

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



Emise oxidu uhličitého a metanu z tůní v Litovelském Pomoraví

Radovan Šmíd

Bakalářská práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Bc. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

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

Olomouc 2021

Šmíd R. 2021. Emise oxidu uhličitého a metanu z tůní v Litovelském Pomoraví [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci. 39 s. Česky.

Abstrakt

Vnitrozemské sladkovodní ekosystémy, zejména pak malé tůně, jsou důležitou součástí celkového globálního cyklu uhlíku. Ale i přes jejich důležitost se jim nedostávalo tolik pozornosti a celosvětové odhady jsou značně podhodnocené. Cílem této bakalářské práce bylo zjistit jakých koncentrací a hodnot difúzních emisí dosahují CO₂ a CH₄ v tůních v CHKO Litovelské Pomoraví. V průběhu roku 2020 bylo měřeno celkově 24 přírodních i uměle vytvořených tůní, které byly obvykle třikrát navštíveny. Ke zjištění dat byl použit přenosný analyzátor skleníkových plynů Los Gatos Inc. Všechny sledované tůně byly primárním zdrojem oxidu uhličitého do atmosféry s průměrným celkovým denním tokem $0.11 \pm 0.07 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. V případě druhého sledovaného plynu metanu byly všechny, kromě dvou tůní, zdrojem metanu s průměrnou hodnotou $0.007 \pm 0.02 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Pozitivní korelaci s celkovými denními toky CO₂ měla koncentrace CO₂, ale překvapivě i koncentrace CH₄. Získané poznatky o emitujících plynech by mohly sloužit k lepšímu pochopení celkového cyklu uhlíku. Ale zcela určitě jsou potřeba ještě další výzkumy, a to zejména z důvodu lepšího porozumění emisního toku CO₂ i CH₄ v průběhu celého dne a noci.

Klíčová slova: metan, oxid uhličitý, skleníkové plyny, tůně

Smid, R. 2021. Emissions of carbon dioxide and methane from ponds in PLA Litovelské Pomoraví [bachelor's thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc. 39 pp. Czech.

Abstract

Inland freshwater ecosystems, especially small ponds, are an important part of the overall global carbon cycle. But despite their importance, they have received little attention and global estimates are significantly underestimated. The aim of this bachelor's thesis was to determine what concentrations and diffuse emission values CO₂ and CH₄ reach in ponds in the PLA Litovelské Pomoraví. A total of 24 natural and artificial ponds were measured during 2020, which were usually visited three times. To obtain the data, a portable greenhouse gas analyzer Los Gatos Inc was used. All monitored ponds were primary sources of carbon dioxide to the atmosphere with an average total daily flux of $0.11 \pm 0.07 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. For the second monitored gas, methane, all but two ponds were sources of methane with an average of $0.007 \pm 0.02 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. CO₂ concentration was positively correlated with total daily fluxes, but surprisingly, so was CH₄ concentration. The knowledge gained about the emitting gases could be used to better understand the overall carbon cycle. But more research is certainly needed, especially to better understand the emission flux of both CO₂ and CH₄ throughout the day and night.

Key words: carbon dioxide, greenhouse gasses, methane, pond

Prohlášení

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

V Olomouci dne 2.8. 2021

.....

podpis

Obsah

Seznam tabulek	viii
Seznam obrázků	ix
Poděkování	x
1. Úvod	1
2. Cíle práce	3
3. Skleníkové plyny	4
3.1 Oxid uhličitý (CO ₂)	4
3.1.1 Oxid uhličitý ve vodních ekosystémech	4
3.1.2 Oxid uhličitý v tůních	5
3.2 Metan (CH ₄)	5
3.2.1 Metanogeneze	5
3.2.2 Metan v tůních	6
3.3 Faktory ovlivňující toky CO ₂ a CH ₄ v tůních	6
4. Skleníkový efekt	8
4.1 Faktory ovlivňující skleníkový efekt	8
4.1.1 Radiační působení	9
4.2 Troposféra a stratosféra	9
5. Lokality měření	11
6. Metody a sběr dat	12
7. Výsledky	15
7.1 Fyzikálně-chemické parametry tůní a rozdíl mezi nimi	15
7.2 Koncentrace CO ₂ , CH ₄ a saturační poměr	16
7.3 Hodinové emise	17
7.4 Denní emise	18
8. Diskuse	20
9. Závěr	23

10. Seznam literatury	24
-----------------------------	----

Seznam tabulek

Tabulka 1: Fyzikálně-chemické parametry tůní. Červeně jsou zvýrazněny signifikantní parametry.....	15
Tabulka 2: Srovnání koncentrací CO ₂ a CH ₄ z umělých a přírodních tůní	17
Tabulka 3: Denní a noční toky emisí CO ₂ a CH ₄ za 1 hodinu v umělých a přírodních tůních.....	17
Tabulka 4: Celkové denní toky emisí CO ₂ a CH ₄ z umělých a přírodních tůní	18
Tabulka 5: Pozitivní korelace s celkovými denními toky CO ₂	19

Seznam obrázků

Obrázek 1: Složení atmosféry Země	10
Obrázek 2: Měření emitujících plynů přístrojem UGGA Zdroj: Rulík, 2020.....	12
Obrázek 3: Ultra-Portable Greenhouse Gas Analyzer (LGR) Zdroj: Rulík, 2020.....	13
Obrázek 4: Dva signifikantní parametry rozpuštěný kyslík a hloubka vody na příkladu přírodních a umělých tůních.....	16
Obrázek 5: Krabičkový graf denních a nočních toků CO ₂ a CH ₄	18
Obrázek 6: Krabičkový graf celkových denních toků CO ₂ a CH ₄ v přírodních a umělých tůních.....	19

Poděkování

Tímto bych chtěl velmi poděkovat zejména vedoucímu práce doc. RNDr. Martinu Rulíkovi, Ph.D. za cenné rady, kontrolu, informace a trpělivost v průběhu celého psaní mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Mgr. Lukáši Weberovi za pomoc při zpracování výsledků a užitečné rady. V neposlední řadě děkuji rodině a mé přítelkyni za neutuchající podporu.

1. Úvod

V posledních letech je téma zvyšujících se atmosférických koncentrací skleníkových plynů – a to především oxidu uhličitého (CO₂) a metanu (CH₄), častým tématem výzkumu mnoha studií. Zejména u malých vodních ekosystémů se jim však nedostává příliš mnoho pozornosti, kterou by vzhledem ke své důležitosti v globálním cyklu uhlíku jistě potřebovaly.

Molekuly skleníkových plynů jsou schopny pohlcovat infračervené záření emitované z povrchu Země a takto získanou energii znovu vyzářit jako tepelné záření, které po dopadu na zemský povrch přispívá k jeho ohřívání a tím k ohřívání přilehlých vrstev atmosféry (Šimek, 2019). Koncentrace skleníkových plynů se během historie Země podstatně lišily a tyto variace vedly následně ke změnám klimatu v širokém rozsahu časových období. Koncentraci skleníkových plynů ovlivňuje řada faktorů a procesů: tektonická činnost, která na Zemi probíhá už několik milionů let, tak například i vegetace, půda, mokřadní společenstva či oceány, které fungují v časovém horizontu několik stovek až tisíců let. Velmi závažným se stalo ovlivnění této koncentrace lidskou činností, zejména spalováním fosilních paliv a kácením velkých lesnatých porostů (Mann, 2019). Například rok 2019 patřil mezi tři nejteplejší roky od doby, kdy se v druhé polovině 19. století začala oficiálně měřit teplota. Toto oteplování povrchu Země a oceánu se odráží na celé planetě. Zvyšují se teploty vod, roztává permafrost, ledovce pokračují v tání a ubývají na své hmotnosti už 32. rok po sobě, přičemž k výraznému úbytku došlo právě v roce 2019 (Lumpkin, 2020). Globální průměrná koncentrace CO₂ na zemském povrchu dosáhla hodnoty 409.8 ± 0.1 ppm (parts per milion), což je oproti roku 2018 nárůst o 2.5 ppm. Hodnota CH₄ dosahovala v průměru 1866.6 ± 0.9 ppb (parts per bilion), což představuje zvýšení o 9.2 ppb ve srovnání s rokem 2018 (Lumpkin, 2020).

Veškerá volně dostupná voda ve všech skupenstvích (kapalina, pevná látka, plyn) v atmosféře, na povrchu Země, ale i v zemské kůře tvoří hydrosféru o objemu 1.386×10^6 km³. Pouze 2.5 % z těchto vod jsou sladkovodní a v kapalném skupenství se v jezerech, nádržích a řekách vyskytuje jen 0.26 %. Role malých jezer, nádrží a tůní je dosud málo známá, nicméně by měla být přidána k celkovým odhadům plochy a objemu vod na Zemi. Počet těchto malých tůní a vodních nádrží se za poslední dvě desetiletí zvýšil, zejména v suchých oblastech. Za posledních 50 let došlo v Indii k 60 %, a v některých oblastech Afriky dokonce k 900 % nárůstu jejich počtu. Tento trend bude

pravděpodobně pokračovat, stejně jako nedostatečné zkoumání těchto malých, avšak velmi četných systémů, a to zejména v globálním měřítku (Carpenter et al., 2011). Celosvětově se totiž považují tyto malé vodní biotopy za nepodstatné a jsou považovány jen jako pouhé rezervoáry, kde jsou voda a naplavený materiál zadrženy, než doputují do větších řek a oceánu. Takovéto malé vodní ekosystémy jsou pak velmi často ignorovány i v globálním cyklu uhlíku. Tudíž retence uhlíku a všechny procesy spojené s transformací organického materiálu, které zde probíhají, zejména plynné emise, jsou kompletně vynechány. Pro přesné porozumění a vyhodnocení globálního cyklu uhlíku, je však důležité vnímat biosféru jako vzájemně propojenou síť a to včetně malých jezer, nádrží a tůní (Downing, 2010).

2. Cíle práce

Hlavním cílem mé bakalářské práce je zjistit, jaké množství emisí oxidu uhličitého (CO_2) a metanu (CH_4) mohou emitovat vybrané tůně různých velikostí a vlastností v CHKO Litovelské Pomoraví. Dílčím cílem je pak pokusit se určit, které z měřených fyzikálně-chemických faktorů vody nejvíce ovlivňují emise těchto skleníkových plynů. V neposlední řadě bych chtěl touto prací poukázat na důležitost malých vodních ekosystémů a jejich nezanedbatelnou roli v globálním cyklu uhlíku.

Tato bakalářská práce je zároveň prvotní studií, na kterou bych chtěl navázat svoji budoucí diplomovou prací, která by se zaměřila na emise tůní z více oblastí v rámci České republiky.

3. Skleníkové plyny

Kromě vodní páry jsou v atmosféře zastoupeny méně hojné plyny jako například oxid uhličitý, metan a oxid dusný, které jsou pro svoji dlouhou existenci a díky relativně vysoké tepelné absorpční kapacitě veřejně známé jako skleníkové plyny. Vodní pára není považována za původce klimatických změn, protože její cyklus v atmosféře je velmi krátký, v řádech několika dnů (Barbera et al. 2018).

3.1 Oxid uhličitý (CO₂)

Jedná se o bezbarvý plyn s lehkým zápachem a kyselou chutí, jehož hustota je asi o 50 % vyšší než hustota suchého vzduchu. V atmosféře se vyskytuje přirozeně jako druhý nejpočetnější skleníkový plyn po vodní páře a je zde vázán dvěma atomy kyslíku. Ke zvýšení CO₂ během posledních cca 200 let došlo zejména v důsledku odlesňování, spalováním fosilních paliv a dalším využíváním půdy. Dalšími zdroji jsou sopečná činnost, spalování a rozklad organické hmoty, dýchání živočichů a rostlin, nebo výroba cementu a oceli. Hlavním, přirozeným absorbentem oxidu uhličitého jsou rostliny. Oceány, moře, podzemní vody, ale i sladkovodní ekosystémy jsou významnými zdroji oxidu uhličitého (Barbera et al. 2018; The Editors of Encyclopaedia Britannica n.d.).

3.1.1 Oxid uhličitý ve vodních ekosystémech

Rozkladem organických látek prostřednictvím heterotrofních bakterií se dostává oxid uhličitý fixovaný v podobě glukózy zpět do atmosféry. Ve stratifikovaných vodách probíhá tento jev v horní, promíchávané vrstvě:



Mimo vlastní produkci CO₂ heterotrofními bakteriemi rozkládající organickou hmotu jsou sladkovodní ekosystémy dále zásobeny uhlíkem z pevniny, a to buď v organické, nebo anorganické podobě. Jelikož jsou tyto vstupy často vyšší, než vlastní primární produkce, dochází k tomu, že například jezera bývají běžně přesycená CO₂ a tedy zdrojem CO₂, který emitují do atmosféry a zároveň ukládají značné množství do svých sedimentů (Duarte & Prairie, 2005; Rantakari & Kortelainen, 2005).

Vodní nádrže a rybníky jsou také významnými čistými zdroji CO₂ do ovzduší, a to zhruba ve dvakrát větší míře než přírodní jezera. Problémem ale je, že v celkových globálních odhadech jsou obvykle zakomponovány jen vodní plochy do 15 m². A ty

nejmenší, které jsou také nejpočetnější, většinou v těchto odhadech chybí, nebo jsou podhodnocené (St. Louis et al., 2000). Nádrže, jejichž počet neustále roste, ukládají více organického uhlíku než všechny přírodní jezera dohromady a globálně tak převyšují ukládání organického uhlíku v oceánu více než 1,5krát (Cole et al., 2007).

3.1.2 Oxid uhličitý v tůních

I když jsou přírodní a antropogenní tůně z velké části významnými akumulátory vod v případě povodní, nebo ukládají sedimenty a pomáhají při odstraňování kontaminantů, jsou na druhou stranu vzhledem k síle procesů v sedimentech podstatnými zdroji CO₂ do atmosféry (Torgersen & Branco, 2008). Ačkoliv je role tůní v celkovém cyklu uhlíku často diskutabilní, z několika studií vyplývá, že tok CO₂ je často srovnatelný, ale někdy i vyšší než z většiny jezer a nádrží. Hodnoty koncentrace CO₂ se přitom mění v průběhu dne vlivem fotosyntézy rostlin: během dne emitovaný tok CO₂ klesá a v noci naopak stoupá (Hamilton et al., 1994; Roulet et al., 1997; Min & Rulík 2020).

3.2 Metan (CH₄)

Plyn bez chuti a zápachu, jehož chemický vzorec je CH₄. Metan je nejjednodušším členem parafických uhlovodíků a jedná se o jeden z nejsilnějších skleníkových plynů. V přírodě vzniká tzv. metanogenezi, tj. převážně anaerobním rozkladem rostlinných látek v půdě, nebo pod vodou, a to především v mokřadech. Mezi další přírodní zásobárny metanu patří termiti, trávící trakty přežvýkavců, sopečná činnost a průrvy na dnech oceánů. Dále ložiska metanhydrátu, které se často vyskytují pod antarktickým ledem a arktickým permafrostem, který vlivem klimatických změn taje a uvolňuje tak do atmosféry velké množství tohoto plynu. Vlivem lidských činností se metan dostává do ovzduší zejména při těžbě uhlí, zemního plynu (který může obsahovat až 90 % metanu), či ze skládek odpadů, nebo zpracováním odpadních vod (The Editors of Encyclopaedia Britannica, n.d.).

3.2.1 Metanogeneze

Při rozkladu uhlíku je metanogeneze posledním stupněm, ke kterému dochází v anaerobním prostředí. I přes nízké energetické výtěžky je metanogeneze často dominantní cestou při rozkladu organické hmoty, a to především v podmáčených půdách, kde mikroorganizmům chybí dostatek oxidantů (Schlesinger & Bernhardt, 2013).

Metanogenezi provádějí striktně anaerobní metanogenní Archea. Vzniklý metan se z vodního prostředí do atmosféry dostává třemi možnými cestami. První možností je

difúze rozpuštěného metanu podél koncentračního spádu, kdy se dostává CH₄ z hlubších vrstev do ovzduší. Tento proces je pomalý a dochází při něm k částečné oxidaci metanu v horních vrstvách půdy, či vody. Druhou variantou je tzv. kypění (ebullition, česky ebulice), tj. uvolnění metanu v podobě plynových bublin. U tohoto postupu dochází k rychlému emitování velkého množství plynu, který téměř nepodléhá oxidaci. Poslední možností uvolňování metanu je transport zprostředkovaný aerenchymem rostlin. Tento mechanismus je velmi účinný, rychlý a významně ovlivňuje emise metanu především na rýžových polích (Barbera et al. 2018).

3.2.2 Metan v tůních

I přesto, že malé tůně (s plochou <0,001 km²) zahrnují pouze malou část (cca 9 %) z globální světové plochy jezer a tůní, svojí plochou přispívají k téměř 41 % celkových difúzních emisí CH₄ z jezer a tůní. Vysoké hodnoty metanu jsou nejspíše důsledkem charakteru mělkých vod: velmi výrazným objemem sedimentů a jejich blízkostí s hladinou vody, kde dochází k častému promíchávání (Holgerson & Raymond, 2016). Fyzikální, chemické a biologické veličiny v tůních jsou výrazně rozdílné od velkých jezer a nádrží - velké množství vody může být v těsném kontaktu s bohatými sedimenty uhlíku (Holgerson, 2015).

3.3 Faktory ovlivňující toky CO₂ a CH₄ v tůních

Množství emitovaných plynů do atmosféry závisí na mnoha faktorech. Ale vzhledem k velké variabilitě přírodních a antropogenních tůní je komplikované přesně určit všechny faktory, které podporují vyzařování.

Jedním z faktorů, na kterém závisí toky skleníkových plynů, je obsah organického uhlíku. Nejvyšší obsah organického uhlíku bychom našli v rašeliništích. Při zaplavení těchto biotopů dochází zejména k velkému nárůstu emisí CH₄ (St. Louis et al., 2000). Dle Holgerson (2015) je množství usazeného uhlíku na dně tůně zodpovědná za zvýšené dýchání, tudíž v těchto situacích dochází ke klesání objemu rozpuštěného kyslíku a stoupání koncentrace oxidu uhličitého.

S organickým uhlíkem souvisí další faktor, kterým je rozpuštěný kyslík. Některé studie ukazují negativní vztah mezi CO₂ a rozpuštěným kyslíkem. V tomto případě nastává vztah kdy, se s klesajícím množstvím rozpuštěného kyslíku zvyšuje množství CO₂ (Rantakari & Kortelainen, 2005; Cole et al., 2010; Balmer & Downing, 2011). Dle (Jonsson et al., 2003) je tento vztah ještě silnější v případě velkého objemu rozpuštěného

organického uhlíku. Tento jev lze pozorovat i v případě koncentrací metanu, kde je anoxické prostředí potřeba k metanogenezi (Bastviken et al., 2004; Kankaala et al., 2013).

Dalším faktorem je stáří tůně. Zde platí, že v nově vytvořených, nebo znovu naplněných tůních vodou dochází k naplavení nového organického materiálu. Nejčastěji v podobě listů, opadu a ten podléhá velmi rychlé dekompozici, na kterou navazuje rozklad staršího, odolnějšího organického uhlíku, např. humusu (Kelly et al., 1997).

Faktor pH neboli podíl vodíkových iontů ve vodě, má s CO₂ dle Wetzela (2001) opět negativní vztah, jinými slovy se zvyšováním koncentrace oxidu uhličitého dochází ke klesání hodnoty pH. Tuto zápornou korelaci potvrzuje i další studie malých tůní (Holgerson, 2015).

S toky CH₄ souvisí zejména četnost srážek. Dle Holgerson (2015) byl zvýšený výskyt srážek sdružený se snižováním koncentrace metanu. Naopak jiné studie tento trend nepotvrdily - s přibývajícím množstvím srážek docházelo ke zvyšování koncentrací metanu, nejspíše vlivem nově přichozího organického uhlíku z krajiny (Rantakari & Kortelainen, 2005; Einola et al., 2011).

Při vyšší teplotě vody v tůních, zejména v tropických oblastech, jsou zvýšené toky CO₂ a CH₄ časté. V případě metanu je to hlavně díky početnějšímu uvolňování v podobě bublin (ebullition) (St. Louis et al., 2000) a také v důsledku zvýšené produkce metanu metanogenezí, která stoupá se zvyšující se teplotou (Borrel et al., 2011).

Se zvýšeným výskytem chlorofylu a, který je součástí fytoplanktonu, souvisí rovněž vyšší toky CH₄. Tento vztah je nejspíše způsoben tím, že s vyšší teplotou je tvořeno více fytoplanktonu. Což vede k většímu zdroji organické hmoty, který podléhá rozkladu v tůních (Holgerson, 2015). V případě produkce CO₂ je tento vztah složitější. Protože během dne, kdy je dostatek světla, je výrazné množství plynu fixováno fotosyntézou, naopak v noci převažuje respirace fytoplanktonu (Balmer & Downing, 2011; Holgerson, 2015). Proto je důležité v případě měření emisí CO₂ sledovat jeho toky plynů jak během dne, tak i během noci.

4. Skleníkový efekt

S výše uvedenými plyny souvisí především jev, který je znám jako skleníkový efekt atmosféry. Tento proces je příčinou odlišné prostupnosti atmosféry Země pro většinu viditelného záření ze Slunce o různých vlnových délkách. A v principu jde o to, že udržuje spodní vrstvy atmosféry spolu se zemským povrchem teplé. Při kontaktu krátkovlnného záření se zemským povrchem dochází ke zpětnému vyzařování části této energie, kterou nazýváme jako infračervené záření. A právě infračervené záření souvisí se skleníkovými plyny, jelikož tyto plyny pohlcují zpětně emitované záření a zvyšují tak teplotu v atmosféře. Tímto jevem se zpětně otepluje i zemský povrch. Bez tohoto významného procesu by průměrná teplota zemského povrchu byla jen asi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obecně platí, že roční průměr přijatého slunečního záření je vyvážen odraženým zemským zářením. A jakýkoliv faktor, který narušuje tento vztah může celkově ovlivňovat klima (Houghton et al., 2001; The Editors of Encyclopaedia Britannica, n.d.).

4.1 Faktory ovlivňující skleníkový efekt

Kromě skleníkových plynů je skleníkový efekt ovlivňován typem povrchu, od kterého se dopadající sluneční světlo odráží. Dle různých klimatických pásů se hodnota skleníkového efektu liší. V polárních oblastech, kdy světlo dopadá na bílý povrch ledovce, bývá záření silně odraženo zpět do vesmíru a dochází k minimálnímu ohřevu zemského povrchu a přilehlé atmosféry. S rostoucí teplotou se tedy zvyšuje i skleníkový efekt od subarktických, přes mírné zóny, až po zóny subtropické a tropické. Sluneční záření dopadající na ty nejteplejší oblasti pouští je silně pohlcováno a tím přispívá k velmi výraznému oteplování povrchu a přilehlé vrstvy atmosféry.

Dalším vlivem, který ovlivňuje skleníkový efekt, je oblačnost. Zhruba 80 % dopadajícího slunečního záření je odraženo vrstvou mraků zpět do vesmíru. Takže oblačnost snižuje celkové množství slunečního záření, které má dopadat na zemský povrch a zároveň ovlivňuje záření, které má být vyzářeno zpět do vesmíru.

V troposféře bychom našli antropogenní aerosoly ve formě mikroskopických částic či malých kapek, nejčastěji pocházejících ze spalování fosilních paliv, biomasy a jiných zdrojů. Tyto aerosoly jsou schopné odrazet část slunečního záření, kterým dochází k ochlazení globálního klimatického systému. Ale protože mohou také absorbovat část slunečního záření, vede to spíše k tendenci oteplování. Vedle toho různé koncentrace těchto polutantů dokážou měnit početnost mraků a jejich odrazivost, čímž mohou měnit

celkovou oblačnost (Houghton et al., 2001; Kweku et al., 2018; Xu & Cui, 2021; The Editors of Encyclopaedia Britannica, n.d.).

4.1.1 Radiační působení

Při změnách energie záření, která koluje mezi Zemí a vesmírem, se používá pojem radiační působení. Tato veličina může být buď pozitivní anebo negativní.

Negativní (záporné) radiační působení má sklony k ochlazování zemského povrchu a přilehlých vrstev atmosféry. K tomuto zápornému radiačnímu působení mají tendence vyšší koncentrace antropogenních aerosolů v troposféře. K přechodnému negativnímu vlivu může docházet i v případě vulkanických výbuchů. Při vulkanické činnosti se totiž ve stratosféře zachycuje velké množství především oxidů síry, které vede k tendenci ochlazovat zemský povrch a přilehlou atmosféru.

Při zvýšení koncentrací skleníkových plynů se snižuje účinnost, kterou může Země zpětně vyzařovat energii do vesmíru. Tím dochází k tomu, že se větší část záření ze zemského povrchu pohltí v atmosféře a znovu se vyzáří ve vyšších nadmořských výškách, kde jsou nižší teploty. Tak nastává druhý případ, tzv. pozitivní radiační působení, které má tendenci ohřívat zemský povrch a přilehlé vrstvy atmosféry. Jelikož méně tepla uniká do vesmíru, nastává situace zesílení skleníkového efektu. Ten je sice přirozeným procesem, ale závisí na mnoha proměnných. Například na nárůstu koncentrací jednotlivých skleníkových plynů, které zůstávají v atmosféře i několik staletí a dlouhodobě tak ovlivňují pozitivní radiační působení. Dále závisí na radiačních vlastnostech příslušných plynů a dalších plynů, které se v atmosféře vyskytují (Houghton et al., 2001).

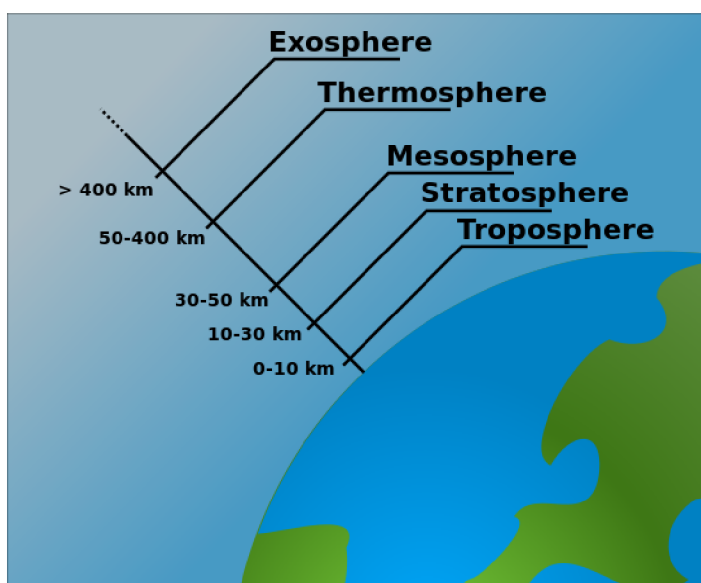
Změny radiačního působení probíhají v klimatických systémech v různých časových škálách. Z toho plyne, že reakce na změnu negativní nebo pozitivní může trvat i několik tisíc let. Jakýkoliv přechod v radiační bilanci Země, ať už je způsoben zvýšením skleníkových plynů, nebo zvýšením aerosolů v troposféře, ovlivní jak celosvětovou atmosférickou a oceánskou cirkulaci, tak i hydrologický cyklus. Tím se ovlivní průběh počasí především na regionálních teplotách a srážkách (Houghton et al., 2001).

4.2 Troposféra a stratosféra

Dlouhodobě se zvyšující koncentrace skleníkových plynů vedou k výrazným změnám ve složení atmosféry Země, a to především ve dvou nejbližších vrstvách zemského povrchu troposféře a stratosféře. Ovlivněním radiační bilance došlo k výraznému oteplení

troposféry a k ochlazení stratosféry (Stocker et al., 2013). Mimo odlišnosti teplot je potvrzeno i to, že dochází ke zvětšování výšky troposféry, a to ve všech zeměpisných šířkách s největší mocností nad nejteplejšími tropickými a subtropickými oblastmi. Dle Kanga et al. (2013) lze tento pozorovaný jev přiznat antropogennímu působení a zvyšujícím se koncentracím skleníkových plynů. S nárůsty teplot v troposféře za posledních 25 let souvisí i nárůst troposférické vodní páry, který může za zvýšený hydrologický cyklus. Díky němu jsou v mnoha oblastech, např. ve středních a vyšších zeměpisných šířkách severní polokoule, velmi vydatnější a extrémnější srážky (Houghton et al., 2001).

Dle nedávné studie od Pisofta et al. (2021) dochází v posledních desetiletích ve stratosféře také k výraznému zmenšování tloušťky. Dokonce se předpokládá, že do roku 2080 dojde ke zmenšení o 1,3 km a vše je zcela způsobeno zvyšujícími se skleníkovými plyny. Díky jeho poměrně krátké době vzniku můžeme použít tento jev jako ukazatel změny klimatu.



Obrázek 1: Složení atmosféry Země

Zdroj:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_Layers.svg#

5. Lokality měření

Všechna měření emisí oxidu uhličitého a metanu z tůní byla prováděna v CHKO Litovelské Pomoraví a v její blízkosti. Chráněná krajinná oblast Litovelské Pomoraví byla zřízena dne 15. listopadu 1990. Rozprostírá se v údolní nivě řeky Moravy mezi Olomoucí, Litovlí a Mohelnicí. Celková rozloha této chráněné oblasti činí 96 km² a vodní plochy zde zauímají 8 % území. Nadmořská výška se pohybuje od 210 m n. m. do 345 m n. m.

Řeka Morava se zde několikrát větví, meandruje a vytváří takzvanou vnitrozemskou říční deltu, což je systém vzájemně propojených říčních ramen s meandry, periodicky protékajícími rameny (tzv. smuhy), odstavenými rameny, aluviálními tůněmi a mozaikou lužních lesů společně s nivními loukami. V CHKO Litovelské Pomoraví bychom našli několik stovek lesních a lužních tůní, zejména jarních periodických, které jsou zásobovány především jarními povodněmi při tání sněhu (přelivem nebo průsakem). V létě tyto periodické tůně obvykle kompletně vysychají. Periodické tůně tvoří biotopy se společenstvy kriticky ohrožených druhů korýšů, jako je například listonoh jarní (*Lepidurus apus* Linnaeus, 1758) a žábronožka sněžní (*Siphonophanes grubii* Dybowski, 1860). V současné době dochází v některých lokalitách k postupnému zániku biotopů periodických tůní, a to vlivem sedimentace jemných plavenin, organických látek a v některých případech také zavážením odpadu (Šafář, 2003).

Emise byly nejprve měřeny v přirozených, periodických tůních a poté byly do výzkumu zahrnuty i tůně umělé, které byly vytvořeny lidskou činností. Některé tůně se nacházely i v maloplošných chráněných územích, např. v PR Plané loučky. Dále se měřilo na lokalitách Černovír, Horka nad Moravou – Sluňákov a Štěpánov. Celkem bylo sledováno 24 tůní.

6. Metody a sběr dat

Shromažďování dat o emisích z tůní začalo v měsíci únoru roku 2020. Postupně bylo ovzorkováno 24 tůní, které byly v průběhu roku 2020 obvykle třikrát navštíveny, aby měření zahrnovalo různá roční období. Lokality byly měřeny během dne od 10:00 do 14:00 h, a během večerního měření od 22:00 do 02:00 h.

Měření probíhalo pomocí přenosného analyzátoru skleníkových plynů (UGGA) společnosti Los Gatos Research Inc. (LGR). Tento přístroj umožňuje měřit simultánně metan a oxid uhličitý. Technickým základem tohoto přístroje je kruhová, laserová spektroskopie, která funguje s dostatečnou přesností, zvládá vyšší pokrytí dat, má lepší linearitu a opakovatelnost. Princip měření funguje na kombinaci mimoosového laserového světla, které pulzuje přes jednosměrné zrcadlo do válcové dutiny, kde je na druhém konci druhé zrcadlo. Intenzita vycházející ze vzdáleného konce komory se zaostří a měří detektorem. Pro správný chod přístroje je potřeba zachovat částečné vakuum, aby se snížilo ovlivnění vodní párou (Wilkinson et al., 2019). K měření emisí byly použity uzavřené komory o objemu 2050 ml a ploše 0,02 m², plovoucí na hladině tůní, spojené 10 m hadicí s přístrojem. Na každé lokalitě se vždy měřil přírůstek obou plynů v komorách na třech různých místech po dobu cca 300 sekund. Logování emitovaných hodnot probíhalo každou 0,1 sekundu, tudíž stačila relativně krátká doba pro dílčí měření.



Obrázek 2: Měření emitujících plynů přístrojem UGGA; Zdroj: Rulík, 2020

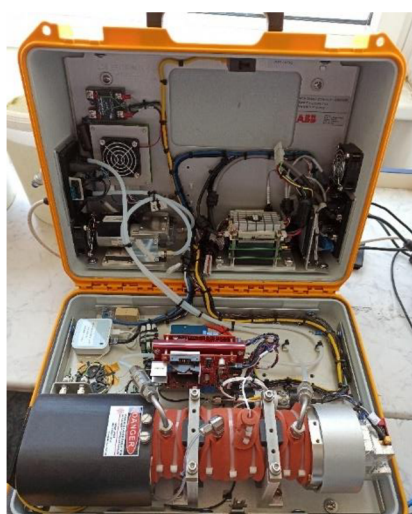
Z každé lokality byly rovněž odebrány 3 vzorky vody, který byly poté laboratorně změřeny pomocí UGGA s cílem zjistit koncentraci rozpuštěného CO₂ a metanu. Vzorky vody byly odebrány do skleněných lahviček, které se ihned uzavřely tak, aby neunikal žádný plyn. Následně se dodáním N₂ vytěsnila část vody, poté se lahvička silně protřepala a plynotěsnou injekční stříkačkou se odebral vzorek, který se ručně vstříkl do uzavřeného oběhu analyzátoru plynů Los Gatos. Výsledné parciální tlaky plynů byly převedeny na koncentrace ve vodním prostředí, a to pomocí Henryho konstanty, teploty vody a naměřených hodnot parciálních tlaků plynů ve vzduchu.

Dále byla na každé lokalitě měřena pomocí přenosných čidel teplota vody, rozpuštěný kyslík, pH a vodivost vody. Také byl odebrán vzorek půdy ke stanovení organického uhlíku.

Hodnoty v jednotkách ppm, naměřené primárně v plovoucích komorách, byly dále převedeny pomocí vzorce, který zahrnoval: tlak vzduchu (atm), molární plynovou konstantu R, teplotu komory, objem komory (ml), plochu dna komory (m²). Toky (J) CO₂ a CH₄ byly vypočítány dle sklonu (s) lineárních regresí koncentrací plynů v plovoucí komoře v závislosti na čase:

$$J = s \cdot V_{ch} \cdot \frac{1}{A_{ch}} \quad (2)$$

kde V_{ch} je objem komory a A_{ch} je plocha plovoucí komory (Attermeyer et al., 2016). Výsledkem byly toky plynů ve třech různých jednotkách mol·m⁻²·d⁻¹, nebo mgC·m⁻²·d⁻¹, anebo mgCO₂·m⁻²·d⁻¹ (v případě metanu mgCH₄·m⁻²·d⁻¹).



Obrázek 3: Ultra-Portable Greenhouse Gas Analyzer (LGR); Zdroj: Rulík, 2020

Statistické zhodnocení rozdílů mezi antropogenními a přírodními tůněmi a také porovnání vztahů mezi emisemi a denní dobou byly hodnoceny pomocí dvouvýběrového t-testu a boxplotu. Pro zjištění vlivů jednotlivých sledovaných fyzikálně-chemických parametrů na hodnoty emisí CO₂ a CH₄ byla použita vícenásobná lineární regrese (lm). Statistické analýzy byly provedeny v programu R verze 4.0.4 (R Core Team, 2013).

7. Výsledky

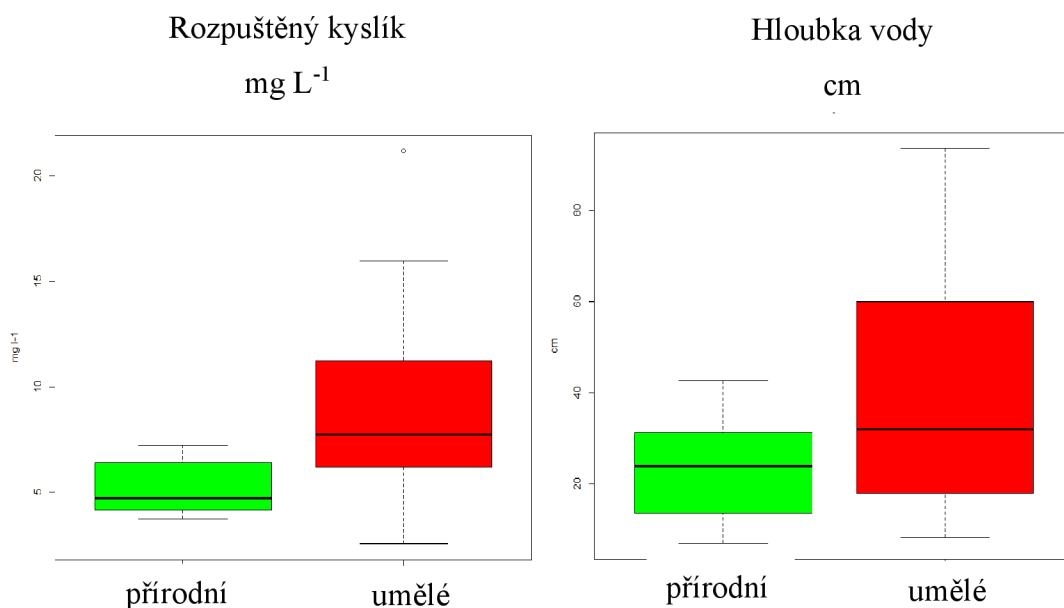
7.1 Fyzikálně-chemické parametry tůní a rozdíl mezi nimi

Obě skupiny sledovaných tůní se mezi sebou obecně nelišily (Tab. 1), signifikantní rozdíl byl zjištěn pouze v případě koncentrace rozpuštěného kyslíku ($P = 0.03$) a hloubky vody ($P = 0.04$) (Obr. 4) (Tab. 1.). Nejvyšší zaznamenaná hodnota rozpuštěného kyslíku ze všech tůních byla 21.2 mg l^{-1} , naopak nejnižší pouhých 2.5 mg l^{-1} .

Tabulka 1: Fyzikálně-chemické parametry tůní. Červeně jsou zvýrazněny signifikantní parametry.

DOC = dissolved organic carbon (rozpuštěný organický uhlík)

Parametr	Umělé tůně	Přírodní tůně	Tůně dohromady			Paired T-test
	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Min	Max	P
Teplota [° C]	18.7 ± 3.9	16.5 ± 1.7	17.7 ± 3.3.	12.6	26.2	0.17
pH	8.02 ± 0.7	7.46 ± 0.3	7.77 ± 0.6	7.04	10.1	0.21
Vodivost [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	561 ± 133	525 ± 219	545 ± 174	246	931	0.24
O ₂ [mg l^{-1}]	9.2 ± 5.3	5.2 ± 1.3	7.37 ± 4.4	2.5	21.2	0.03
DOC [mg l^{-1}]	18.5 ± 17.9	16.5 ± 6.4	17.6 ± 13.6	5.8	71.5	0.77
Sediment POC [% C]	14.3 ± 11.0	14.0 ± 12.6	14.2 ± 11.5	2	39	0.89
Hloubka vody [m]	0.4 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.3	0.07	0.9	0.04
Velikost [m ²]	1287 ± 2273	2766 ± 7557	1965 ± 5300	25	25 494	0.31
<i>n</i>	13	11	24			



Obrázek 4: Dva signifikantní parametry rozpuštěný kyslík a hloubka vody na příkladu přírodních a umělých tůňích

7.2 Koncentrace CO₂, CH₄ a saturační poměr

Celkové koncentrace rozpuštěného CO₂ a CH₄ v povrchových vodách tůňích byly relativně velmi nízké (Tab. 2), s tím souvisel i nízký saturační poměr. V případě oxidu uhličitého byl vypočten saturační poměr s průměrem 1.1 ± 1.5 , z toho bylo celkově 13 lokalit nedostatečně nasyceno. Umělé tůně vykazovaly vyšší saturaci (1.5) než tůně přírodní, ty měly hodnotu pouze 0.7. Mezi denními a nočními měřeními však nebyly zjištěny žádné signifikantní rozdíly.

U metanu byly hodnoty zjištěného saturačního poměru zřetelně vyšší, a to s celkovým průměrem saturačního poměru 30.6 ± 65.3 , z toho byly jen 4 lokality nenasyčeny. Opět zde byl velmi výrazný rozdíl mezi umělými a přírodními tůňemi. Přírodní tůně (18.2) měly v porovnání s těmi umělými (41.1) výrazně menší saturační poměr. Ale v případě denních a nočních měření nebyl opět zjištěn žádný signifikantní rozdíl.

Tabulka 2: Srovnání koncentrací CO₂ a CH₄ z umělých a přírodních tůň

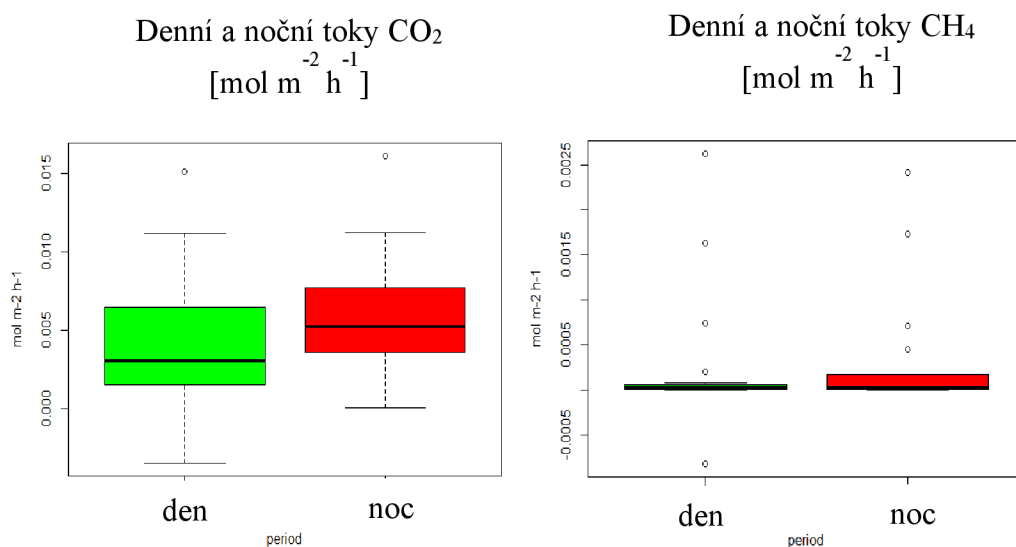
	Umělé tůň	Přírodní tůň	Tůň dohromady	Paired T-test
Parametr	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Průměr ± SD	P
CO₂ koncentrace [μmol L ⁻¹]	31.8 ± 48.7	12.3 ± 15.7	19,6 ± 58,3	0.07
CH₄ koncentrace [μmol L ⁻¹]	0.12 ± 0.4	0.05 ± 0.16	0.08 ± 0.4	0.002
n	13	11	24	

7.3 Hodinové emise

Všeobecně všechny měřené tůň byly zdrojem oxidu uhličitého, a kromě dvou tůň byly všechny i zdrojem metanu. Toky emisí zjištěné během noci měly vyšší hodnoty (Tab. 3), nicméně rozdíly ve srovnání s denním měřením nebyly signifikantní (obr. 5)

Tabulka 3: Denní a noční toky emisí CO₂ a CH₄ za 1 hodinu v umělých a přírodních tůň

	Umělé tůň	Přírodní tůň	Tůň dohromady	Paired T-test
Parametr	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Průměr ± SD	P
CO₂ denní tok [mol m ⁻² h ⁻¹]	0.002 ± 0.003	0.006 ± 0.005	0.004 ± 0.004	0.12
CO₂ noční tok [mol m ⁻² h ⁻¹]	0.005 ± 0.005	0.007 ± 0.003	0.006 ± 0.004	0.1
CH₄ denní tok [mol m ⁻² h ⁻¹]	0.0003 ± 0.009	0.00005 ± 0.00006	0.0002 ± 0.0007	0.12
CH₄ noční tok [mol m ⁻² h ⁻¹]	0.0002 ± 0.0006	0.0004 ± 0.0008	0.0003 ± 0.0007	0.25
n	13	11	24	



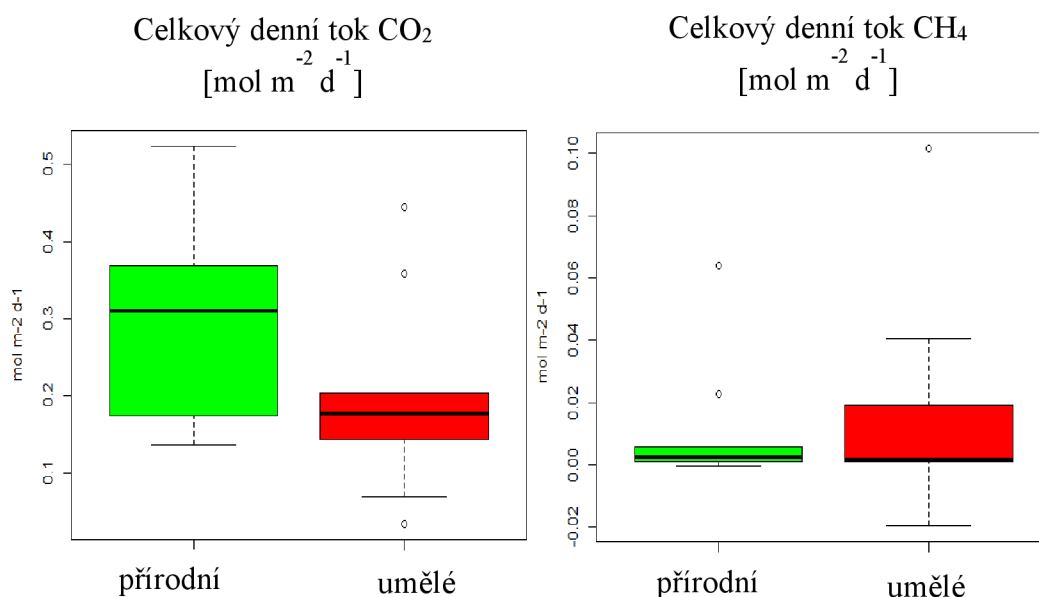
Obrázek 5: Krabičkový graf denních a nočních toků CO_2 a CH_4

7.4 Denní emise

Bez signifikantních rozdílů vycházel i celkový denní tok oxidu uhličitého, který byl sice v přírodních tůních vyšší než v umělých, ale hodnota P byla pouze 0.14 (Tab.4). Naopak u metanu byly hodnoty celkových denních toků vyšší u tůní umělých v porovnání s přírodními. Ale ani tento rozdíl nebyl významný ($P = 0.19$) (Obr.6).

Tabulka 4: Celkové denní toky emisí CO_2 a CH_4 z umělých a přírodních tůní

	Umělé tůně	Přírodní tůně	Tůně dohromady	Paired T-test
Parametr	Průměr ± SD	Průměr ± SD	Průměr ± SD	P
CO_2 tok emisí [$\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$]	0.09 ± 0.05	0.12 ± 0.08	0.11 ± 0.07	0.14
CH_4 tok emisí [$\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$]	0.01 ± 0.02	0.004 ± 0.007	0.007 ± 0.02	0.19
<i>n</i>	13	11	24	



Obrázek 6: Krabičkový graf celkových denních toků CO₂ a CH₄ v přírodních a umělých tůních

Při testování celkových denních toků oxidu uhličitého a metanu se vyskytlo i několik podstatných korelací. Nejvíce překvapivým bylo spojení mezi zvýšenou koncentrací kyslíku, se kterým stoupá denní tok CO₂. Ale zajímavou souvztažností vyšších hodnot denního toku CO₂ je také zvýšená koncentrace CH₄. Dále celkové denní toky oxidu uhličitého pozitivně korelovaly s koncentrací CO₂, pH a vodivostí.

Tabulka 5: Pozitivní korelace s celkovými denními toky CO₂

	Koncentrace CO ₂ [μmol L ⁻¹]	Koncentrace CH ₄ [μmol L ⁻¹]	Kyslík [mg L ⁻¹]	pH	Vodivost [μS cm ⁻¹]
CO ₂ flux [mol m ⁻² d ⁻¹]	P = 0.04	P = 0.01	P = 0.02	P = 0.009	P = 0.04

8. Diskuse

Celkové denní toky oxidu uhličitého a metanu z tůní v Litovelském Pomoraví vykazovaly podobné hodnoty s měřeními, uvedenými v dalších studiích mírného pásu napříč světem. Byly však podstatně vyšší ve srovnání s celosvětovými odhady pro malé vodní plochy ($<0.001 \text{ km}^2$), které mají v hodnotu v případě CO_2 pouze $0.04 \pm 0.005 \text{ mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ a u CH_4 $0.002 \pm 0.001 \text{ mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Holgerson & Raymond, 2016), čímž se dle mého názoru ještě více zvyšuje důležitost lépe prozkoumat malé, sladkovodní plochy. Například ve studii plyných toků CO_2 z amerického Mirror Lake (Storrs, Connecticut), kde v roce 2002 a 2003 prováděli Torgersen & Branco (2008) přibližně 8000 půlhodinových měřících intervalů, došli autoři k téměř totožnému dennímu toku jako v této práci, a to o hodnotě 0.08 (rok 2002) a 0.086 (rok 2003) $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ($\pm 26 \%$). Avšak na rozdíl od pozitivní korelace mezi kyslíkem a oxidem uhličitým v mé bakalářské práci měl CO_2 v této studii spíše klesající tendenci při zvyšování toků O_2 . Autoři ale zdůrazňují, že tento vztah vykazuje určitý stupeň nezávislosti, než že by se jednalo o rovnovážnou reakci.

Zajímavá studie od Catalána et al. (2014) ze středozezemních periodických tůní ukazuje variabilitu denních toků CO_2 během různých fází. Autoři sledovali změny během zaplavení, dále vynořené nezarostlé a vynořené zarostlé části tůní. Nejvyšších hodnot emitovaných toků vykazoval úsek s vynořenou vegetací, který řídil celkové toky tohoto ekosystému. Průměrné naměřené emise CO_2 byly $0.12 \pm 0.14 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$, což je nepatrně vyšší než u této bakalářské práce. Jako hlavní faktor, který přispíval k celkovým tokům CO_2 , uvádí autoři plochu tůní, kde největší tůň vykazovala rovněž nejvyšší toky. Vynořené úseky s vegetací zaujímaly také největší plochu v rámci tůní (v průměru 64 %) a zřejmě právě proto byly tzv. hotspots emisních toků CO_2 . Podobnou důležitost významu kolísání vody, vysychání tůní a vlivu na celkovou dynamiku plynů CO_2 a CH_4 přikládá další studie Obrador et al. (2018). Zde autoři uvádějí fakt, že vyschlá stanoviště působí vždy jako primární zdroj CO_2 do atmosféry. V případě zatopených částí se v průběhu roku stav mění a tyto malé vodní plochy mohou sloužit i jako pohlcovače a zásobárny atmosférického uhlíku. A opět se i v této studii přišlo na to, že zarostlé vynořené sedimenty měly vyšší hodnoty emisí než vynořené holé sedimenty.

Koncentrace CO_2 a CH_4 můžeme porovnat se studií z Connecticutu, USA, kde autoři vzorkovali 6 periodických tůní. Všechny tůně se ukázaly v průměru 19x více přesyceny oxidem uhličitým v porovnání s plynem v atmosféře. Vedle toho koncentrace

metanu byla přesycena 504x v poměru k atmosféře. Oxid uhličitý byl v tůních nejlépe předpovídán negativním vztahem s rozpuštěným kyslíkem, kde docházelo ke značné respiraci, pravděpodobně z mělkých sedimentů. V průměru měl CO₂ koncentraci 0.36 ±0.02 mol L⁻¹. Totéž platilo i u metanu, který dosahoval koncentrací v průměru 0.04 ±0.004 mol L⁻¹ (Holgerson, 2015). V porovnání s touto studií byly koncentrace z tůní v Litovelském Pomoraví lehce zvýšené.

V poměru k atmosféře bylo koncentrací CO₂ i CH₄ přesyceno i malé tropické jezírko v Indii ze studie Attermeyer et al. (2016). Tento výzkum se zabýval vlivem plovoucích makrofyt na toky a koncentrace emisí skleníkových plynů z vodní hladiny. Autoři zjistili výrazné snížení difúzních emisí při srovnání volné hladiny a hladiny pokryté makrofyty. Emise těchto plynů z ploch pokrytých vodními hyacinty byly sníženy o 57 % v porovnání s otevřenou hladinou. Průměrné toky CO₂ na volné hladině byly 0.014 ±0.01 m⁻²d⁻¹, oproti tomu toky na hladině pokryté vodním hyacintem byly v průměru 0.005 ±0.001 m⁻²d⁻¹.

Při porovnání denních a nočních emisí je stále nedostatek měření k přesnému posouzení rozdílu. Sledování CH₄ během celého cyklu 24 hodin se zabývá studie Sieczka et al. (2020). Celkově provedli autoři 4580 měření a prokázali tak konzistentní průběh toku CH₄ z malých jezer během celého dne. Nejvyšší toky byly zaznamenány vždy mezi 10:00 až 16:00 h a obvykle nejnižší hodnoty měly toky v nočních hodinách kolem 00:00 až 04:00. Ve dne byly toky téměř v 80 % vyšší než ve večerních měřeních a v průměru 2.4 vyšší. Mezi potenciální faktory, které ovlivňují celkové toky CH₄ během dne, by mohla patřit teplota (Yvon-Durocher et al., 2014). Dále konvektivní mísení (MacIntyre et al., 2010), nebo rychlost větru a turbulence vln, která může způsobit kolísání tlaku a usnadnit ebulici a uvolňování rozpuštěného CH₄ ze sedimentů (Mattson & Likens, 1990).

Navzdory tomu, že jsou tůně důležité pro retenci a zadržování vody v krajině, mohou tyto aluviální tůně často reprezentovat i poměrně signifikantní zdroje skleníkových plynů do atmosféry. Jak zmiňuji v úvodu této práce, dochází k celosvětovým, mnohdy nekontrolovatelným výstavbám malých vodních těles. Nejdříve by se mělo zjistit, do jaké míry dokážou být tyto vodní plochy prospěšné a kdy už naopak nevhodné. Jen v České republice se ročně vybuduje okolo 500 malých tůní (do rozlohy 300 m²), převážně stálých. Pro představu, kdyby průměrná plocha tůně byla 250 m² a emise by byly pozitivní 7 měsíců v roce od dubna do října, poté by celkové množství

emitujících plynů do atmosféry představovalo 127 t CO₂ a 3 t CH₄. Například vedení Jihomoravského kraje si nechalo digitálním modelem terénu vybrat potenciální lokality na vybudování 800 malých vodních ploch, určených především pro boj se suchem. Avšak převážná většina vodních ploch se nachází na tocích nebo v těsné blízkosti a tím mohou ještě více zhoršovat ekologický stav toků a prohlubovat dopady sucha. Vzhledem k velkému výparu z volné hladiny by tyto nádrže přispívaly nejen k prodlužování délky suché části v toku pod nimi (Sychra et al., 2021), ale zcela nepochybně by docházelo i k významnému emitování plynů.

9. Závěr

V mé bakalářské práci jsem prostřednictvím naměřených dat zjistil, jakých koncentrací a emisí dosahují plyny oxid uhličitý a metan v tůních v Litovelském Pomoraví. Jak se dalo předpokládat, hodnoty emisí nebyly nijak výrazně vyšší oproti jiným vědeckým studiím napříč světem. V teoretické části mé práce jsem stručně popsal význam a tvorbu skleníkových plynů se zdůrazněním oxidu uhličitého a metanu, dále pak významné faktory, které ovlivňují toky těchto plynů. Také jsem vypsál jejich význam ve sladkovodních ekosystémech, a to především v tůních. Poté jsem v teoretické části jednoduše vysvětlil princip skleníkového efektu s důrazem na faktory, které ho ovlivňují a v neposlední řadě jsem zmínil problém měnící se velikosti troposféry a stratosféry, způsobené skleníkovými plyny. V další části jsem přiblížil a dodal základní informace o studované oblasti CHKO Litovelské Pomoraví. U metod a sběru dat bylo potřeba vysvětlit základní princip přenosného analyzátoru skleníkových plynů, se kterým se hodnoty koncentrací a emisí měřily. K tomu jsem dodal další parametry, které se na daných lokalitách také zjišťovaly. Ve výsledcích prezentuji konečné hodnoty plynů pro přírodní a umělé tůně, včetně jejich fyzikálně-chemických parametrů. Vedle toho jsou v této práci uvedeny i koncentrace CO_2 a CH_4 a jejich saturační poměr, podle kterého můžeme odhadovat celkové množství emitovaných plynů do atmosféry. Důležitou součástí výsledků jsou samozřejmě i hodinové a celkové denní toky emitovaných plynů a jejich pozitivní korelace s různými parametry. V diskusní části mé bakalářské práce jsem porovnal některé vybrané studie, zabývající se podobným problémem skleníkových plynů z tůní. Zdůraznil jsem nedostatečně probádaná měření, kterým by měla být věnována pozornost. Velmi přínosný by byl výzkum celkového denního cyklu jak CO_2 , tak nepochybně i CH_4 .

10. Seznam literatury

- Attermeyer, K., Flury, S., Jayakumar, R., Fiener, P., Steger, K., Arya, V., Wilken, F., Van Geldern, R., & Premke, K. (2016). Invasive floating macrophytes reduce greenhouse gas emissions from a small tropical lake. *Scientific Reports*, 6(February), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep20424>
- Balmer, M., & Downing, J. (2011). Carbon dioxide concentrations in eutrophic lakes: undersaturation implies atmospheric uptake. *Inland Waters*, 1(2), 125–132. <https://doi.org/10.5268/iw-1.2.366>
- Barbera, A. C., Vymazal, J., & Maucieri, C. (2018). Greenhouse gases formation and emission. *Encyclopedia of Ecology*, 2, 329–333. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10895-4>
- 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>
- Borrel, G., Jézéquel, D., Biderre-Petit, C., Morel-Desrosiers, N., Morel, J. P., Peyret, P., Fonty, G., & Lehours, A. C. (2011). Production and consumption of methane in freshwater lake ecosystems. *Research in Microbiology*, 162(9), 832–847. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2011.06.004>
- Carpenter, S. R., Stanley, E. H., & Vander Zanden, M. J. (2011). State of the world's freshwater ecosystems: Physical, chemical, and biological changes. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 75–99. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021810-094524>
- Catalán, N., Von Schiller, D., Marcé, R., Koschorreck, M., Gomez-Gener, L., & Obrador, B. (2014). Carbon dioxide efflux during the flooding phase of temporary ponds. *Limnetica*, 33(2), 349–360. <https://doi.org/10.23818/limn.33.27>
- Cole, J. J., Prairie, Y. T., Caraco, N. F., McDowell, W. H., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Downing, J. A., Middelburg, J. J., & Melack, J. (2007). Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems*, 10(1), 171–184. <https://doi.org/10.1007/s10021-006-9013-8>

- Cole, Jonathan J., Bade, D. L., Bastviken, D., Pace, M. L., & Van de Bogert, M. (2010). Multiple approaches to estimating air-water gas exchange in small lakes. *Limnology and Oceanography: Methods*, 8(JUNE), 285–293. <https://doi.org/10.4319/lom.2010.8.285>
- Downing, J. A. (2010). Emerging global role of small lakes and ponds: Little things mean a lot. *Limnetica*, 29(1), 9–24. <https://doi.org/10.23818/limn.29.02>
- Duarte, C. M., & Prairie, Y. T. (2005). Prevalence of heterotrophy and atmospheric CO₂ emissions from aquatic ecosystems. *Ecosystems*, 8(7), 862–870. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0177-4>
- Einola, E., Rantakari, M., Kankaala, P., Kortelainen, P., Ojala, A., Pajunen, H., Mäkelä, S., & Arvola, L. (2011). Carbon pools and fluxes in a chain of five boreal lakes: A dry and wet year comparison. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(3). <https://doi.org/10.1029/2010JG001636>
- Hamilton, J. D., Kelly, C. A., Rudd, J. W. M., Hesslein, R. H., & Roulet, N. T. (1994). Flux to the atmosphere of CH₄ and CO₂ from wetland ponds on the Hudson Bay lowlands (HBLs). *Journal of Geophysical Research*, 99(D1), 1495. <https://doi.org/10.1029/93jd03020>
- Holgerson, M. A. (2015). Drivers of carbon dioxide and methane supersaturation in small, temporary ponds. *Biogeochemistry*, 124(1–3), 305–318. <https://doi.org/10.1007/s10533-015-0099-y>
- Holgerson, M. A., & Raymond, P. A. (2016). Large contribution to inland water CO₂ and CH₄ emissions from very small ponds. *Nature Geoscience*, 9(3), 222–226. <https://doi.org/10.1038/ngeo2654>
- Houghton, J. E. T., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, M., & Johnson, C. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. In *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Vol. 881*. (p. 881).
- Jonsson, A., Karlsson, J., & Jansson, M. (2003). Sources of carbon dioxide supersaturation in clearwater and humic lakes in northern Sweden. *Ecosystems*, 6(3), 224–235. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0200-y>

- Kang, S. M., Deser, C., & Polvani, L. M. (2013). Uncertainty in climate change projections of the hadley circulation: The role of internal variability. *Journal of Climate*, 26(19), 7541–7554. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00788.1>
- 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. *Limnology and Oceanography*, 58(6), 1915–1930. <https://doi.org/10.4319/lo.2013.58.6.1915>
- Kelly, C. A., Rudd, J. W. M., Bodaly, R. A., Roulet, N. P., St.Louis, V. L., Heyes, A., Moore, T. R., Schiff, S., Aravena, R., Scott, K. J., Dyck, B., Harris, R., Warner, B., & Edwards, G. (1997). Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir. *Environmental Science and Technology*, 31(5), 1334–1344. <https://doi.org/10.1021/es9604931>
- Lumpkin, R. (2020). State of the climate in 2019 global oceans. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(8), S129–S184. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0105.1>
- MacIntyre, S., Jonsson, A., Jansson, M., Aberg, J., Turney, D. E., & Miller, S. D. (2010). Buoyancy flux, turbulence, and the gas transfer coefficient in a stratified lake. *Geophysical Research Letters*, 37(24), 1–6. <https://doi.org/10.1029/2010GL044164>
- Mann, M. E. (2019). *Greenhouse gas | Definition, Emissions, & Greenhouse Effect | Britannica*. <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>
- Mattson, M. D., & Likens, G. E. (1990). Air pressure and methane fluxes. *Nature*, 347(6295), 718–719. <https://doi.org/10.1038/347718b0>
- Min, S., & Rulík, M. (2020). Comparison of carbon dioxide (CO₂) fluxes between conventional and conserved irrigated rice paddy fields in Myanmar. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su12145798>
- Obrador, B., Von Schiller, D., Marcé, R., Gómez-Gener, L., Koschorreck, M., Borrego, C., & Catalán, N. (2018). Dry habitats sustain high CO₂ emissions from temporary ponds across seasons. *Scientific Reports*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20969-y>

- Pisoft, P., Sacha, P., Polvani, L. M., Añel, J. A., Torre, L. de la, Eichinger, R., Foelsche, U., Huszar, P., Jacobi, C., Karlicky, J., Kuchar, A., Miksovsky, J., Zak, M., & Rieder, H. E. (2021). Stratospheric contraction caused by increasing greenhouse gases. *Environmental Research Letters*, *16*(6), 064038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABFE2B>
- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.r-project.org/>
- Rantakari, M., & Kortelainen, P. (2005). Interannual variation and climatic regulation of the CO₂ emission from large boreal lakes. *Global Change Biology*, *11*(8), 1368–1380. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00982.x>
- Roulet, N. T., Crill, P. M., Comer, N. T., Dove, A., & Boubonniere, R. A. (1997). CO₂ and CH₄ flux between a boreal beaver pond and the atmosphere. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *102*(24), 29313–29319. <https://doi.org/10.1029/97jd01237>
- Šafař, J. (2003). *Chráněná území ČR. VI., Olomoucko*. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky.
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2013). Wetland Ecosystems. In *Biogeochemistry* (pp. 233–274). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385874-0.00007-8>
- 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).
- St. Louis, V. L., Kelly, C. A., Duchemin, É., Rudd, J. W. M., & Rosenberg, D. M. (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: A global estimate. *BioScience*, *50*(9), 766–775. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0766:RSASOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0766:RSASOG]2.0.CO;2)

- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (2013). Climate change 2013 the physical science basis: Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107057999, 1–1535. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Sychra, J., Straka, M., Bojková, J., Polášek, M., & Čamlík, G. (2021). *Vědci: Proč budování 800 vodních ploch na jižní Moravě není bojem se suchem* - *Ekolist.cz*. <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/vedci-proc-budovani-800-vodnich-ploch-na-jizni-morave-neni-bojem-se-suchem>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica, n. d. (n.d.-a). *carbon dioxide* | *Definition, Formula, Uses, & Facts* | *Britannica*. Retrieved June 15, 2021, from <https://www.britannica.com/science/carbon-dioxide>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica, n. d. (n.d.-b). *greenhouse effect* | *Definition, Diagram, Causes, & Facts* | *Britannica*. Retrieved July 19, 2021, from <https://www.britannica.com/science/greenhouse-effect>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica, n. d. (n.d.-c). *methane* | *Definition, Properties, Uses, & Facts* | *Britannica*. Retrieved June 16, 2021, from <https://www.britannica.com/science/methane>
- Torgersen, T., & Branco, B. (2008). Carbon and oxygen fluxes from a small pond to the atmosphere: Temporal variability and the CO₂/O₂ imbalance. *Water Resources Research*, 44(2), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2006WR005634>
- Wilkinson, J., Bors, C., Burgis, F., Lorke, A., & Bodmer, P. (2019). Correction: Measuring CO₂ and CH₄ with a portable gas analyzer: Closed-loop operation, optimization and assessment (PLoS ONE (2018) 13: 4 (e0193973) DOI: 10.1371/journal.pone.0193973).
- Xu, Y., & Cui, G. (2021). Influence of spectral characteristics of the Earth's surface radiation on the greenhouse effect: Principles and mechanisms. *Atmospheric Environment*, 244, 117908. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2020.117908>
- Yvon-Durocher, G., Allen, A., Bastviken, D., Conrad, R., Gudas, C., St-Pierre, A.,

Thanh-Duc, N., & del Giorgio, P. (2014). Methane fluxes show consistent temperature dependence across microbial to ecosystem scales. *Nature*, *507*(7493), 488–491. <https://doi.org/10.1038/NATURE13164>