

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



# Emise metanu z aluviálních tůní: srovnání různých území

Bc. Radovan Šmíd

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



Šmíd R. 2024. Emise metanu z aluviálních tůní: srovnání různých území [diplomová práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci.

### Abstrakt

Téma zvyšujících se koncentrací skleníkových plynů v atmosféře rezonuje napříč společnostmi. Avšak jejich emisím z přírodních ekosystémů se nevěnuje tolik pozornosti, jako emisím z antropogenních zdrojů. V této diplomové práci byla řešena problematika přirozených emisí metanu z tůní ve 3 aluviálních oblastech ČR. Na celkem 25 lokalitách z oblasti Tvrdonice, Litovelské Pomoraví a Poodří byly měřeny hodnoty difúzních emisí metanu, koncentrace metanu ve vodě a vybrané fyzikálně-chemické parametry. Výzkum probíhal v roce 2022 v období od května do září. Pro zachycení variability podmínek v tůních byly všechny tůně navštíveny dvakrát během jarního a letního období. Emise byly měřeny pomocí přenosného analyzátoru skleníkových plynů Los Gatos Research Inc. Na všech lokalitách byl zjištěn pozitivní tok metanu do atmosféry. Medián celkového denního toku metanu pro všechny tůně dohromady nabýval hodnot  $0,002 \pm 0,024 \text{ mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ; mezi studovanými oblastmi však nebyly nalezeny žádné signifikantní rozdíly. Ze sledovaných fyz.-chem. parametrů signifikantně souvisely s toky metanu koncentrace fosforečnanů, pH a zastínění tůní. Práci lze nicméně považovat za primární východisko pro další studie emisí metanu z aluviálních oblastí ČR, které toto téma prohloubí a pomohou tím k celkovému lepšímu pochopení globálních emisí metanu.

**Klíčová slova:** metan, tůně, aluviální oblasti, skleníkové plyny

Smid, R. 2024: Methane emissions from alluvial pools: comparison of different areas [thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacký University of Olomouc.

#### Abstract

The issue of rising concentrations of greenhouse gases in the atmosphere resonates across society. However, their emissions from natural ecosystems do not receive as much attention as emissions from anthropogenic sources. In this thesis, the issue of natural methane emissions from pools in 3 alluvial areas of the Czech Republic was addressed. The values of diffuse methane emissions, methane concentration in water and selected physicochemical parameters were measured at a total of 25 sites in the Tvrdonice, Litovelské Pomoraví and Poodří regions. The research was conducted in 2022 in the period from May to September. To capture the variability of conditions in the pools, all pools were visited twice during the spring and summer seasons. Emissions were measured using a portable greenhouse gas analyzer from Los Gatos Research Inc. A positive flux of methane to the atmosphere was detected at all sites. The median total daily methane flux for all pools combined was  $0.002 \pm 0.024 \text{ mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ; however, no significant differences were found between the study areas. Of the phys.-chem. parameters, phosphorus, pH and pond shading were significantly related to methane fluxes. Nevertheless, the work can be considered as a primary starting point for further studies of methane emissions from alluvial areas of the Czech Republic, which will deepen this topic and thus contribute to an overall better understanding of global methane emissions.

Key words: methane, pools, alluvial areas, greenhouse gases

## Prohlášení

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

V Olomouci dne 10.5.2024

.....

Podpis

# Obsah

Seznam tabulek .....	vii
Seznam obrázků .....	viii
Poděkování .....	ix
1. Úvod.....	1
2. Cíle .....	4
3. Materiál a metody .....	5
3.1 Lokality měření .....	5
3.1.1 Litovelské Pomoraví .....	5
3.1.2 Poodří .....	6
3.1.3 Tvrdonice (soutok Moravy a Dyje).....	6
3.2 Sběr dat a metody .....	7
3.2.1 Metoda měření difúzních toků metanu .....	7
3.2.2 Metoda měření koncentrací metanu ve vodě .....	8
3.2.3 Metody stanovení fyzikálně-chemických parametrů .....	8
4. Výsledky .....	10
4.1 Fyzikálně-chemické parametry jednotlivých oblastí .....	10
4.2 Koncentrace metanu ve vodě .....	10
4.3 Denní a noční toky emisí metanu .....	11
4.4 Celkové denní toky emisí metanu .....	12
4.5 Jarní a letní toky emisí metanu.....	13
4.6 Korelace fyzikálně-chemických parametrů s celkovými denními toky CH <sub>4</sub> .....	14
5. Diskuse.....	16
6. Závěr .....	20
Seznam literatury .....	21

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Lokality Litovelské Pomoraví - celkový přehled.....	5
Tabulka 2: Lokality Poodří - celkový přehled. ....	6
Tabulka 3: Lokality Tvrdonice - celkový přehled.....	6
Tabulka 4: Přehled fyzikálně-chemických parametrů jednotlivých oblastí.....	10
Tabulka 5: Porovnání koncentrací metanu v jednotlivých oblastech.....	11
Tabulka 6: Průměrné denní a noční toky emisí metanu z jednotlivých oblastí. ....	12
Tabulka 7: Porovnání denních toků emisí metanu mezi jednotlivými oblastmi.....	13
Tabulka 8: Porovnání jarních a letních měření v jednotlivých oblastech. ....	14
Tabulka 9: Vztah mezi vybranými fyzikálně-chemické parametry a jejich hodnota p s denními emisemi metanu. ....	15

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Měření difúzních emisí metanu z tůní pomocí přenosného analyzátoru plynů Los Gatos GGA-30p a připojené plovoucí komory .....	9
Obrázek 2: Koncentrace metanu ve vodě srovnání jednotlivých oblastí. ....	11
Obrázek 3: Srovnání toků emisí metanu mezi dnem a nocí ze všech oblastí sledování dohromady. ....	12
Obrázek 4: Celkové denní toky emisí metanu u jednotlivých oblastí.....	13
Obrázek 5: Srovnání toků emisí metanu během jarních a letních měření ve všech sledovaných tůních.....	14



## Poděkování

Touto cestou bych chtěl nejvíce poděkovat mému vedoucímu práce doc. RNDr. Martinu Rulíkovi, Ph.D. za veškeré rady, poskytnuté informace a trpělivost nejen během psaní této diplomové práce, ale i v rámci celého magisterského studia hydrobiologie. Nemalé díky také patří Mgr. Lukáši Weberovi za spolupráci na výzkumu, konzultace a pomoc se zpracováním výsledků. Opomenout nemohu ani podporu od celé rodiny a mé přítelkyně, díky nimž jsem neztratil naději na dokončení studia.

## 1. Úvod

Metan ( $\text{CH}_4$ ) je druhým nejzastoupenějším skleníkovým plynem, který se podílí na oteplování atmosféry. Jeho oteplovací účinek může být až 34x větší než v případě oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) (Bižić et al., 2020). Od dob před industrializací se jeho množství v atmosféře téměř ztrojnásobilo. Avšak co přesně stojí za tak velkým nárůstem, není zcela s jistotou známo (Rosentreter et al., 2021). Spolu s ostatními skleníkovými plyny, oxidem uhličitým, oxidem dusným ( $\text{NO}_2$ ) a dalšími, jsou součástí skleníkového efektu atmosféry. Tento přirozený jev, kdy molekuly těchto plynů pohlcují infračervené záření a vyzařují ho zpět ve formě tepla, přispívá k ohřívání vrstev atmosféry Země. Vážným problémem jsou zvyšující se koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, které jsou značnou částí ovlivněny antropogenní činností člověka, a které vedou k bezprecedentnímu zvyšování teploty (Šimek, 2019). Tímto tématem se zabývá v posledních letech velká část odborných studií. Nicméně zkoumání přirozených zdrojů skleníkových plynů se nevěnovala příliš velká pozornost. Zejména pak malým sladkovodním plochám, kam můžeme zařadit periodické či stálé tůně, menší jezírka, nebo rybníky. Dle Rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES) jsou tyto malé stojaté vodní plochy definovány jako vodní útvary s plochou menší než 50 ha (Biggs et al., 2014). I přes svou relativně malou plochu oproti velkým jezerům a přehradám jsou tyto malé vodní útvary přesycené skleníkovými plyny, a představují tak důležitý zdroj přirozených emisí. Celosvětovým odhadem pokrývají malé tůně zhruba 9 % z celkové světové plochy jezer a nádrží, ale na globálních emisích metanu se podílejí 40 % (Holgerson & Raymond, 2016).

Na globálních emisích metanu (přirozených i antropogenních) se veškeré vodní plochy podílejí více než 50 %. Navíc se stoupající eutrofizací a zásahy do vodních ekosystémů je pravděpodobné, že bude v budoucnu docházet k dalšímu zvyšování emisí metanu (Rosentreter et al., 2021). Ve sladkovodních ekosystémech je zastoupení menších jezer, nádrží a tůní cca 40 %, tudíž tvoří poměrně nezanedbatelnou skupinu, podílejší se na přirozených emisích metanu. Ale toto procentuální zastoupení je potřeba podrobněji probádat. Důvodem je především dosud nedostatečně zjištěná globální početnost těchto ekosystémů a také ne zcela jednoznačně definované faktory, které mohou ovlivňovat toky metanu do atmosféry. Nedávné práce ale poukazují na to, že právě rozlohou menší sladkovodní ekosystémy mají tendenci být zdrojem více emisí metanu, než ekosystémy velké (Holgerson & Raymond, 2016; Deemer & Holgerson, 2021).

Velmi důležitým, možná i klíčovým faktorem, který podmiňuje emise metanu z vodních ekosystémů, je produktivita dané lokality, vyjadřovaná často jako koncentrace chlorofylu *a*. Nejspíše se jedná o mechanismus, kdy koncentrace chlorofylu *a* koreluje s dalšími parametry, jako je nízký obsah kyslíku a prostředí bohaté na uhlík, což často nastává v eutrofních systémech. Toto zjištění naznačuje, že zvyšování počtu eutrofizovaných světových sladkovodních ekosystémů může vést ke zvyšování globálních emisí metanu (Delsontro et al., 2018). Dle studie Westa et al. (2012) se uhlík, pocházející z autochtonní produkce, lépe transformuje na metan, než když je zdroj uhlíku alochtonní. Mezi další hlavní parametry ovlivňující toky emisí z vodních ploch do atmosféry můžeme zařadit hloubku a plochu daného vodního ekosystému. Tento faktor je spojován zejména s mělkými a malými tůněmi (Gorsky et al., 2019). V neposlední řadě je důležité zmínit i teplotní faktor, který je spojován převážně s toky emisí metanu ve formě tzv. ebulice (metan je uvolňován ve formě bublin ze sedimentů), která reaguje na zvýšení teploty intenzivněji, než difúzní toky emisí metanu (DelSontro et al., 2016). Pro správné vyhodnocení a možnost využít naměřená data pro tzv. upscaling (přepočítání menších řádů na vyšší řády, až na celosvětové odhady), je důležité určit a pochopit konkrétní parametry, které právě ovlivňují daný emisní tok metanu v sladkovodních ekosystémech (Deemer & Holgerson, 2021). Aby bylo možné následný upscaling provést, je nutné rovněž vliv těchto faktorů ověřit na větším množství lokalit a potvrdit, že mají univerzální platnost. Ideální je, pokud se jedná o podobný typ ekosystému, ale z jiných oblastí.

Odborné vědecké studie, zabývající se problematikou emisí metanu a ostatních skleníkových plynů v malých sladkovodních ekosystémech, mají často ve svých výsledcích rozdílné údaje o celkových globálních hodnotách emisí. Toto rozpětí se pohybuje od 8 do 100 Tg CH<sub>4</sub> rok<sup>-1</sup> (Bastviken et al., 2004; Walter et al., 2006; Lundin et al., 2013). Tím je zcela jistě podpořen fakt, že je důležité provádět další nová měření, nejlépe dle stanovených metodik (např. Ollivier et al., 2019; Peacock et al., 2021), aby naměřená data vykazovala jednotný formát.

Pravdou ale je, že se některé dřívější celosvětové odhady globálních emisí metanu z jezer a tůní dokonce potvrzují. Dle Bastviken et al., (2011) byl průměrný globální odhad 71,6 Tg CH<sub>4</sub> rok<sup>-1</sup>. Nedávná studie, která se zabývala celkovým modelem metanu na Zemi a vycházela z více studií došla k závěru, že průměrný globální odhad z jezer a tůní je 71 Tg CH<sub>4</sub> rok<sup>-1</sup> (Saunois et al., 2020). Tudíž je možné, že odhady globálních emisí metanu nebudou v některých případech zase tolik podhodnocené, i když ke správnému

vyhodnocení stále chybí především více přibližný odhad početnosti malých vodních ekosystémů. Autoři tohoto článku dále uvádějí i celkový podíl antropogenních a přirozených emisí metanu. Větší část dle nich zaujímají antropogenní emise metanu v průměru 60 % (rozpětí 50-70 %). Ale přímo proti tomuto odhadu jde studie od Rosentreter et al., (2021), kteří predikují, že emise pouze ze sladkovodních ekosystémů se podílí průměrně 53 % na celkových globálních emisích metanu z antropogenních a přirozených zdrojů. Na konkrétní a přesné podíly antropogenních a přirozených emisí si budeme muset ještě pár výzkumů počkat, ale zajisté se bude toto téma každou další správně provedenou studií přibližovat k reálným hodnotám emisí.

## 2. Cíle

Cílem mé diplomové práce je získat a porovnat data o difúzních tocích metanu ( $\text{CH}_4$ ) z hladiny periodických i stálých aluviálních tůní, které se nacházejí v oblasti Litovelského Pomoraví, Poodří a v blízkosti soutoku Dyje a Moravy.

Dalším dílčím cílem je určit vliv jednotlivých fyzikálně-chemických parametrů a pokusit se rozklíčovat vztahy mezi těmito parametry a toky metanu z povrchu tůní do atmosféry.

### 3. Materiál a metody

#### 3.1 Lokality měření

Všechna prováděná měření emisí metanu v této diplomové práci probíhala ve 3 geograficky odlišných oblastech České republiky. Jednalo se o lokality podobných přírodních hodnot, především aluviálních oblastí větších řek.

##### 3.1.1 Litovelské Pomoraví

První oblastí měření byla CHKO Litovelské Pomoraví a přilehlé oblasti u této chráněné krajiny. Zachovalé aluviální plochy se rozprostírají v údolní nivě řeky Moravy mezi městy Olomouc, Litovel, Mohelnice. Významným krajinným prvkem této oblasti je vznik tzv. vnitrozemské říční delty, což je útvar řeky, která se několikrát rozdělí na postranní říční větve a meandry. Toto území je závislé na periodicky protékajících ramenech, které jsou napájeny především při jarním tání sněhu (přelivem, nebo průsakem). Právě zde se nachází celá řada postranních aluviálních prohlubní, které se zaplavují vodou a vytváří tak periodické tůně (Šafář, 2003).

Přímo v CHKO Litovelské Pomoraví byly vybrány 4 tůně. Zbýlých 6 tůní se nacházelo v těsné blízkosti CHKO v okolí obce Horka nad Moravou. Tůně mimo CHKO byly vytvořeny člověkem uměle, sloužící jako prvek k retenci vody v krajině, či k podpoře biodiverzity (Tab. 1).

*Tabulka 1: Lokality Litovelské Pomoraví - celkový přehled.*

název	souřadnice	typ	plocha [ø m2] <sup>a</sup>
Plačkov	49.6803536N, 17.1578364E	přírodní	1800
Štěpánov	49.6701286N, 17.1925281E	přírodní	500
Bažinka 1	49.6436594N, 17.1950442E	umělá	350
Bažinka 2	49.6436108N, 17.1946686E	umělá	450
Sluňákov 1	49.6410836N, 17.2015269E	umělá	47.5
Sluňákov 2	49.6407067N, 17.2022189E	umělá	17.5
Sluňákov 3	49.6409014N, 17.2018381E	umělá	245
Sluňákov 4	49.6409864N, 17.2023317E	umělá	70
Plané loučky 1	49.6243117N, 17.2306825E	přírodní	900
Plané loučky 2	49.6218878N, 17.2316536E	přírodní	300

<sup>a</sup> v případě vyschnutí uvedena pouze plocha ve zvodněném stavu

### 3.1.2 Poodří

Další oblastí, kde probíhala měření, byla CHKO Poodří. V tomto poměrně dobře zachovalém území mezi Ostravou a Mankovicemi dominuje řeka Odry, která zde přirozeně meandruje a umožnila vznik sítě starých ramen a periodicky zaplavovaných tůň, mokřadů, lužních lesů a aluviálních luk. Proces přirozené tvorby meandrů je zde zvláště dobře zachován, a zejména při víceletých vodách je zde posun velmi patrný (Chytil et al., 1999).

Pro tuto diplomovou práci bylo vybráno 5 tůň, z nichž 3 se nacházely v těsné blízkosti řeky Odry a 2 u PR Bařiny (Tab. 2).

*Tabulka 2: Lokality Poodří - celkový přehled.*

název	souřadnice	typ	plocha [ø m2] <sup>a</sup>
Suchdol 1	49.6397931N, 17.9567619E	přírodní	150
Suchdol 2	49.6337217N, 17.9535350E	přírodní	500
Suchdol 3	49.6342497N, 17.9519203E	přírodní	350
Suchdol 4	49.6388208N, 17.9531994E	přírodní	70
Suchdol 5	49.6388764N, 17.9533389E	přírodní	60

<sup>a</sup> v případě vyschnutí uvedena pouze plocha ve zvodněném stavu

### 3.1.3 Tvrdonice (soutok Moravy a Dyje)

Poslední oblast, ve které probíhalo měření metanu z tůň, se nachází zhruba 8 km severně poblíž zatím neoficiální chráněné oblasti „Soutok“ mezi řekami Moravou a Dyjí. Vybraná oblast u obce Tvrdonice se vyskytuje mezi řekami Kyjovka a Morava, navíc tudy protéká říčka Kopanice. Celé území je propleteno soustavou umělých zátopových kanálů, které slouží k regulaci zátopy přilehlého lesa. Poblíž se nachází i PR Stibůrkovská jezera, což jsou bývalé meandry řeky Kyjovky.

Z této lokality jsme vybrali celkem 10 tůň. Většinu z nich zastupují už velmi minimálně používané zátopové kanály, tudíž se jedná o uměle vytvořené, převážně stojaté tůně. Tři ze zkoumaných vodních ploch jsou zhruba tři roky nově vybudované luční tůně (Tab.3).

*Tabulka 3: Lokality Tvrdonice - celkový přehled.*

název	souřadnice	typ	plocha [ø m2] <sup>a</sup>
Tvrdonice 1	48.7531306N, 17.0036456E	přírodní	575
Tvrdonice 2	48.7469064N, 17.0049653E	umělé kanály	1200
Tvrdonice 3	48.7408547N, 17.0087822E	umělé kanály	400

Tvrdonice 4	48.7364325N, 17.0019639E	umělá luční	1200
Tvrdonice 5	48.7361636N, 17.0031442E	umělá luční	1300
Tvrdonice 6	48.7328147N, 17.0016422E	umělá luční	850
Tvrdonice 7	48.7419706N, 17.0161303E	umělé kanály	500
Tvrdonice 8	48.7542092N, 17.0314294E	umělé kanály	9750
Tvrdonice 9	48.7601933N, 17.0192844E	umělé kanály	2750
Tvrdonice 10	48.7604019N, 17.0132736E	umělé kanály	3400

<sup>a</sup> v případě vyschnutí uvedena pouze plocha ve zvodněném stavu

### 3.2 Sběr dat a metody

Jak je již uvedeno výše, celkově jsme pro tuto diplomovou práci vybrali ze třech různých území České republiky 25 tůň. Jednalo se jak o přírodní tůň z aluviálních oblastí velkých řek, tak o tůň uměle vytvořenou, např. v okolí Horky nad Moravou (Sluňákov, Bažinka).

Sběr dat jsme rozdělili do dvou období roku a to jarního (květen-červen) a letního (srpen-září) z důvodu postihnutí roční dynamiky tůň a tím i větší variability dat. První měření proběhlo v období od 23.5.2022 do 3.6.2022 v následujícím pořadí: Tvrdonice-Litovelské Pomoraví-Poodří. Letní měření metanu proběhlo v rozmezí od 22.8.2022 do 18.9.2022 v pořadí: Tvrdonice-Poodří-Litovelské Pomoraví.

#### 3.2.1 Metoda měření difúzních toků metanu

Na každé lokalitě jsme měřili vždy denní (10:00-16:00) a noční (22:00-03:00) hodnoty difúzního toku emisí metanu, každé měření jako triplikát. Toky i koncentrace metanu byly měřeny pomocí přenosného analyzátoru skleníkových plynů od společnosti Los Gatos Research Inc. (LGR) (Obr. 1). Tento přístroj fungoval na základě laserovo-kruhové spektroskopie (Wilkinson et al., 2019). K tomuto přístroji byla pomocí příváděcích a odváděcích odolných, plynotěsných, 10 m hadiček připojena plovoucí komora vyrobená z otočeného neprůhledného plastového kyblíku o objemu 3050 ml s plochou 0,02 m<sup>2</sup> a vnitřním průměrem 17,5 cm. Cirkulace vzduchu v plynové komoře byla zajištěna pomocí vnitřního čerpadla analyzátoru. Komora se pokládala opatrně na vodní hladinu tůň nebo mezi vodní rostliny tak, aby se minimalizovalo zkreslení hodnot, na dobu cca 250 vteřin, přičemž každou sekundu docházelo k měření koncentrace CH<sub>4</sub> ve vzduchu plynové komory.

Pro vizualizaci dat a kontrolu správnosti měření sloužilo připojené zařízení, např. tablet, mobilní telefon, notebook k analyzátoru plynů. Koncentrace metanu se za difúzních podmínek v průběhu času lineárně zvyšovali; při zjištění skokového nárůstu



emisí vlivem ebulice bylo potřeba komoru odvětrat a znovu zopakovat celý postup, aby bylo možné měřit pouze difúzní tok. Toky metanu do atmosféry byly vypočteny ze sklonu lineárních regresí koncentrací difúzních toků v komoře v závislosti na čase:

$$F = [s \cdot (V_{ch}/RTA_{ch})] t \quad (1)$$

kde  $F$  představuje difúzní toky plynu z vodní hladiny do atmosféry,  $s$  značí sklon změny koncentrace plynu v komoře v čase (ppm/s),  $V_{ch}$  je objem komory ( $m^3$ ),  $R$  je univerzální plynová konstanta ( $8.2 \times 10^{-5} m^3 atm K^{-1} mol^{-1}$ ),  $T$  je teplota v komoře (K),  $A_{ch}$  je plocha komory ( $m^2$ ) a  $t$  představuje převod z vteřin na hodiny  $\mu mol$  na  $mol m^{-2} h^{-1}$ . Při výpočtech byl zohledněn také objem přívodných a odvodných hadiček. Celkový tok plynů byl vyjádřen pro každou tůň zvlášť v  $mmol m^{-2} d^{-1}$ , kdy kladné toky odpovídaly odtoku metanu do atmosféry. Denní a noční hodnoty byly vypočteny jako naměřené emise za hodinu vynásobené délkou dne a noci, příslušné danému kalendářnímu dni. Rozdíly mezi dnem a nocí (noční hodnoty emisí  $CH_4$  – denní hodnoty emisí  $CH_4$ ) byly vypočteny pro 24 hodinové období.

### 3.2.2 Metoda měření koncentrací metanu ve vodě

Z každé lokality byly odebrány vzorky vod pro stanovení koncentrací rozpuštěného metanu a také pro detailnější chemickou analýzu. Vzorky pro zjištění daných koncentrací metanu ve vodě se získávaly pomocí techniky headspace extrakce (Drozd & Novák, 1979). Vzorky se odebíraly z hloubky 5-10 cm do 3 x 45 ml skleněných vialek, které byly zajištěny nepropustným víčkem a zakonzervovány chladem ( $10\text{ }^\circ\text{C}$ ) do doby laboratorního měření. Stanovení koncentrací rozpuštěného metanu probíhalo vytvořením „umělého vzduchu“ - 15 ml prostoru v lahvičkách dodáním  $N_2$ , lahvička se poté po dobu 60 vteřin protřepávala, aby se vyrovnala koncentrace plynu mezi volným prostorem a vodou. Pomocí injekční stříkačky se odebralo 1 ml vzorku plynu a vstříkl se do uzavřeného oběhového systému analyzátoru plynů Los Gatos GGA-30p (Los Gatos Research Inc., CA, USA). Efektivní objem oběhového systému byl vypočten podle příručky LI-COR (LI-COR Inc., 2020) s použitím kalibračního plynu. Parciální tlaky plynů byly přepočítány na koncentrace ve vodě ( $\mu mol L^{-1}$ ) pomocí Henryho konstanty, teploty vody a naměřených parciálních tlaků plynů ve vzduchu.

### 3.2.3 Metody stanovení fyzikálně-chemických parametrů

Ke zjištění jednotlivých fyzikálně-chemických parametrů tůní bylo použito různých měřících zařízení. V případě pH (pHep+ HI98108), u konduktivity (DiST 3 EC/TDS

HI98303), při měření rozpuštěného kyslíku a teploty (Oxy 70 Vio s optickou sondou LDO70/2MT) a turbidity (TB 210 IR). Pro stanovení chlorofylu *a* jsme použili od 150 ml do 700 ml objemu přefiltrované vody (filtry s porositou 0,45  $\mu\text{m}$ , průměr 2,5 cm) s následnou extrakcí chlorofylu aethanolovou metodou. K měření absorbance při vlnové délce  $665 \pm 1$  nm byl použit spektrofotometr CECIL CE 9500. Stanovení pokryvu makrofyt a zastínění jednotlivých lokalit probíhalo vizuálním odhadem – výsledná hodnota byla uvedena v procentech.

K chemickým analýzám byl vzorek vody přefiltrován (síto s porositou 150  $\mu\text{m}$ , filtry Whatman GF/F) a zakonzervován mrazem. Následně byly pomocí přístroje Sykam S-150 Ion Chromatography měřeny koncentrace iontů  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  v jednotkách  $\text{mgL}^{-1}$ .

Statistické vyhodnocení rozdílů mezi jednotlivými oblastmi bylo provedeno pomocí dvouvýběrového t-testu, ANOVy a boxplotu. Pro zjištění prediktorů naměřených fyzikálně-chemických parametrů s toky emisí  $\text{CH}_4$  byla použita lineární regrese a mnohorozměrná analýza (CCA nebo RDA). Statistické analýzy byly provedeny v programu Excel a Rstudio 2023.06.1 build 524 (R Core Team, 2021).



*Obrázek 1: Měření difúzních emisí metanu z tůní pomocí přenosného analyzátoru plynů Los Gatos GGA-30p a připojené plovoucí komory  
Zdroj: R. Šmíd, 2022*

## 4. Výsledky

### 4.1 Fyzikálně-chemické parametry jednotlivých oblastí

Na každé lokalitě probíhalo zároveň s měřením emisí i zjišťování hodnot vybraných fyzikálně-chemických parametrů daných tůní. Jejich přehled zobrazuje Tabulka 4. Tůně se ve vybraných oblastech signifikantně lišily svými parametry. V Litovelském Pomoraví byla naměřena nejvyšší koncentrace iontů  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a také to byla oblast s nejvyšší průměrnou konduktivitou. Oblast Poodří zase vykazovala nejvyšší koncentrace fosforečnanů a chlorofylu.

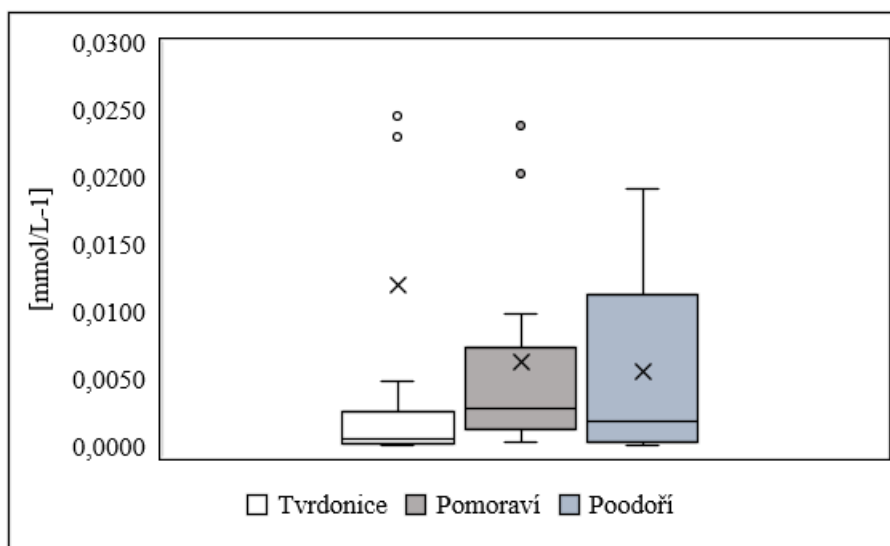
*Tabulka 4: Přehled fyzikálně-chemických parametrů jednotlivých oblastí. Tučně zvýrazněné hodnoty jsou signifikantně rozdílné hodnoty jednotlivých parametrů statisticky zhodnocené testem ANOVA.*

	Tvrdonice	Litovelské Pomoraví	Poodří	ANOVA
Parametr	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Průměr ± SD	P
plocha [m <sup>2</sup> ]	2192,50 ± 2692,13	450,59 ± 545,22	226 ± 172,12	<b>0,00</b>
zastínění [%]	34,00 ± 29,73	52,35 ± 30,20	75,00 ± 35,85	<b>0,00</b>
makrofyta [%]	62,50 ± 36,18	75,29 ± 26,81	25,00 ± 35,28	<b>0,00</b>
pH	7,70 ± 0,36	7,69 ± 0,28	7,54 ± 0,20	0,14
konduktivita	446,92 ± 56,05	898,76 ± 418,20	389,20 ± 74,24	<b>0,00</b>
O <sub>2</sub> [mg/l]	6,65 ± 3,90	5,24 ± 4,82	3,07 ± 1,30	<b>0,006</b>
t [°C]	22,12 ± 4,47	14,37 ± 2,58	17,75 ± 1,26	<b>0,00</b>
turbidita	43,39 ± 48,43	27,48 ± 40,29	23,92 ± 31,36	0,16
F <sup>-</sup> [mg/l]	0,19 ± 0,06	0,23 ± 0,11	0,12 ± 0,03	<b>0,00</b>
Cl <sup>-</sup> [mg/l]	37,10 ± 9,97	89,73 ± 51,10	22,47 ± 9,64	<b>0,00</b>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,04 ± 0,13	<b>0,02</b>
Br <sup>-</sup> [mg/l]	0,02 ± 0,03	0,01 ± 0,04	0,01 ± 0,02	0,51
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	0,26 ± 0,58	0,44 ± 1,21	5,38 ± 8,94	<b>0,00</b>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg/l]	0,41 ± 1,10	0,85 ± 1,05	1,30 ± 1,64	<b>0,03</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	55,19 ± 46,18	94,45 ± 139,14	40,91 ± 29,58	0,07
chlorofyl [ug/l]	43,51 ± 51,98	44,88 ± 47,69	87,99 ± 222,81	0,32
n	20	20	10	-

### 4.2 Koncentrace metanu ve vodě

Všechny tůně napříč studovanými oblastmi byly přesyceny metanem, v případě naměřených koncentrací metanu ( $\text{mmol L}^{-1} \text{CH}_4$ ) ve vodách tůní však nebyly mezi zkoumanými oblastmi zjištěny žádné signifikantní rozdíly ( $p > 0,05$ ) (Obrázek 2, Tab.

5). Medián koncentrace metanu v oblasti Tvrdonic byl 0,0005 (Q1 = 0,0002, Q3 = 0,0023) mmol L<sup>-1</sup>. Na lokalitách v Litovelském Pomoraví byla zjištěna nejvyšší hodnota mediánu - 0,0028 (Q1 = 0,0014, Q3 = 0,0069) mmol L<sup>-1</sup>, v Poodří pak byla hodnota mediánu koncentrace metanu 0,0018 (Q1 = 0,0003, Q3 = 0,0094 mmol L<sup>-1</sup>),



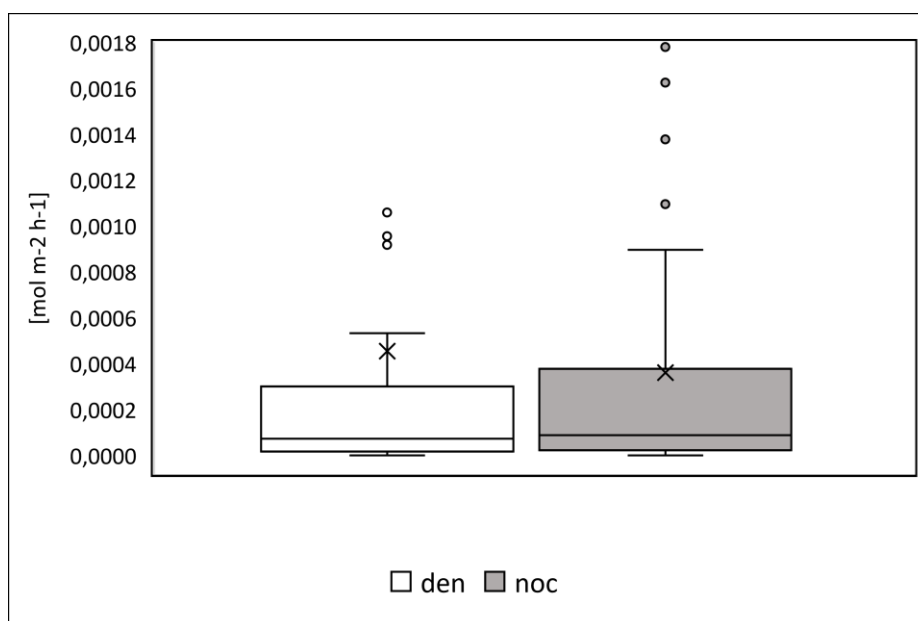
Obrázek 2: Koncentrace metanu ve vodě srovnání jednotlivých oblastí. Horizontální příčky uvnitř boxů značí mediány daných hodnot. Chybové úsečky značí rozsahy intervalů naměřených dat. Průměr je stanoven křížkem. Jednotlivé body představují odlehlé hodnoty.

Tabulka 5: Porovnání koncentrací metanu v jednotlivých oblastech.

	Tvrdonice x Litovelské Pomoraví	Litovelské Pomoraví x Poodří	Poodří x Tvrdonice
Dvouvýběrový T-test (p)	0,23	0,37	0,26
ANOVA (p)	0,61		

### 4.3 Denní a noční toky emisí metanu

Během noční fáze docházelo ke zvyšování emisí metanu ve všech oblastech, nicméně mezi denními a nočními emisemi metanu všech oblastí nebyly zjištěny signifikantní rozdíly ( $p > 0,05$ ) (Obrázek 3). Při porovnání denních a nočních emisí v jednotlivých oblastech se ukázalo, že v oblasti Tvrdonic i Poodří dokonce převládaly denní toky emisí nad nočními, ale ani tento rozdíl nebyl signifikantní ( $p > 0,05$ ) (Tab. 6).



Obrázek 3: Srovnání toků emisí metanu mezi dnem a nocí ze všech oblastí sledování dohromady. Horizontální přímkou uvnitř boxů značí mediány daných hodnot. Chybové úsečky značí rozsahy intervalů naměřených dat. Průměr je stanoven křížkem. Jednotlivé body představují odlehlé hodnoty.

Tabulka 6: Průměrné denní a noční toky emisí metanu z jednotlivých oblastí.

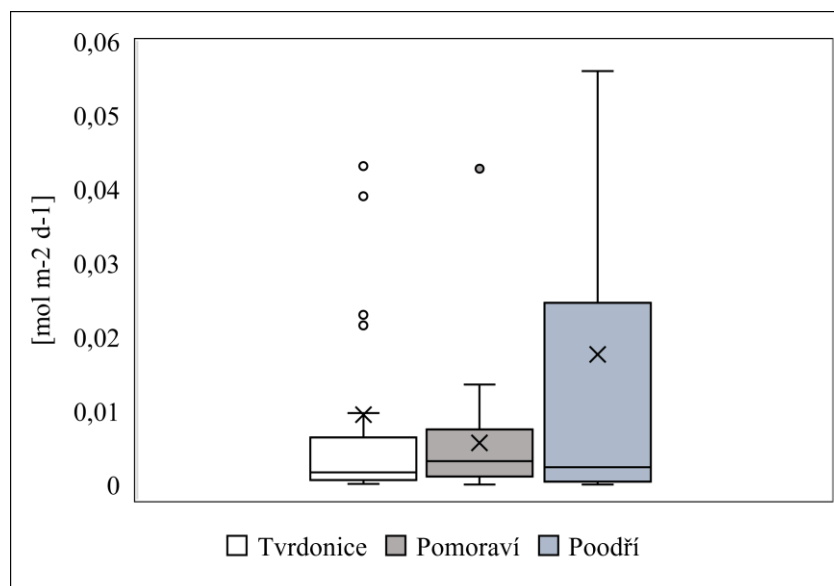
Oblast	Tvrdonice	Litovelské Pomoraví	Poodří
Parametr	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Průměr ± SD
CH <sub>4</sub> denní tok [mol m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	0,0005 ± 0,0015	0,0002 ± 0,0002	0,0009 ± 0,0017
CH <sub>4</sub> noční tok [mol m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	0,0003 ± 0,0005	0,0003 ± 0,0004	0,0006 ± 0,0008
Dvouvýběrový T-test (p)	0,29	0,11	0,34

#### 4.4 Celkové denní toky emisí metanu

V oblasti Tvrdonic byly všechny tůně čistými zdroji emisí metanu do atmosféry – medián denního toku byl 0,0016 (Q1 = 0,0007, Q3 = 0,0063) mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). V oblasti Litovelského Pomoraví nebyly 3 tůně během opakujících se měření zdrojem emisí, ale i tak byla většina tůň čistými emitenty metanu a vykazovaly nejvyšší medián denních toků metanu (Q1 = 0,0013, medián = 0,0031, Q3 = 0,0072 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). V oblasti Poodří pouze jedna tůň

v průběhu měření neemitovala do atmosféry metan, medián byl 0,0023 (Q1 = 0,0004, Q3 = 0,0229) mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

Celkové čisté denní toky metanu mezi sledovanými oblastmi se významně nelišily ( $p > 0,05$ ) (Obrázek 4). Při porovnání jednotlivých oblastí dvouvýběrovým T-testem byl rozdíl u oblastí Litovelského Pomoraví a Poodří významný ( $p < 0,05$ ), ale žádné další oblasti nevykazovaly významný rozdíl (Tab.7).



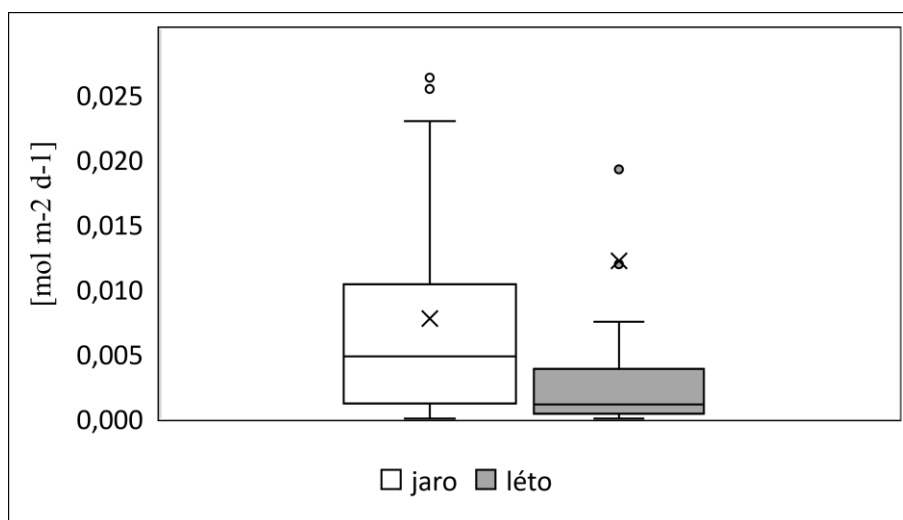
Obrázek 4: Celkové denní toky emisí metanu u jednotlivých oblastí. Horizontální přímky uvnitř boxů značí mediány daných hodnot. Chybové úsečky značí rozsahy intervalů naměřených dat. Průměr je stanoven křížkem. Jednotlivé body představují odlehle hodnoty.

Tabulka 7: Porovnání denních toků emisí metanu mezi jednotlivými oblastmi.

	Tvrdonice x Litovelské Pomoraví	Litovelské Pomoraví x Poodří	Poodří x Tvrdonice
Dvouvýběrový T-test (p)	0,22	<b>0,024</b>	0,16
ANOVA (p)		0,21	

#### 4.5 Jarní a letní toky emisí metanu

Při porovnání jarních a letních měření emisí metanu byl zjištěn významný rozdíl pouze v oblasti Pomoraví ( $p < 0,05$ ), zatímco ostatní oblasti významný rozdíl mezi měřeními během jara a léta nevykazovaly (Tab. 8). Při srovnání všech jarních a letních měření se nevyskytl žádný významný rozdíl (Obrázek 5).



Obrázek 5: Srovnání toků emisí metanu během jarních a letních měření ve všech sledovaných tůních. Horizontální přímkou uvnitř boxů značí mediány daných hodnot. Chybové úsečky značí rozsahy intervalů naměřených dat. Průměr je stanoven křížkem. Jednotlivé body představují odlehlé hodnoty.

Tabulka 8: Porovnání jarních a letních měření v jednotlivých oblastech.

	Tvrdonice	Litovelské Pomoraví	Poodří
jaro x léto; Dvouvýběrový T- test (p)	0,16	<b>0,03</b>	0,27
jaro x léto, všechny tůně; Dvouvýběrový T- test (p)		0,26	

#### 4.6 Korelace fyzikálně-chemických parametrů s celkovými denními toky $CH_4$

Denní emise metanu vykazovaly napříč sledovanými oblastmi jen velmi málo signifikantních vztahů s vybranými faktory prostředí. Statisticky nejvýznamnější vztah byl po analýze zjištěn mezi emisemi metanu a hodnotami pH,  $PO_4^{3-}$  a zastíněním (Tab. 9).

*Tabulka 9: Vztah mezi vybranými fyzikálně-chemickými parametry a jejich hodnotami s denními emisemi metanu.*

	Plocha (m <sup>2</sup> )	pH	O <sub>2</sub> (mg/L)	Zastínění (%)	Chlorofyl (ug/L)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)
Průměr± SD	1144,04 ± 2004,73	7,67 ± 0,31	5,38 ± 4,13	49,36 ± 34,97	53,47 ± 113,39	0,76 ± 1,27	66,35 ± 92,59
Min. hodnota	15	8,32	0,24	0	0	0	0,82
Max. hodnota	10 000	7,05	16,33	100	756,33	4,38	499,58
Korelační koeficient (p)	0,36	<b>0,001</b>	0,03	<b>0,003</b>	0,49	<b>0,00</b>	0,04



## 5. Diskuse

Výsledky mé diplomové práce jsou obecně srovnatelné s výsledky jiných studií. Naše výsledky z tůní ve vybraných oblastech ČR dosahovaly průměrných hodnot  $156,59 \pm 385,16 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ den}^{-1}$ . Při přepočítání na hodnoty emisí za rok (předpokládáme cca 7 měsíců ve zvodnělém stavu) by pak tůně v oblastech Tvrdonic, Litovelského Pomoraví a Poodří uvolňovaly v průměru  $33,51 \pm 82,42 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ . Téměř sto tůní ze 7 evropských států mělo rozsah toku emisí metanu mezi  $0,1-44,3 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ , tedy hodnoty srovnatelné s našimi odhady (Peacock et al. 2021).

Jelikož dochází k mírnému nárůstu počtu vědeckých prací, které se zabývají emisemi metanu z tůní po celém světě, můžeme díky tomu porovnat naše výsledky s výsledky zjištěnými na tůních z jiných zeměpisných šířek, např. oligotrofní tůně Aljašky, nebo tůně s bobří aktivitou v Kanadě. Ve studiích od DelSontro et al. (2016) a Vizza et al. (2022) produkují tůně na Aljašce emise metanu s mediánem  $0,64$  a rozptylem kvartilů  $0,086-1,3 \text{ mmol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Při měření tůní v kanadském Québecu autoři naměřili průměrně  $4,2 \text{ mmol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Oproti tomu hodnoty emisí metanu z tůní v této diplomové práci dosahovaly v průměru hodnot  $9,79 \text{ mmol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , mediánu  $2,06$  a rozptylu kvartilů  $0,52-7,30 \text{ mmol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Rozdíl ve srovnání s Aljašskými tůněmi není tolik překvapivý, jelikož se jedná o tůně dobře prokysličené, s málo živinami. Na rozdíl od Aljašky, kanadské tůně byly v podobných zeměpisných šířkách jako tůně v oblastech ČR, ve kterých jsme ale naměřili dvakrát vyšší difúzní emise metanu z povrchu tůní.

Další oblastí, kde se zcela neshodují jednotlivé vědecké články, zabývající se problematikou přirozených skleníkových plynů z malých sladkovodních ekosystémů, jsou prediktory toku těchto plynů do ovzduší. Několik studií poukazuje na to, že výrazným prediktorem, se kterým se pojí zvyšující se emise metanu, je nárůst teploty. To by v době probíhající klimatické změny Země mohlo mít značný vliv na emise metanu (Yvon-Durocher et al., 2014; DelSontro et al., 2016). U tůní v této práci ale žádný signifikantní vztah mezi teplotou a emisemi metanu zjištěn nebyl. Je to možná dáno tím, že naměřené teplotní hodnoty nevykazovaly dostatečně velkou variabilitu a některé jarní teploty byly srovnatelné s těmi letními.

Významným prediktorem pro emise metanu z tůní může být dále produktivita daných tůní. Podobně jako v jiných výzkumech (Zhang et al., 2021; Rabaey & Cotner, 2022) se jako signifikantní parametr ovlivňující emise metanu v měřených tůních Tvrdonic, Litovelského Pomoraví a Poodří ukázal fosfor (v tomto případě ve formě  $\text{PO}_4^-$

<sup>3</sup>). Cesty vstupu fosforu do vod jsou buď přirozenou cestou vyluhováním, rozpouštěním některých minerálů, hornin nebo antropogenní skrze odpadní vody, hnojiva. Mělké, vysoce produktivní tůně s vyššími koncentracemi fosforu tak nejspíše přispívají metanem do atmosféry mnohem více než jezera čistá. Vzhledem ke stále častějšímu výskytu eutrofizace vodních ekosystémů to představuje značný problém. S tímto faktem je navíc spojen i únik metanu ze sedimentu do atmosféry v podobě bublin. V některých oblastech by se mohlo dokonce jednat o klíčovou cestu metanu do atmosféry. Např. Bednařík et al. (2024) poukazuje ve své studii na to, že v pomalých, nížinných tocích s homogenními sedimenty je ebulice velmi podstatnou cestou úniku metanu do atmosféry. Tato forma úniku metanu je však opět závislá na několika dalších faktorech, jako jsou teplota, hloubka vody a rychlost proudění. Proto je vhodné při provádění terénních experimentů měřit jak difúzní emise, tak ebulici (Vizza et al., 2022). Tito autoři měřili v tůních ve Wisconsinu, USA jak difúzní emise, tak ebulici. Při porovnání difúzních emisí s touto prací naměřili emise metanu v rozmezí od 0,012 do 0,054 mmol CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, oproti výsledkům v této studii s rozmezím od 0 do 0,169 mmol CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Především se však zabývali ebulicí, jejíž výskyt spojovali s vysokou mírou metanogeneze a také hloubkou, kde vodní sloupec < 6 m byl bohatý na výskyt ebulice. Ovšem i sami autoři uvádí fakt, že ebulici je poměrně náročné predikovat, a to díky její prostorově-časové heterogenitě. I přes to uvádí, že jde o jeden ze signifikantních zdrojů emisí metanu a zaslouží si být nadále studován. Výsledky studie od Sørensen et al. (2024) také naznačují výrazný nárůst emisí metanu formou ebulice, a to zejména při vyšších teplotách sedimentu v průběhu letní sezóny. I během zimních měření však nabývala ebulice vyšších hodnot ve srovnání s difúzními emisemi metanu.

Další podstatný argument, proč se zabývat ebulicí, přichází s globální změnou klimatu. Kontrolovaný, celoroční experiment od Aben et al. (2017) dokázal, že zvýšení teploty o 4 °C vede k zhruba 50% nárůstu celkové roční ebulice, zatímco difúze ovlivněna není. Tudiž s celosvětově se zvyšující teplotou se nejspíše zvýší i emise metanu ze sladkovodních ekosystémů. Na důležitost tématu malých vodních ekosystémů poukazuje i studie od Wika et al., (2016), kteří se zabývali otázkou spojenou s klimatickou změnou a její vlivem na nárůst teploty a rozmrzání věčně zamrzlé půdy, mobilizaci labilního uhlíku a oteplení vnitrozemských vod. V poslední době se ukazuje, že právě přísun sluneční energie na severská (severně od 50° N) jezírka a tůně je velmi podstatný a zvyšuje mikrobiální produktivitu, která se odráží ve zvyšujících se emisích. Malé vodní ekosystémy ve vysokých zeměpisných šířkách mají většinou menší plochu a jsou mělké.

Tyto jsou tak více náchylné k rychlejšímu oteplení. Pro přesnější hodnocení a odhady bude potřeba zlepšit naše znalosti o tocích metanu napříč různými geografickými oblastmi a morfologickými vlastnostmi tůní.

Plocha tůní je jedním z klíčových faktorů, který ovlivňuje toky metanu do atmosféry, protože s klesající velikostí plochy tůní stoupají emise metanu. Tyto malé tůně jsou spojovány s rysy, jako je např. větší mělkost, tendence k anoxii, vyšší poměr sedimentů k objemu vody a tím téměř přímé spojení s rozhraním voda-vzduch (Rasilo et al., 2015). Ovšem v naší studii nevykazovaly emise metanu žádné signifikantní vztahy s velikostí daných tůní. Je možné, že tento výsledek souvisí s nedostatečným počtem sledovaných tůní, a s ním spojenou proměnlivostí ve velikosti tůní.

V této práci bych neměl opomenout diurnální dynamiku metanu, tedy to, jak je metan vázán na denní a noční dobu. Oproti poměrně známému toku oxidu uhličitého, který je přes den vázán fotosyntézou a v noci vypouštěn dýcháním, a má tudíž většinou vyšší difúzní emise v noci, je u metanu tato dynamika poměrně málo probádaná a ne tolik známá. Obdobný princip jako v mé práci, kde u dvou oblastí docházelo k vyšším difúzním emisím metanu během dne, i když ne signifikantním, můžeme nalézt např. ve studii Sieczko et al. (2020). Zde byly maximální emise metanu zaznamenávány mezi 10:00 – 16:00 a zároveň byly v průměru 2,4x vyšší, než během noční fáze. Mimo diurnální fázi je nutné při výběru experimentu dbát i na variabilitu během roku. Maximální hodnoty emisí metanu v mokřadech během léta byly 2-3 x vyšší než během nejvyšších zimních měření, ale ani ty nejsou zanedbatelné a tvoří podstatnou část celkového ročního toku emisí metanu (Morin et al., 2014).

Celá tato práce byla zaměřena na srovnání různých území, ale obdobných záplavových ekosystémů velkých řek České republiky. Proto není až tak překvapivým výsledkem to, že i když náleží jiným zeměpisným šířkám a liší se v několika fyzikálně-chemických parametrech, zkoumané oblasti se zásadně nelišily mezi sebou z pohledu denních emisí metanu. Výjimku představuje Litovelské Pomoraví a Poodří, kde je pravděpodobně důvodem právě signifikantní rozdíl ve fyzikálně-chemických parametrech, přesněji řečeno u konduktivity, iontů  $\text{Cl}^-$  a  $\text{SO}_4^{2-}$ , jejichž hodnoty jsou výrazně vyšší v oblasti Litovelského Pomoraví. U Poodří je naopak značně zvýšený objem chlorofylu a iontů  $\text{PO}_4^{3-}$ . I přes tyto statisticky ověřené odchylky fyzikálně-chemických parametrů jednotlivých oblastí nenalezneme téměř žádné zásadní výkyvy v emisích metanu, až na výše zmíněnou dvojici lokalit.

K potvrzení, že se oblasti opravdu významně liší v difúzních emisích metanu, a že zjištěné vztahy mezi emisemi metanu a vybranými environmentálními faktory mají trvalou platnost, by však bylo potřeba terénní měření zopakovat a zintenzivnit počet návštěv i vlastních měření, zejména během dalších ročních období. Co však tato studie může potvrdit je fakt, že v aluviálních oblastech se nachází nespočet malých sladkovodních ploch, které se významně podílejí na emisích metanu a neměly by se opomíjet v diskuzích o emisích metanu v přírodě.

## 6. Závěr

Navzdory různým studiím je téma toku emisí z malých vodních ekosystémů, jako jsou jezírka, tůně, mokřady a další, stále dosud ne zcela vyřešeným problémem. Poukázat na tuto problematiku se snaží čím dál tím větší část vědeckých studií zaměřených na limnologii či hydrochemii. Nicméně k zodpovězení všech otázek a hlavně k dosažení správného odhadu celkového globálního toku metanu je třeba pokračovat v měřeních a především nezapomínat, že mezi velkými jezery, přehradami či rybníky jsou tu i tyto malé vodní plochy.

Touto diplomovou prací jsem chtěl hlavně poukázat na důležitost tůní, jakožto součást vnitrozemských sladkovodních ploch, které i přes svou malou velikost a někdy krátkodobé zvodnění jsou podstatnou složkou v tocích emisí metanu a dalších skleníkových plynů do atmosféry. I když jsem se v této práci zabýval především difúzními emisemi z hladiny tůní do atmosféry, nemělo by se opomínat i měření zabývající se únikem metanu ve formě bublin, které, jak je známo z mnoha studií, může mít i hlavní roli na emisích metanu z tůní. Tato práce může posloužit jako primární zdroj informací o difúzních emisích metanu, a jeho koncentracích ve vodě tůní z různých aluviálních oblastí ČR.

Zcela jistě existují další faktory, které nejsou součástí měření v této diplomové práci, nicméně měla by se jim věnovat pozornost v dalších studiích týkajících se toku emisí metanu v tůních. Kromě výše zmíněné ebulice, je důležitou součástí výzkumu i zjištění celkové variability během roku, či variabilita emisí během 24 hodin. O tocích emisí během 24 hodinového cyklu toho není příliš známo, proto by tato měření mohla přinést zajímavé výsledky do výzkumu toku emisí metanu. Podceňovat by se nemělo ani měření fyzikálně-chemických parametrů, které by měly být pečlivě a důkladně vyhodnoceny. Jelikož ani tato problematika prediktorů toku emisí metanu není ještě zcela zřejmá.

Nakonec věřím, že přibývajících vědecké studie budou nabývat na významnosti a pomůže to rozkrýt správnost o odhadech globálních emisí metanu ze sladkovodních ekosystémů.

## Seznam literatury

- Aben, R. C. H., Barros, N., Van Donk, E., Frenken, T., Hilt, S., Kazanjian, G., Lamers, L. P. M., Peeters, E. T. H. M., Roelofs, J. G. M., De Senerpont Domis, L. N., Stephan, S., Velthuis, M., Van De Waal, D. B., Wik, M., Thornton, B. F., Wilkinson, J., Delsontro, T., & Kosten, S. (2017). Cross continental increase in methane ebullition under climate change. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01535-y>
- Bastviken, D., Cole, J., Pace, M., & Tranvik, L. (2004). Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(4), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2004GB002238>
- Bastviken, D., Tranvik, L. J., Downing, J. A., Crill, P. M., & Enrich-Prast, A. (2011). Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science*, 331(6013), 50. [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1196808/SUPPL\\_FILE/BASTVIKEN.SOM.PDF](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1196808/SUPPL_FILE/BASTVIKEN.SOM.PDF)
- Bednařík, A., Bodmer, P., Darenova, E., Kokrda, L., & Pavelka, M. (2024). Temperature, Water Depth, and Flow Velocity Are Important Drivers of Methane Ebullition in a Temperate Lowland Stream. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(5). <https://doi.org/10.1029/2023JG007597>
- Biggs J., Nicolet P., Mlinaric M., & Lalanne T. (2014). *Report of the Workshop on the Protection and Management of Small Water Bodies*.
- Bižić, M., Klintzsch, T., Ionescu, D., Hindiyeh, M. Y., Günthel, M., Muro-Pastor, A. M., Eckert, W., Urich, T., Keppler, F., & Grossart, H. P. (2020). Aquatic and terrestrial cyanobacteria produce methane. *Science Advances*, 6(3). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax5343>
- Chytil, J., Hakrová, P., & Hudec, K. et al. (1999). Mokřady České republiky: Přehled vodních a mokřadních lokalit České republiky. In *Mikulov: Český ramsarský výbor* (pp. 0–327).
- Deemer, B. R., & Holgerson, M. A. (2021). Drivers of Methane Flux Differ Between Lakes and Reservoirs, Complicating Global Upscaling Efforts. *Journal of*

*Geophysical Research: Biogeosciences*, 126(4).  
<https://doi.org/10.1029/2019JG005600>

- DelSontro, T., Beaulieu, J. J., Downing, J. A., Stanley, E., & Del Giorgio, P. (2018). *SPECIAL ISSUE-CURRENT EVIDENCE Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments: Upscaling in the face of global change*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5220001>
- DelSontro, T., Boutet, L., St-Pierre, A., del Giorgio, P. A., & Prairie, Y. T. (2016). Methane ebullition and diffusion from northern ponds and lakes regulated by the interaction between temperature and system productivity. *Limnology and Oceanography*, 61(S1), S62–S77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/lno.10335>
- Drozd, J., & Novák, J. (1979). Headspace gas analysis by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 165(2), 141–165. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)90938-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)90938-5)
- Gorsky, A. L., Racanelli, G. A., Belvin, A. C., & Chambers, R. M. (2019). Greenhouse gas flux from stormwater ponds in southeastern Virginia (USA). *Anthropocene*, 28, 100218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100218>
- Holgerson, M. A., & Raymond, P. A. (2016). Large contribution to inland water CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from very small ponds. *Nature Geoscience*, 9(3), 222–226. <https://doi.org/10.1038/ngeo2654>
- LI-COR Inc. (2020). *Measuring the methane concentration of small air samples with the LI-7810*. 1–4.
- Lundin, E. J., Giesler, R., Persson, A., Thompson, M. S., & Karlsson, J. (2013). Integrating carbon emissions from lakes and streams in a subarctic catchment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(3), 1200–1207. <https://doi.org/10.1002/jgrg.20092>
- Morin, T. H., Bohrer, G., Naor-Azrieli, L., Mesi, S., Kenny, W. T., Mitsch, W. J., & Schäfer, K. V. R. (2014). The seasonal and diurnal dynamics of methane flux at a created urban wetland. *Ecological Engineering*, 72, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.02.002>

- Ollivier, Q. R., Maher, D. T., Pitfield, C., & Macreadie, P. I. (2019). Punching above their weight: Large release of greenhouse gases from small agricultural dams. *Global Change Biology*, 25(2), 721–732. <https://doi.org/10.1111/GCB.14477>
- Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Cook, S., Evans, C. D., Grinham, A., Holgerson, M. A., Högbom, L., Pickard, A. E., Zieliński, P., & Futter, M. N. (2021). Small artificial waterbodies are widespread and persistent emitters of methane and carbon dioxide. *Glob Change Biol*, 27, 5109–5123. <https://doi.org/10.1111/gcb.15762>
- R Core Team. (2021). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Rabaey, J., & Cotner, J. (2022). Pond greenhouse gas emissions controlled by duckweed coverage. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.889289>
- Rasilo, T., Prairie, Y. T., & del Giorgio, P. A. (2015). Large-scale patterns in summer diffusive CH<sub>4</sub> fluxes across boreal lakes, and contribution to diffusive C emissions. *Global Change Biology*, 21(3), 1124–1139. <https://doi.org/10.1111/gcb.12741>
- Rosentreter, J., Borges, A., Deemer, B., Holgerson, M., Liu, S., Song, C., Melack, J., Raymond, P., Duarte, C., Allen, G., Olefeldt, D., Poulter, B., Battin, T., & Eyre, B. (2021). Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources. *Nature Geoscience*, 14, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00715-2>
- Šafář, J. (2003). *Chráněná území ČR. VI., Olomoucko*. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky.
- Saunois, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., ... Zhuang, Q. (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Sieczko, A. K., Thanh Duc, N., Schenk, J., Pajala, G., Rudberg, D., Sawakuchi, H. O., & Bastviken, D. (2020). Diel variability of methane emissions from lakes. *Proceedings*



*of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(35), 21488–21494. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2006024117>

- Šimek, M. (2019). *Skleníkové plyny z půdy a zemědělství: vlastnosti, produkce, spotřeba, emise a možnosti jejich snížení*. Praha: Academia, 2019. Průhledy (Academia).
- Sø, J. S., Martinsen, K. T., Kragh, T., & Sand-Jensen, K. (2024). Hourly methane and carbon dioxide fluxes from temperate ponds. *Biogeochemistry*, 167(2), 177–195. <https://doi.org/10.1007/s10533-024-01124-4>
- Vizza, C., Jones, S. E., Hart, J. A., West, W. E., & Lamberti, G. A. (2022). Pond methane dynamics, from microbial communities to ecosystem budget, during summer in Alaska. *Limnology and Oceanography*, 67(2), 450–467. <https://doi.org/10.1002/LNO.12003>
- Walter, K. M., Zimov, S. A., Chanton, J. P., Verbyla, D., & Chapin, F. S. (2006). Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature*, 443(7107), 71–75. <https://doi.org/10.1038/nature05040>
- West, W. E., Coloso, J. J., & JONES, S. E. (2012). Effects of algal and terrestrial carbon on methane production rates and methanogen community structure in a temperate lake sediment. *Freshwater Biology*, 57(5), 949–955. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02755.x>
- Wik, M., Varner, R. K., Anthony, K. W., MacIntyre, S., & Bastviken, D. (2016). Climate-sensitive northern lakes and ponds are critical components of methane release. In *Nature Geoscience* (Vol. 9, Issue 2, pp. 99–105). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/ngeo2578>
- Wilkinson, J., Bors, C., Burgis, F., Lorke, A., & Bodmer, P. (2019). Correction: Measuring CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> with a portable gas analyzer: Closed-loop operation, optimization and assessment (PLoS ONE (2018) 13: 4 (e0193973) DOI: 10.1371/journal.pone.0193973). *PLoS ONE*, 14(3), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206080>
- Yvon-Durocher, G., Allen, A. P., Bastviken, D., Conrad, R., Gudas, C., St-Pierre, A., Thanh-Duc, N., & Del Giorgio, P. A. (2014). Methane fluxes show consistent temperature dependence across microbial to ecosystem scales. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature13164>

Zhang, Y., Wang, X., Gong, X., Wu, S., Yuan, X., Liu, T., & Hou, C. (2021). Greenhouse gases concentrations and emissions in different inland water bodies in chengdu plain. *Desalination and Water Treatment*, 239, 101–117. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27800>