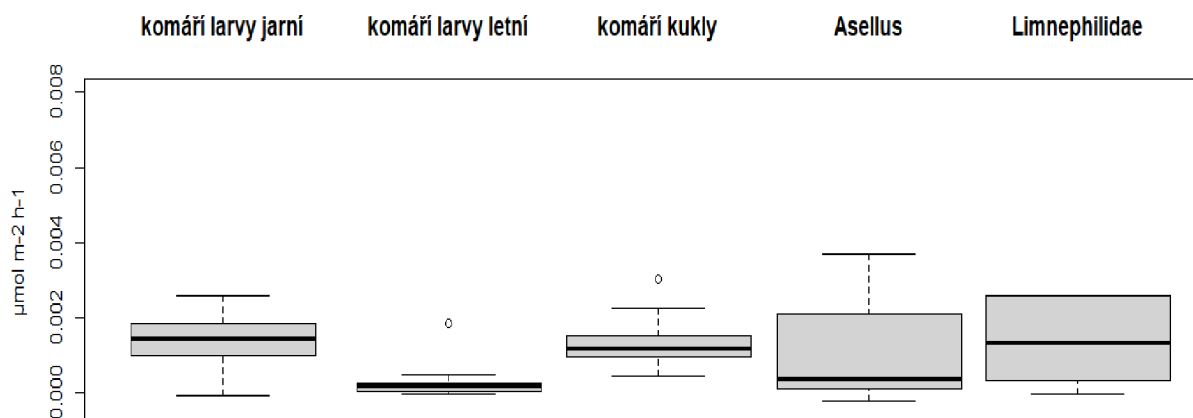
Naměřené emise CO₂ pro každý den laboratorního měření, v klidu i v pohybu, jsou zobrazeny v tab. 1. Nejvyšší tok CO₂ ze samotné vody v klidu i v pohybu vykazovala přefiltrovaná voda z tůně. U vody převařené byly všechny naměřené hodnoty toku CO₂ záporné, tedy bez emisí. Tok CO₂ z vody odstáté se pohyboval od 0,000057 do 0,001624 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ s průměrnou hodnotou 0,000589 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Množství emitovaného CO₂ vody v pohybu bylo vždy větší než v klidu (nesignifikantně, $p=0,54$).

Tab. 1. Toky CO₂ v testovaných vodách

datum	druh vody	klid/pohyb	[$\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$]
3.5.2021	z tůně filtrovaná	klid	0,000912
3.5.2021	z tůně filtrovaná	pohyb	0,002576
3.5.2021	odstátá	klid	0,000367
3.5.2021	odstátá	pohyb	0,001624
3.5.2021	převařená	klid	-0,000657
3.5.2021	převařená	pohyb	-0,001544
4.5.2021	převařená	klid	-0,000488
4.5.2021	převařená	pohyb	-0,001375
4.5.2021	odstátá	klid	0,000280
4.5.2021	odstátá	pohyb	0,000424
6.5.2021	odstátá	klid	0,000760
6.5.2021	odstátá	pohyb	0,000774
23.7.2021	odstátá	klid	0,000057
23.7.2021	odstátá	pohyb	0,000423

Tok CO₂ v závislosti na testovaném organismu

Tok CO₂ souhrnně od všech zkoumaných skupin živočichů pod vlivem všech faktorů byl pozitivní i negativní (Obr. 5) a pohyboval se od -0,000226 do 0,010635 s mediánem 0,001114 ($q_1 = 0,000315$, $q_3 = 0,001652$) $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$.



Obr. 5. Tok CO₂ z vody do atmosféry pro jednotlivé skupiny zkoumaných organismů pod vlivem všech faktorů. Výsledek pro 50 jedinců každého organismu s výjimkou chrostíků čeledi Limnephilidae (10 jedinců)

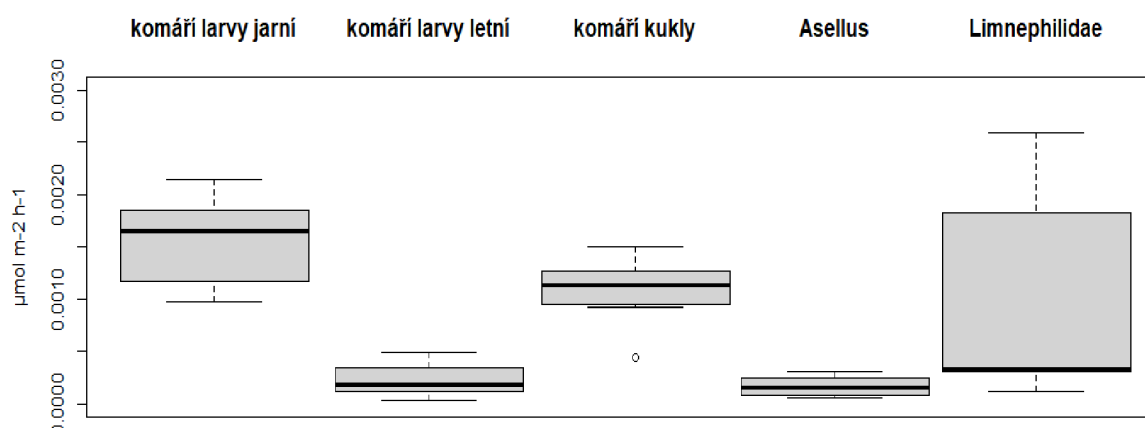
Nejvyšší maximální hodnota se vyskytovala u larev chrostíků, nejnižší pak u berušek vodních. Při porovnání průměrů dosahovaly nejvyšších hodnot emisí CO₂ larvy chrostíků a berušky vodní (Tab. 2).

Tab. 2. Průměrné Emise CO₂ z vody do atmosféry u jednotlivých skupin pod vlivem všech faktorů. SD= směrodatná odchylka

FCO ₂ μmol m ⁻² h ⁻¹	Průměr (min; max)	SD
celkově	0,001315 (-0,000226; 0,010635)	0,001717
komáří larvy jarní	0,001380 (-0,000066; 0,002583)	0,000589
komáří larvy letní	0,000252 (-0,000055; 0,001858)	0,000425
komáří kukly	0,001275 (0,000448; 0,003021)	0,000552
<i>Asellus aquaticus</i>	0,001731 (-0,000226; 0,010132)	0,003189
Limnephilidae	0,002737 (-0,000043; 0,008771)	0,003802

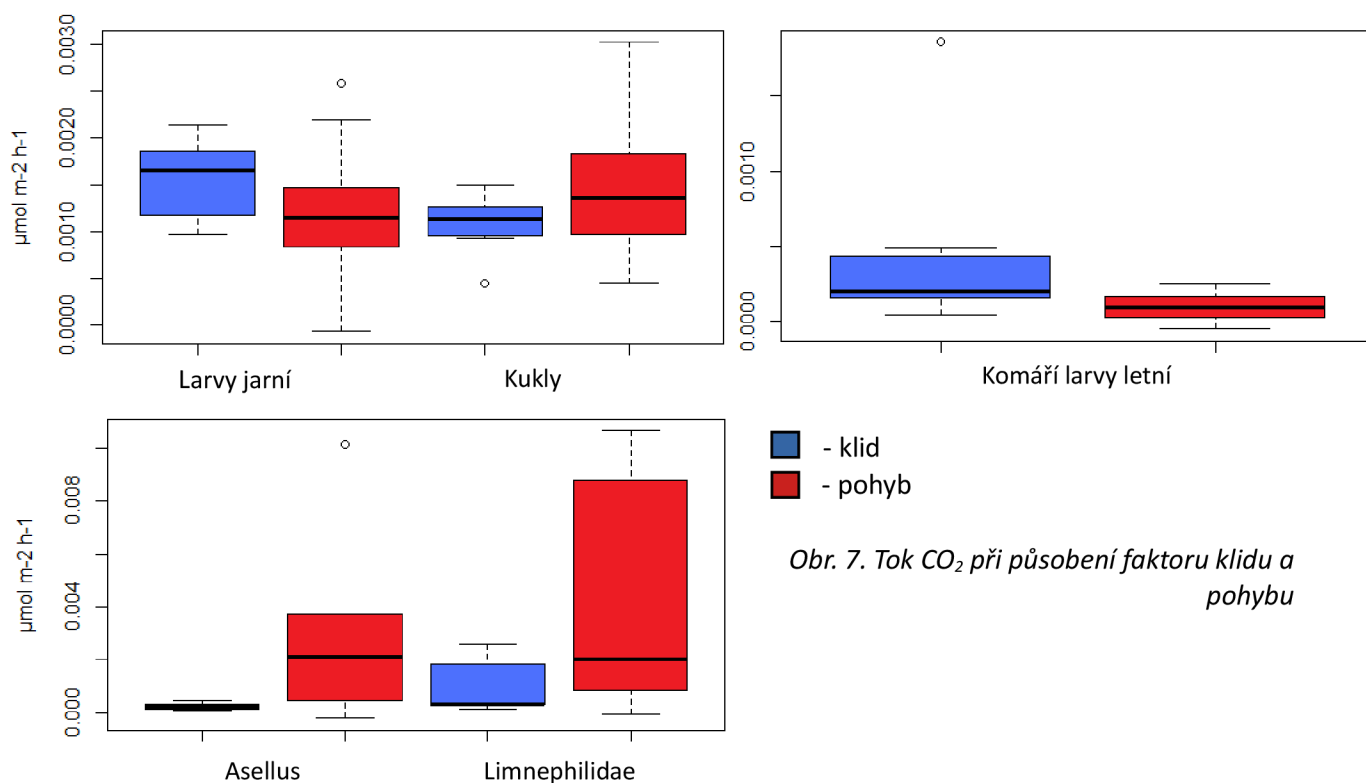
4.2. Tok CO₂ v závislosti na klidu/pohybu

Na celkových výsledcích byl patrný vliv pohybu, proto jsem dále porovnávala toky CO₂ pro jednotlivé skupiny pouze z měření klidu. V klidu byly nejvyšší emise CO₂ zjištěny u larev a kulek jarních komárů (obr. 6).



Obr. 6. Toky CO₂ pro jednotlivé skupiny bez vlivu pohybu

V klidu dosahovaly vyšších toků CO₂ larvy komárů jarního i letního aspektu, naopak kukly komárů, podobně jako berušky a larvy chrostíků vykazovaly vyšší emise při pohybu (obr. 7).



Obr. 7. Tok CO₂ při působení faktoru klidu a pohybu

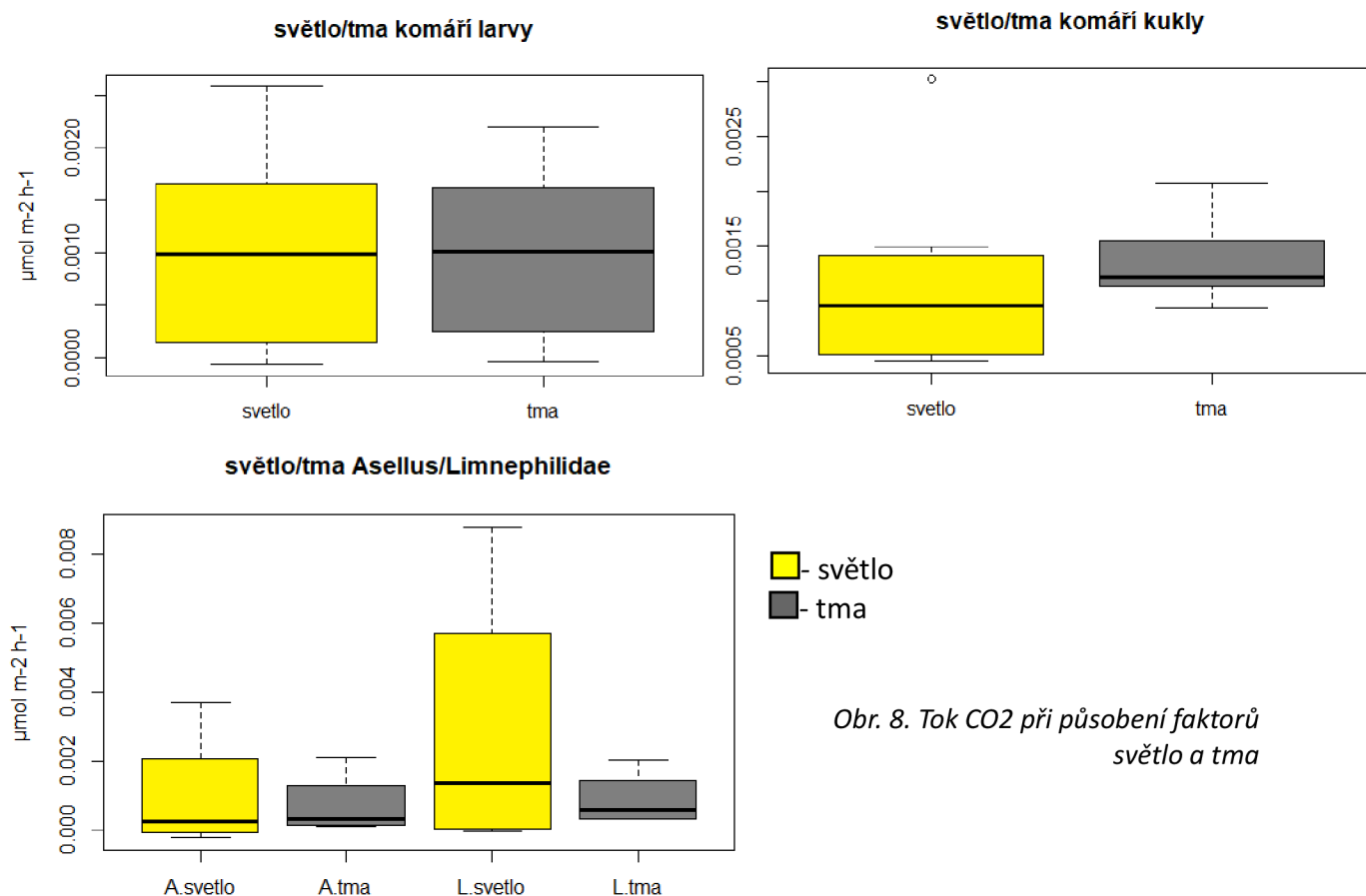
Nicméně statisticky významný rozdíl mezi klidem a pohybem se ukázal, jako u jediné skupiny, pouze v případě jarních larev komárů (Tab. 3).

Tab. 3. Porovnání emisí CO₂ z vody do atmosféry u jednotlivých skupin pod vlivem faktorů klidu a pohybu. SD= směrodatná odchylka

faktory	klid	pohyb	t-test
	průměr ± SD	průměr ± SD	
komáří larvy jarní	0,001573 ± 0,000395	0,001187 ± 0,000694	0,02
komáří larvy letní	0,000409 ± 0,000563	0,000095 ± 0,000112	0,14
komáří kukly	0,001132 ± 0,000272	0,001417 ± 0,000717	0,12
Asellus	0,000223 ± 0,000157	0,003238 ± 0,004145	0,17
Limnephilidae	0,001035 ± 0,001105	0,004439 ± 0,004905	0,12

4.3. Tok CO₂ v závislosti na světle/tmě

U experimentu vlivu světla a tmy jsem sloučila dohromady výsledky jarních a letních komářích larev, abych dosáhla větší kontrolní skupiny. Při měření byl stále aplikován vliv klidu/pohybu a výsledky byly sloučeny. Vliv faktoru světlo/tma na komářích larvy a komářích kukly se neprokázal jako statisticky významný (larvy $p=0,83$; kukly $p=0,18$) (obr. 8). Larvy chrostíků vykazovaly výrazně vyšší respirace při světle (obr. 8), ale rozdíl nebyl signifikantní ($p=0,33$) (tab. 4).



Obr. 8. Tok CO₂ při působení faktorů světlo a tma

Tab. 4. Porovnání emisí CO₂ z vody do atmosféry u jednotlivých skupin pod vlivem faktorů světlo a tma. SD= směrodatná odchylka

faktory	světlo	tma
	průměr ± SD	průměr ± SD
komářích larvy	0,000946 ± 0,000856	0,000992 ± 0,000720
komářích kukly	0,001106 ± 0,000717	0,001355 ± 0,000359
Asellus	0,000996 ± 0,001828	0,000722 ± 0,000943
Limnephilidae	0,002859 ± 0,004121	0,000869 ± 0,000801

5. Diskuse

Voda z tůně, která byla pouze přefiltrovaná, emitovala relativně velké množství nejen CO₂ ale i CH₄, což potvrzuje, že tyto vody jsou přirozeným emitentem oxidu uhličitého i metanu (Downing 2010, Mitsch & Mander, 2018, Rulík et. al. 2023). Tok CO₂ z vody bez živočichů do atmosféry v pohybu byl vždy vyšší než tok CO₂ v klidu, což bylo patrně způsobeno výsledkem ovlivněním výsledného toku plynů skrz hraniční difúzní vrstvu na rozhraní voda-vzduch turbulencí (Jirka et al. 2010). Tok CO₂ z odstáté vody kolísal více, než jsme předpokládali.

Při přesycení vody CO₂ dochází, dle platnosti Henryho zákona, k jeho úniku difuzí do atmosféry, přičemž výměnu plynu mezi vodou a atmosférou může ovlivňovat řada faktorů. Zatímco většina vodních organismů respiruje, a tedy uvolňuje oxid uhličitý do vodního prostředí, a tím přispívá k jeho supersaturaci, komáří larvy a kukly se nepodílí na přesycování vody CO₂ v pravém smyslu, protože kyslík přijímají a CO₂ vydechují na rozhraní vodní hladiny a vzduchu.

Z výsledků mé práce vyplývá, že nejvyšších hodnot emisí CO₂ obecně dosahovaly larvy chrostíků, i když byly experimentální skupiny tvořeny 10 jedinci oproti ostatním skupinám, kde bylo použito 50 jedinců. Zřejmě zde i tak hrála roli velikost těla (chrostíci cca 30 mm, beruška cca 10 mm, larvy jarních komárů cca 12 mm, larvy letní komárů cca 6 mm). Pravděpodobně se zde uplatňuje jedno ze základních pravidel metabolické teorie, která uvádí, že s hmotností těla roste intenzita metabolismu (spotřeba kyslíku- respirace oxidu uhličitého) u živočichů podle mocninné zákonitosti s exponentem $\frac{3}{4}$ (Storch 2010). I když dnes už víme, že tato teorie není zdaleka univerzální a že nezáleží jen na velikosti těla, ale spíše na objemu metabolizující tkáně a že všechny biologické procesy nejsou stejně rychlé jako intenzita metabolismu vztažená na jednotku hmotnosti (Storch 2020). Nejnižších hodnot pak dosahovaly larvy letních komárů a berušky vodní.

Při zkoumání vlivu faktoru klid/pohyb se statisticky významný rozdíl prokázal pouze u skupiny jarních komářích larev ($p= 0,02$), tok CO₂ z vody v klidu byl vyšší než v pohybu. Při experimentech v klidu pak obecně nejvyšších hodnot emisí CO₂ dosahovaly larvy jarních komárů, vyšší toky CO₂ v pohybu naopak dosahovaly komáří kukly, berušky a chrostíci. Komáří larvy, jarní i letní, produkovaly více CO₂ v klidu. Tento výsledek může být způsoben rozdílným způsobem dýchání u jednotlivých skupin živočichů. Berušky vodní a chrostíci dýchají pomocí žaber přímo do vody (Mourek 2023), rušení v podobě pohybu je mohlo proto vést k intenzivnější respiraci. Naopak komáří larvy přijímají atmosférický kyslík zavěšeny na hladině přes dýchací sifo a při vyrušení klesají ke dnu. Bez kontaktu s hladinou, kdy dojde k uzavření dýchacího sifa (Lee et al. 2017) tedy pravděpodobně nemohou ani vydechovat, a proto byly naměřené emise CO₂ během experimentu v pohybu nižší.

Stejné pravidlo by ale mělo platit i pro komáří kukly (Wilkerson et al. 2021). Proč tedy byly zjištěny vyšší emise CO₂ během pohybu kukel než v klidu není prozatím jasné. Kukly vykazovaly celkově zajímavé výsledky. Tok CO₂ u komářích kukel jako jediný nedosahoval záporných čísel, při tmě byl vyšší než při světle a ve srovnání s ostatními testovanými organismy respirovaly kukly více v pohybu než v klidu, i když přijímají atmosférický kyslík.

Experiment s vlivem světla resp. absencí světla se ukázal jako neprůkazný ve všech případech což potvrzují i předchozí studie (Wightman 1977). Zatím co tůně samotné produkují více CO₂ v noci (Rulík et al. 2023), všechny skupiny živočichů, až na komáří kukly, produkovaly více CO₂ při světle.

Ačkoli se mi nepodařilo dohledat konkrétní kvantitativní data o možných počtech *Asellus aquaticus* a chrostíků *Limnephilidae* v tůních, z osobních pozorování víme, že se zde nebudou nacházet ve vysokých počtech. Naopak komáří larvy se mohou v jarních periodických tůních při vhodných podmínkách vyskytovat v počtech několika stovek tisíc jedinců. Z mých výsledků vyplývá, že pokud 50 komářích larev rodu *Aedes* a *Ochlerotatus* průměrně vyprodukuje 0,0014 μmol CO₂ m⁻² h⁻¹. V přepočtu na jednu komáří larvu dostaneme výsledek 0,000028 μmol m⁻² h⁻¹. V tůni o rozloze 25 m² se může v polovině května vyskytovat okolo 500 000 komářích larev (Rulík- nepublikovaná data). V takovém případě by tento počet larev v klidové poloze mohl produkovat až 14 μmol CO₂ m⁻² h⁻¹. Pokud tůně produkují průměrně 5000 μmol CO₂ m⁻² h⁻¹ (Rulík et al. 2023), pak by podíl komářích larev na celkovém toku oxidu uhličitého z vody do atmosféry byl zanedbatelný – 0,28%.

6. Závěr

Malé vodní plochy, mezi které patří i jarní periodické tůň jsou prokázanými emitenty skleníkového plynu CO₂. Jsou to také důležité biotopy pro vývoj larev vodního hmyzu, zvláště jarních druhů komárů, které se zde v jarních měsících vyskytují často v masovém množství. V této práci byly při laboratorním experimentu měřeny toky CO₂ z vody do atmosféry v závislosti na skupinách vodních živočichů přirozeně obývajících tůň a faktorech, které mohly tyto toky ovlivnit.

Srovnání druhů ukázalo na vliv velikosti živočicha a množství emisí CO₂, nejvyšší toky byly naměřeny u larev chrostíků *Limnephilidae* a nejméně u larev jarních komárů *Culex*. Signifikantně více CO₂ produkovaly larvy jarních komárů v klidové fázi než ve fázi pohybu, což se dalo předpokládat dle jejich způsobu dýchání. Neprůkaznost ostatních měření, i když byly patrné rozdíly, může mít za následek nedostatečný počet opakování a nabízí se zde proto prostor pro další zkoumání.

Při přepočtu průměrných hodnot z měření v modelové situaci pro jarní periodickou tůň v polovině května by podíl všech larev komárů v tůni na celkové emisi byl méně než 1%. Výsledky této diplomové práce naznačují, že zkoumání živočichové mají na emisi CO₂ z jarních periodických tůní minimální vliv.

7. Literatura

Arévalo-Martínez, D. L., Beyer, M., Krumbholz, M., Piller, I., Kock, A., Steinhoff, T., Körtzinger, A., and Bange, H. W. (2013) A new method for continuous measurements of oceanic and atmospheric N₂O, CO and CO₂: performance of off-axis integrated cavity output spectroscopy (OA-ICOS) coupled to non-dispersive infrared detection (NDIR), *Ocean Sci.*, 9, 1071–1087, doi: 10.5194/os-9-1071-2013.

Attermeyer, K., Flury, S., Jayakumar, R., Fiener, P., Steger, K., Arya, V., et al. (2016). Invasive floating macrophytes reduce greenhouse gas emissions from a small tropical lake. *Sci. Rep.* 6 (1), 20424–20510. doi:10.1038/srep20424.

Bastviken, D., Cole, J., Pace, M. & Tranvik, L. (2004). Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Glob. Biogeochem. Cycles* 18, GB4009.

Bastviken, D., Cole, J. J., Pace, M. L. & Van de Bogert, M. C. (2008). Fates of methane from different lake habitats: connecting whole-lake budgets and CH₄ emissions. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 113, GO2024.

Batzer, D. P. & Wissinger, S. A. (1996). Ecology of insect communities in nontidal wetlands. *Annual Review of Entomology*, 41, 75-100.

Biggs, J., Von Fumetti, S. & Kelly-Quinn, M. (2017). The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers. *Hydrobiologia*, 793(1), 3-39.

Craft, C., Vymazal, J., & Kröpfelová, L. (2017). Carbon sequestration and nutrient accumulation in floodplain and depression wetlands. *Ecol. Eng.* 114, 137–145. doi:10. 1016/j.ecoleng.2017.06.034.

Czikowsky, M. J., MacIntyre, S., Tedford, E. W., Vidal, J., & Miller, S. D. (2018). Effects of wind and buoyancy on carbon dioxide distribution and air-water flux of a stratified temperate lake. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(8), 2305–2322.

Del Giorgio, P. A., & Williams, P. J. (2005). *Respiration in aquatic ecosystems*. New York: Oxford University Press, ISBN 019852708x.

Downing, J. (2010). Emerging global role of small lakes and ponds. Little things mean a lot. *Limnetica*, 29: 9-24.

Downing, J.A., Prairie, Y.T., Cole, J.J., Duarte, C.M., Tranvik, L.J., Striegl, R.G., McDowell, W.H., Kortelainen, P., Caraco, N.F., Melack, J.M. and Middelburg, J.J., (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography*, 51(5), 2388-2397.

- Drown, M.K., DeLiberto, A.N., Crawford, D.L., & Oleksiak, M.F. (2020) An Innovative Setup for High-Throughput Respirometry of Small Aquatic Animals. *Front. Mar. Sci.* 7:581104. doi: 10.3389/fmars.2020.581104.
- Duvert, C., Butman, D. E., Marx, A., Ribolzi, O. & Hutley, L. B. (2018). CO₂ evasion along streams driven by groundwater inputs and geomorphic controls. *Nat. Geosci.* 11, 813–818.
- Everett, M. V., & Crawford, D. L. (2010). Adaptation versus allometry: population and body mass effects on hypoxic metabolism in *Fundulus grandis*. *Physiol. Biochem. Zool.* 83, 182–190. doi: 10.1086/648482
- Fromin, N., Pinay, G., Montuelle, B., Landais, D., Ourcival, J.M., Joffre, R., & Lensi, R. (2010). Impact of seasonal sediment desiccation and rewetting on microbial processes involved in greenhouse gas emissions, *Ecohydrology* 3, 339–348.
- Gaitan-Espitia, J. D., Bruning, A., Mondaca, F., & Nespolo, R. F. (2013). Intraspecific variation in the metabolic scaling exponent in ectotherms: testing the effect of latitudinal cline, ontogeny and transgenerational change in the land snail *Cornu aspersum*. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 165, 169–177. doi: 10.1016/j.cbpa.2013.03.002
- Gnaiger, E., J. M. Shick, & Widdows, J.(1989) *Metabolic microcalorimetry and respirometry of aquatic animals. Techniques in comparative respiratory physiology: an experimental approach.* Cambridge University Press, Cambridge, 113-135.
- Guasch, H., Armengol, J., Martí, E. & Sabater, S. (1998) Diurnal variation in dissolved oxygen and carbon dioxide in two low-order streams. *Water Res.* 32, 1067–1074
- Hartman, P., Příklad, I., Štědranský, E. (1998). *Hydrobiologie.2., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, ISBN 80-86073-27-0.*
- Heiskanen, J. J., Mammarella, I., Haapanala, S., Pumpanen, J., Vesala, T., MacIntyre, S., & Ojala, A. (2014). Effects of cooling and internal wave motions on gas transfer coefficients in a boreal lake. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 66(1), 22827.
- Holgerson, M. A. (2015). Drivers of carbon dioxide and methane supersaturation in small, temporary ponds. *Biogeochemistry* 124, 305–318.
- Holgerson, M.A. and Raymond, P.A., (2016). Large contribution to inland water CO₂ and CH₄ emissions from very small ponds. *Nature Geoscience*, 9(3), 222-226.
- Hrbáček, J. (1966). *Hydrobiologie.* Praha: Univerzita Karlova v Praze
- Jirka, G. H., Herlina, H., & Niepelt, A. (2010). Gas transfer at the air–water interface: experiments with different turbulence forcing mechanisms. *Experiments in Fluids*, 49(1), 319–327. doi: 10.1007/s00348-010-0874-4

- Kankaala, P., Huotari, J., Tulonen, T. & Ojala, A. (2013). Lake-size dependent physical forcing drives carbon dioxide and methane effluxes from lakes in a boreal landscape. *Limnol. Oceanogr.* 58, 1915–1930.
- Keiper, J. B., Walton, W. E., Foote, B. A. (2002). Biology and ecology of higher Diptera from freshwater wetlands. *Annual Review of Entomology*, 47, 207-32.
- Kortelainen, P. (2006) Sediment respiration and lake trophic state are important predictors of large CO₂ evasion from small boreal lakes. *Glob. Change Biol.* 12, 1554–1567.
- Kramář, J. (1958). Fauna ČSR. Komáři bodaví-*Culicinae*. Svazek 13. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd.
- Lancaster, J., & Downes, B. J. (2013). *Aquatic Entomology*. Oxford: Oxford University Press,. ISBN 978-0-19-957321-9.
- Lee, S. C., Kim, J. H., & Lee, S. J. (2017). Floating of the lobes of mosquito (*Aedes togoi*) larva for respiration. *Scientific Reports*, 7(1). doi: 10.1038/srep43050.
- Liu, H., Zhang, Q., Katul, G. G., Cole, J. J., Chapin, F. S., & MacIntyre, S. (2016). Large CO₂ effluxes at night and during synoptic weather events significantly contribute to CO₂ emissions from a reservoir. *Environmental Research Letters*, 11(6), 064001.
- Mitsch, W. J., & Mander, Ü. (2018). Wetlands and carbon revisited. *Ecol. Eng.* 114, 1–6. doi:10.1016/j.ecoleng.2017.12.027.
- Mourek, J. (2023) Dýchací orgány členovců. *Živa.*, (3), 99-101. ISSN 0044-4812.
- Ollivier, Q. R., Maher, D. T., Pitfield, C., and Macreadie, P. I. (2019). Winter emissions of CO₂, CH₄, and N₂O from temperate agricultural dams: Fluxes, sources, and processes. *Ecosphere* 10 (11), e02914. doi:10.1002/ecs2.2914.
- Ramaswamy, V., Boucher, O., Haigh, J., Hauglustaine, D., Haywood, J., Myhre, G., Nakajima, T., Shi, G.Y., & Solomon, S., (2001). Radiative forcing of climate change in climate change 2001: the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Chapter 6, 350–416.
- Raymond, P. A. et al. (2013). Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature* 503, 355–359.
- Richardson, D.C., Holgerson, M.A., Farragher, M.J., Hoffman, K.K., King, K., Alfonso, M.B., Andersen, M.R., Cheruveil, K.S., Coleman, K.A., Farruggia, M.J. and Fernandez, R.L., (2022). A functional definition to distinguish ponds from lakes and wetlands. *Scientific reports*, 12(1), 1-13.

- Rocher-Ros, G., Sponseller, R. A., Lidberg, W., Mörth, C. & Giesler, R. (2019) Landscape process domains drive patterns of CO₂ evasion from river networks. *Limnol. Oceanogr. Lett.* 4, 87–95.
- Rudber D., Duc, N. T., Schenk, J., Sieczko, A. K., Pajala, G., Sawakuchi, H. O., et al. (2021). Diel variability of CO₂ emissions from northern lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126, e2021JG006246
- Rulík M., Weber L., Min S. & Šmíd R. (2023), CO₂ and CH₄ fluxes from inundated floodplain ponds: role of diel variability and duration of inundation. *Front. Environ. Sci.* 11:1006988. doi: 10.3389/fenvs.2023.1006988
- Schwartz, S.S., & Jenkins, D.G. (2000). Temporary aquatic habitats: constraints and opportunities. *Aquatic Ecology* 34, 3–8.
- Sobek, S., Tranvik, L. J. & Cole, J. J. (2005). Temperature independence of carbon dioxide supersaturation in global lakes. *Glob. Biogeochem. Cycles* 19, GB2003.
- Storch, D. (2010) Metabolismus a velikost těla v novém tisíciletí: Je třičtvrtinový koeficient univerzální? *Vesmír*, (89), 536-538. ISSN 0042-4544.
- Storch, D. (2020). Konec metabolické teorie? Růst je možná důležitější než metabolismus. *Vesmír*. (99), 491-492. ISSN 0042-4544.
- Sukop, I. (2008) Temporary periodical pools of the lower reaches of the Dyje (Thaya) River. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, LVI, No. 2, 181–188.
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A. & Tranvik, L. J. (2014). A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophys. Res. Lett.* 41, 6396–6402.
- Volf, P. & Horák, P. (2007). *Paraziti a jejich biologie*. Nakladatelství Triton, Praha, 318.
- Wightman J. A. (1977). Respirometry techniques for terrestrial invertebrates and their application to energetics studies, *New Zealand Journal of Zoology*, 4:4, 453-469, DOI: 10.1080/03014223.1977.9517970.
- Wilkerson, R. C., Linton, Y. M., & Strickman, D. (2021). *Mosquitoes of the World*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press, ISBN 9781421438146.