

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

**Vliv typu hospodaření na emise skleníkových plynů
z travních porostů**

Bakalářská práce

Klára Hajšmanová

Vedoucí práce: RNDr. Jana Macková, PhD.
Specialista, konzultant: prof. Ing. Miloslav Šimek, CSc.

České Budějovice 2014

Hajšmanová K. 2014. Vliv typu hospodaření na emise skleníkových plynů z travních porostů. [The effect of management type on greenhouse gas emissions from grasslands. Bc. Thesis, in Czech] pp. 28. Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace:

Tato práce představuje grantovou žádost na projekt zabývající se vlivem typu hospodaření a hnojení na emise skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O) z travních porostů. Projekt hodnotí denní variabilitu toků sledovaných plynů a změny v sezóně na pastvinách a strojově kosených a mulčovaných loukách ekologické farmy Borová u Českých Budějovic a dále se zabývá vlivem přidaného dusíkatého hnojiva (NH_4^+ , NO_3^- , organické hnojivo) na procesy vedoucí k emisím CO_2 , N_2O a CH_4 .

Anotation:

This work represents the grant application for project dealing with the influence of the type of management and fertilization on greenhouse gas emissions of (CO_2 , CH_4 , N_2O) from grasslands, namely grazed pastures, mown and mulched meadows at an organic farm Borová near České Budějovice. This project evaluates the diurnal gas flux dynamics affected by application of different nitrogen fertilizers (i.e. NH_4^+ , NO_3^- and manure).

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 18.dubna 2014

.....

Klára Hajšmanová

Úvod

Základy civilizace jsou spjaty se vznikem a rozvojem zemědělství. Zemědělská výroba je jedním z tradičních odvětví hospodářství a utváří ráz celé krajiny. Člověk svou činností v historii měnil strukturu krajiny a jedním z jeho výtvorů jsou produkční louky a pastviny a s nimi spojená zemědělská činnost. Zemědělská činnost v užším významu je zaměřená na pěstování rostlin, chov živočichů a na zlepšování jejich vlastností, aby poskytovali co nejvyšší výnos co nejkvalitnějších produktů. Se zvýšenou výrobou souvisí i změny v cyklech živin a zvýšené emise skleníkových plynů. Skleníkové plyny jsou přirozenou součástí atmosféry a díky nim je na Zemi teplota, při které jsou organismy schopny žít. Bez skleníkových plynů v atmosféře by život na Zemi asi zanikl, problémem je však nadměrná produkce těchto plynů lidskou činností, která vede ke zvyšování koncentrace všech významných skleníkových plynů v atmosféře Země. S touto skutečností se stále častěji spojuje možnost zásadních globálních změn klimatu.

Půda a s ní spojená intenzivní zemědělská činnost patří mezi největší zdroje emisí skleníkových plynů v atmosféře. Mezi skleníkové plyny přirozeného původu se řadí vodní pára, oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4) a oxid dusný (N_2O). Hlavní činnosti přispívající k tvorbě skleníkových plynů jsou energetika, doprava, průmysl a intenzivní zemědělství. Z mnoha studií z posledních desetiletí vyplývá, že hospodaření se významně podílí na celkových emisích skleníkových plynů, ale velmi záleží na typu hospodaření, půdních charakteristikách a hnojení.

Následující projekt navazuje na dlouholetý výzkum Ústavu půdní biologie zaměřený na studování příčin a mechanismů emisí N_2O a produkce CH_4 na zimovištích skotu. Cílem projektu je stanovit, jakým způsobem ovlivňuje typ hospodaření aktivitu mikrobiálního společenstva a emise skleníkových plynů (CO_2 , N_2O , CH_4) a jaký vliv má typ použitého dusíkatého hnojení. Navrhovaný projekt popíše denní a sezónní variabilitu emisí sledovaných plynů a přispěje ke zpřesnění odhadů kumulativních emisí za delší časové období. Dále přispěje k odhadu ročních toků skleníkových plynů v různých typech travních porostů a zhodnotí vliv použitého hnojiva na procesy vedoucí k emisím CO_2 , N_2O a CH_4 .

Poděkování:

V první řadě bych ráda poděkovala své školitelce Janě Mackové za věnovaný čas, odborné vedení práce a velkou trpělivost. Velké poděkování patří i prof. Ing. Miloslavu Šimkovi, CSc., za cenné a užitečné rady. V neposlední řadě bych ráda poděkovala Lindě Jíšové za praktické rady a ochotu při práci v laboratoři.

Seznam použitých zkratek a chemického názvosloví:

C uhlík

C_{mic} mikrobiální uhlík

C_{org} organický uhlík

Ca vápník

CH₄ metan

CH₃COOH kyselina octová

C₆H₁₂O₆ glukóza

CO₂ oxid uhličitý

Fe³⁺ železitý kationt

H₂ vodík

H₂O voda

K draslík

KNO₃ dusičnan draselný

Mg hořčík

N dusík

N_{min} minerální dusík

NH₄⁺ amonný kationt

NH₄-N dusík v amonné formě

NH₄NO₃ dusičnan amonný

(NH₄)₂SO₄ síran amonný

N₂O oxid dusný

NO oxid dusnatý

NO₂⁻ dusitanový aniont

NO₃⁻ dusičnanový aniont

NO₃-N dusík v nitrátové formě

O₂ kyslík

P fosfor

SO₄²⁻ síranový aniont

Obsah

1. Současný stav poznání.....	1
1.1. Zemědělství	1
1.1.1. Vývoj zemědělství na našem území.....	1
1.1.2. Travní porosty a jejich management.....	2
1.1.2.1. Pastviny	2
1.1.2.2. Kosené louky.....	3
1.1.2.3. Mulčované louky.....	4
1.2. Cykly C a N v půdě	4
1.2.1. Cyklus C v půdě.....	4
1.2.2. Cyklus N v půdě	5
1.3. Hnojení	7
1.3.1. Dusík z nitrátové formy (N-NO ₃ ⁻)	8
1.3.2. Dusík z amonné formy (N-NH ₄ ⁺)	8
1.3.3. Dusík z organických hnojiv	8
1.4. Skleníkové plyny	8
1.4.1. Faktory ovlivňující emise skleníkových plynů	11
1.4.2. Oxid uhličitý (CO ₂).....	12
1.4.3. Produkce a spotřeba CO ₂ v půdě	13
1.4.4. Metan (CH ₄).....	13
1.4.5. Produkce a spotřeba CH ₄ v půdě	14
1.4.6. Oxid dusný (N ₂ O)	16
1.4.7. Produkce a spotřeba N ₂ O v půdě	16
1.4.8. Principy snížení emisí.....	18
1.5. Shrnutí informací k plánovanému projektu	19
2. Cíle projektu	20
3. Hypotézy	20
4. Návrh projektu	21
4.1. Popis lokality	21
4.2. Terénní měření.....	21
4.3. Laboratorní měření	22
4.4. Vyhodnocení dat.....	25
4.5. Časový harmonogram projektu	26
4.6. Finanční plán projektu	27
4.7. Spolupracující subjekty	27
5. Závěr.....	28
6. Literatura	

1. Současný stav poznání

1.1. Zemědělství

Základy civilizace jsou od počátku spjaty se vznikem a rozvojem zemědělství. Zemědělství se začalo rozvíjet nejméně před 12 000 lety v několika různých oblastech světa během tzv. neolitické revoluce a od té doby prošlo významnými změnami. První zemědělské oblasti se vyskytovaly v místech s vhodnými klimatickými a přírodními podmínkami, jako je úrodná půda, dostatek živin a srážek, často v údolích velkých řek a v pravidelně zaplavovaných oblastech. Nejstarší nálezy pocházejí z oblasti Předního východu, Egypta a Indie. Vznik zemědělské výroby byl základní změnou v životě pravěkého obyvatelstva. Lidé postupně začali sami pěstovat obilniny a chovat dobytek. Člověk začal aktivně působit na přírodu a využíval její bohatství. Rodící se zemědělství ale přispívalo k hustšímu osídlení a neustále narůstající počet obyvatel a potřeba zajištění jejich obživy si vyžadovaly rozšiřování plochy zemědělské půdy (Šimek 2008a).

1.1.1. Vývoj zemědělství na našem území

Do Čech se dostalo zemědělství podunajským kolonizačním proudem přes Slovensko. Začalo ovlivňovat tvář celé krajiny a původní, člověkem neovlivněná krajina postupně mizela (Bioinstitut 2013). Při zabydlování člověk vyklučil přirozenou vegetaci, založil políčka a pastviny pro dobytek a tím začal aktivně měnit krajinu. Pro louky a pastviny bylo nutné nejen odlesňování, ale i udržení stálého bezlesí. Vznikaly újezdy, meze, remízky a aleje podél cest. Tyto změny krajiny a intenzita jejího využití ale souvisejí i s negativními jevy jako jsou např. eroze půdy, ztráta retenční kapacity půdy a vymírání druhů rostlin a živočichů.

Zemědělství v užším významu zahrnuje pěstování plodin (rostlinná výroba) a chov dobytka (živočišná výroba). Charakteristickým rysem zemědělské výroby je vazba na půdu, neboť pěstování rostlin a chov zvířat jsou založeny na využití a obdělávání půdy. V České Republice se dnes hospodaří na 4 264 tis. ha zemědělské půdy, což je přibližně polovina (54 %) celkové rozlohy státu (Int. odk. č. 1). Část zemědělského půdního fondu se ale nachází v oblastech méně příznivých pro intenzivní hospodaření, a proto se obhospodařují jako louky a pastviny.

1.1.2. Trvalé travní porosty a jejich management

Trvalé travní porosty jsou jedny z nejvíce využívaných zemědělských ploch a tvoří velmi důležitou složku přírodních i zemědělských systémů (Soussana a kol. 2007). Nejjednodušší rozdělení travních porostů je dáno hlavním způsobem obhospodařování – na louky a pastviny. Louky a pastviny pokrývají téměř jednu pětinu zemského povrchu a jejich rozloha se neustále zvětšuje. V České republice představují podstatnou část přírody a zabírají přibližně 950 000 hektarů, což je 23% zemědělské půdy (ČÚZK 2011). Jsou to antropogenní společenstva bezlesého charakteru a důležitou podmínkou pro zachování jejich funkcí je správné obhospodařování lidmi po mnoha století. Aby travní porosty znovu nezarůstaly přirozenou vegetací, je nutno je pravidelně kosit nebo spásat dobyt看kem (Rychnovská a Parente, 1997). Typ managementu musí být zvolen s ohledem na složení společenstva, množství živin v půdě a na přístupnosti dané lokality. V současné době ale neexistuje žádný universální typ managementu podporující všechny funkce travních porostů. Mezi základní způsoby obhospodařování luk a pastvin udržující bezlesý charakter patří pastva, kosení a mulčování (Lepš 1999).

Zemědělské půdy včetně půd trvalých travních porostů jsou zdrojem nemalého množství skleníkových plynů, zejména CO_2 , N_2O a CH_4 (Soussana a kol 2007). Emise CO_2 jsou především biogenního původu a souvisejí s pochody půdních mikroorganismů a rostlin. Respirace organismů a rozklad organické hmoty způsobují zvýšení emisí CO_2 , který je následně vyměňován mezi půdou a vegetací. Emise N_2O způsobují hlavně dva mikrobiální procesy: nitrifikace a denitrifikace. Nitrifikace je biologická oxidace amoniaku na nitrit a nitrát. Jako denitrifikace se nejčastěji označuje redukce oxidovaných forem dusíku (NO_3^- a NO_2^-) na plynné sloučeniny N_2O a N_2 , které jsou emitovány půdou (Soussana a kol 2004, Šimek 2008b). CH_4 vzniká při mikrobiálních procesech probíhajících v anaerobních podmínkách např. v zaplavené půdě, v žaludku přežvýkavců a v trávicích traktech jiných živočichů. Uvolněný CH_4 se dostává na povrch půdy a emituje do atmosféry nebo je v půdě spotřebován metanotrofy.

1.1.2.1. Pastviny

Pastviny jsou polopřirozená travní společenstva, která v našich polohách vznikala díky zásahům člověka na plochách původně zarostlých lesem a jinou vegetací. V současné době patří mezi nejrozšířenější travní plochy a nacházejí se roztroušeně po celém území. Podle údajů Českého zeměměřičského a kartografického úřadu zaujímaly pastviny na konci

20. století 3,6 % plochy území České republiky. Zahrnují širokou škálu různých společenstev, která jsou důležitou součástí krajiny, zdrojem druhové rozmanitosti a útočištěm mnoha ohrožených druhů organismů. Jejich druhová rozmanitost je ale oproti minulosti značně snížena. Na pastvinách převládají druhy, které snadno regenerují po spásání dobytkem a vyhovuje jim zvýšený obsah N a P v půdách způsobený vlivem exkrementů (Buček 2000). Dnes slouží pastviny především jako zdroj potravy zejména hospodářských zvířat jako jsou krávy, koně a ovce (Matějková 2001). Spásají se buď celoročně, nebo jsou přepásány několikrát za rok. Pastva je na rozdíl od kosení alespoň částečně selektivní, protože dobytek preferuje určité druhy rostlin a různé druhy dobytka spásají porost odlišným způsobem. Vlivem dobytka také dochází k udusání, narušení drnu a degradaci půdy. Současně dochází k ovlivnění fyzikálních, chemických a biologických vlastností (Šimek a kol 2006, Hynšt a kol. 2007, Chroňáková a kol. 2009). Pohyb dobytka na pastvinách je doprovázen velkými vstupy živin, a to především dusíku (N), uhlíku (C), fosforu (P) a jiných organických látek v podobě zvířecích exkrementů. To vše vytváří příznivé podmínky pro rozvoj půdních mikroorganismů a pro jejich intenzivní činnost, jejímž důsledkem je i tvorba skleníkových plynů (Chroňáková a kol. 2009, Bannert a kol. 2012). Mezi největší zdroje CH₄ na pastvinách patří dobytek, mikrobiální procesy v zažívacím traktu skotu a mikrobiální procesy ve statkových hnojivech (Šimek 2009b). Zvláštním druhem pastvin jsou zimoviště, kde je dobytek soustředěn i přes zimu, a tím dochází k vysoké degradaci půdy a koncentraci organické hmoty (Brůček a kol. 2009). Trvale vysoký vstup živin nemůže být při nízkých teplotách a chybějící rostoucí vegetaci využit rostlinami jako během vegetační sezóny a důsledkem toho jsou relativně vysoké emise CH₄, N₂O a CO₂ (Šimek a kol. 2005).

1.1.2.2. Kosené louky

Dalším typem hospodářských ekosystémů jsou kosené louky. Sečení je základní způsob obhospodařování luk na našem území. Seč probíhá jednou až třikrát během vegetační sezóny, a to podle stanovištních podmínek, intenzity využití a v závislosti na vývoji počasí v daném roce. Na první seč připadá vždy maximum (50-70%) celkové sklizně. Sklizená biomasa se skladuje v podobě sena nebo senáže a v zimních měsících se používá jako krmivo pro dobytek (Blažek 2011). Na kosených loukách dochází k udusání půdy vlivem těžkých strojů a celkovému odstranění biomasy (Chytrý a kol. 2001). Při pouhém kosení jsou však zároveň s biomasou odebírány i živiny, což vede k postupnému ochuzování

stanoviště a snížení produktivity celého ekosystému (Doležal a kol. 2011). Velká část primární produkce je z luk exportována, ale část ztrát živin může být kompenzována aplikací statkových hnojiv a kejdy (Soussana a kol 2007).

Plošně rozsáhlejší porosty luk jsou vázány na oblasti s extenzivním zemědělským obhospodařováním (Chytrý a kol. 2001). Tradiční extenzivní řízení (nízký vstup, nízký výstup) již ale není ekonomické a porosty jsou buď hnojené, nebo opuštěné, což vede ke změnám v druhovém složení vegetace a degradaci půdy (Lepš 1999). Extenzivně hnojené porosty se vyskytují především v aluviích řek, na svazích a v místech bývalých polí většinou v blízkosti sídel. Na loukách jsou emise N_2O a CH_4 velmi nízké. CH_4 se neuvolňuje do atmosféry, ale naopak dochází k jeho oxidaci v půdě. Emise N_2O jsou většinou pod mezí detekce, ale po přidavku hnojiv do půdy se emise N_2O mohou zvýšit (Nitkulicová 2008).

1.1.2.3. Mulčované louky

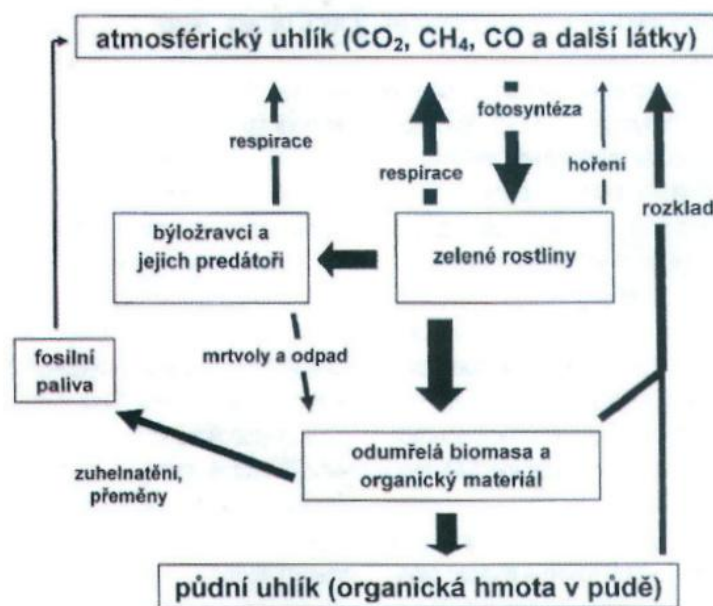
Další možností obhospodařování luk je mulčování. Mulčování porostů na ladem ležících loukách je nový rozvíjející se postup, při kterém se ekologicky likviduje tráva a plevel. V dnešní době není o seno v některých horských a podhorských oblastech příliš velký zájem, protože stavy dobytka se snížily. Mulčování nabízí oproti jiným typům obhospodařování relativně levný způsob údržby luk a odpadá starost s odklizením biomasy. Princip mulčování spočívá v rozdrcení čerstvé biomasy a jejím ponecháním na místě. Dochází k rozkladu a uvolnění značné části obsahu minerálních živin vlivem intenzivní činnosti mikroorganismů (Lexa 2000, Moravcová 2003, Gaisler a kol. 2004). Mulčování na rozdíl od kosení udržuje živiny v ekosystému, zachovává počet druhů, zvyšuje produkci biomasy a pomáhá vytlačit plevel (Doležal a kol. 2011). Na druhou stranu některé mulče při rozkladu mohou působit fyto toxicky, nebo měnit pH půdy. Měření emisí na tomto typu ekosystému jsou vzácná. Šimek a kol. (2001) uvádějí, že po prvním roce zavedení mulčování nedošlo ke změně emisí a k projevu vlivu managementu je zřejmě potřeba delší doba.

1.2. Cyklus C a N v půdě

1.2.1. Cyklus C v půdě

Existují tři velké aktivní rezervoáry C: atmosféra, oceány a pevnina. Rychlost přesunu C mezi atmosférou, hydrosférou a organismy je určována zejména koncentrací plynného CO_2 v atmosféře. Navíc tento cyklus je ovlivňován geochemickými procesy a klimatem. C je

nejrozšířenějším stavebním prvkem živé hmoty a terestrické ekosystémy ho mohou ukládat do své biomasy. Zjišťování množství C je zatíženo velkými nejistotami a nejméně toho víme o zásobníku C v půdních ekosystémech. Půdy obsahují celkově obrovské množství organického uhlíku (C_{org} - 1100-2400 Pg) i C vázaného v anorganických látkách, zejména v uhličitanech (zhruba 700 Pg). Půda obsahuje přibližně dvakrát více C než atmosféra, i více než je uloženo v biomase rostlin a živočichů dohromady. C vstupuje do půdy v podobě odumřelé živočišné a rostlinné biomasy, kořenových exsudátů a organických hnojiv. Aerobní či anaerobní respirací, oxidací metanu a fermentací vzniká jako jeden z produktů CO_2 (Šantrůčková a kol. 2001, obr. 1). Primárním zdrojem půdní organické hmoty jsou různé části rostlin včetně kořenů. Další organické látky se do půdy dostávají spadem a splachem. Zásoba uhlíku v půdě se během sukcese zvětšuje, ale poté zase klesá, protože organickou hmotu v půdě stabilizuje adsorpce na reaktivní minerály. C z půdy ubývá intenzivní činností mikroorganismů.



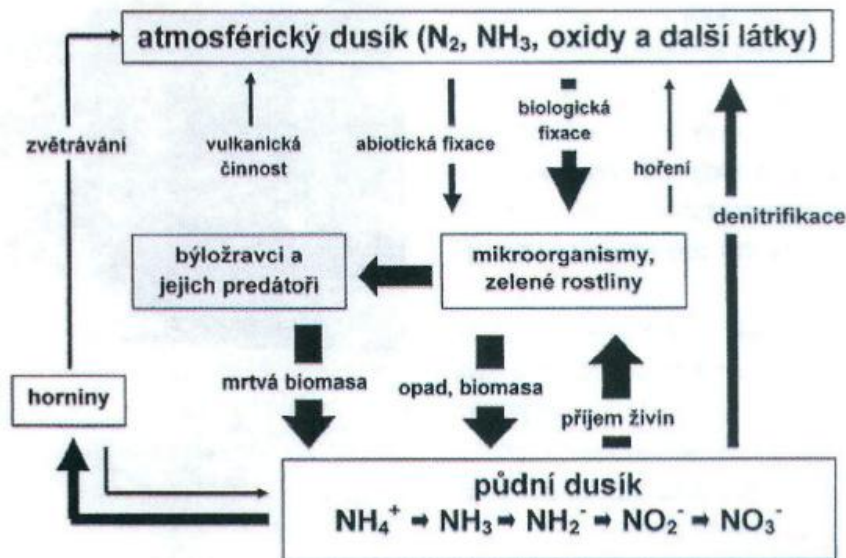
Obr. 1. Cyklus uhlíku v suchozemském ekosystému (převzato z Šimek 2009b).

1.2.2. Cyklus N v půdě

Bilance N v přirozených půdních podmínkách je velmi složitá vzhledem k různě rychlosti dějů, které stav koncentrace N v půdním roztoku ovlivňují. Celkový obsah N je relativně stálý a mění se jenom pomalu. Významným změnám však podléhají aktivní formy N, které se účastní chemických a biologických přeměn v půdě. N se do půdy dostává

z atmosféry buď elektrickým výbojem oxidujícím molekulární N nebo procesem biologické fixace N_2 mikroorganismy jako jsou sinice, hlízkové bakterie a bakterie žijící v asociaci s kořeny rostlin. Do biologických procesů vstupuje N po přeměně z plynné formy na dusičnany, i když různými organismy může být přijímán také ve formě amoniaku, dusitanů, močoviny, nukleových kyselin nebo bílkovin (Hrčková a kol. 2010, obr. 2). N představuje důležitou součást různých organických dusíkatých sloučenin, jako jsou např. biomasa mikrobů, metabolity organismů žijících v půdě, rostlinné a živočišné zbytky a stabilní organické sloučeniny, jejichž N je ale až na výjimky rostlinám nedostupný. Pro výživu rostlin je rozhodující N, který je ze stabilních dusíkatých sloučenin v půdě uvolňován mineralizací. Mineralizace probíhá aerobním rozkladem půdní organické hmoty. Vzniklé aniony NO_3^- se nacházejí v půdním roztoku a kationy NH_4^+ jsou výměnným způsobem vázány na půdní sorpční komplex nebo pevně fixovány do mezivrstevních prostorů jílových minerálů (Zehnálek a kol. 2006). Z celkového množství N jsou pouze 1–2 % rostlinám dostupné ve formách amonné (NH_4^+) a nitrátové (NO_3^-). Vzniklé ionty NO_3^- se rychle vymývají z půdy, protože se jen velmi málo váží na půdní koloidy. Určité množství NO_3^- je při vhodných podmínkách díky činnosti denitrifikačních bakterií přeměněno na N_2O či N_2 . Stanovení obsahu N a jeho forem v půdě je důležité pro pochopení dynamiky a přeměn N v půdě a pro určení hnojení dusíkatými hnojivy tak, aby nedocházelo k degradaci půdní organické hmoty a byla zachována trvale udržitelná úrodnost půd.

Bilance N v přirozených půdních podmínkách je problematická vzhledem k množství a různé rychlosti dějů, které ovlivňují koncentraci N v půdě. Na jaře se v důsledku oteplování půdy zvyšuje činnost mikroorganismů a obsah N_{min} dosahuje maximální hodnoty (jarní maximum). Odběrem N rostlinami i postupným snižováním intenzity mineralizace se obsah N_{min} v půdě snižuje až na relativně stálou hodnotu, která je těsně před sklizní a po sklizni (letní minimum). Při příznivých vlhkostních a teplotních podmínkách se na podzim začíná obsah N_{min} v půdě zvyšovat mineralizací posklizňových zbytků (podzimní maximum) a následně před zimou opět klesá, protože poklesem teplot se snižuje aktivita mikroorganismů (zimní minimum). Velkou sezónní variabilitu N_{min} v půdě je třeba zohledňovat a využívat v praktické výživě rostlin při určování množství N ke konkrétním zemědělským plodinám před zasetím, ale i při přihnojování v průběhu růstu vegetace (Balík a kol. 2012).



Obr. 2. Cyklus dusíku v suchozemském ekosystému (převzato z Šimek 2009b).

1.3. Hnojení

Hnojení je jedním z nejdůležitějších agronomických opatření pro trvale udržitelné zemědělství a především pro zvětšení výnosů a kvality hospodářských plodin. Hnojiva jsou látky, které jsou pro rostliny buď zdrojem živin, nebo umožňují zlepšit jejich výživu. Trvalé travní porosty v České republice se nacházejí zejména na kambisolech, podzoselech a stagnosolech. Z výsledků agrochemického zkoušení půd vyplývá, že 38 % je slabě kyselých a 32 % kyselých až extrémně kyselých, proto má hnojení svůj opodstatněný význam, protože zlepšuje vlastnosti půd a zajišťuje větší výnosy (Fiala a kol. 2007).

Podle původu rozeznáváme hnojiva organická a průmyslová. Mezi organická hnojiva se řadí hlavně chlévský hnůj, kejda, močůvka, sláma, kompost. Kromě živin obsahují i organické látky, které podporují vznik humusu. Složení organických hnojiv je různé a závisí na nakládání s těmito hnojivy (Šimek 2008a).

Přidáním hnojiva do půdy se změní poměr klíčových živin, sníží se limitace N a P a zvýší se rychlost dekompozičních procesů (Van Oorschot 1994; Sánchez – Martín a kol. 2008). Rostliny typicky využijí asi jen 20-80% poskytnutých živin. Různé množství hnojiv přidávaných do půdy má vliv na půdní mikrobiální společenstvo a mění vlastnosti půdy. Dalším problémem je aplikace hnojiva za nepříznivých podmínek a v nesprávnou roční dobu. Rostliny produkují vlivem hnojení více kořenových exsudátů. Zvyšuje se rostlinná produkce a tím roste i množství opadu, jehož produkce převyšuje dekompozici. Sníží se koncentrace O₂ v půdě a vzniká anaerobní prostředí, které podporuje produkci

CH₄ (Šantrůčková a kol. 2001). Rychlejší růst rostlin přináší kromě větší tvorby kořenových exudátů také vyšší kořenovou respiraci a do půdy se uvolňuje více CO₂. Vliv hnojiv na produkci skleníkových plynů je nejednoznačný a při jeho studiu se musí brát ohled na půdní charakteristiky a klimatické faktory (Zhang a kol. 2007).

1.3.1. Dusík z nitrátové formy (N-NO₃⁻)

N-NO₃⁻ je snadno a rychle vstřebáván rostlinami, je v půdě vysoce mobilní a rychle se dostává ke kořenům rostlin. Použití N ve formě NH₄NO₃ poskytuje okamžitý zdroj živin. Prakticky veškerý N v půdě, ať už je aplikován jako močovina, v amonné formě či jako NO₃⁻, skončí před absorpcí rostlinami jako dusičnanový aniont. Je-li NO₃⁻ aplikován přímo, jsou vyloučeny ztráty z transformace močoviny na amonnou formu a z ní na NO₃⁻. Záporný náboj NO₃⁻ podporuje příjem kladně nabitých živin, jako jsou Mg, Ca a K (Yara International 2011).

1.3.2. Dusík z amonné formy (N-NH₄⁺)

N-NH₄⁺ je přímo, ale pomalu vstřebáván rostlinami. Kladně nabité ionty se fixují na půdní minerály a jsou v půdním prostředí méně mobilní než ionty NO₃⁻. Kořeny rostlin proto musí růst směrem k amonnému dusíku. Většina amonného dusíku se přemění na NO₃⁻ působením půdních mikrobů. Tento proces nitrifikace závisí na teplotě a trvá jeden až několik týdnů. Další část amonného dusíku je imobilizována půdními mikroby a uvolní se až za dlouhou dobu, neboť je vázána v půdní organické hmotě (Yara International 2011).

1.3.3. Dusík z organických hnojiv

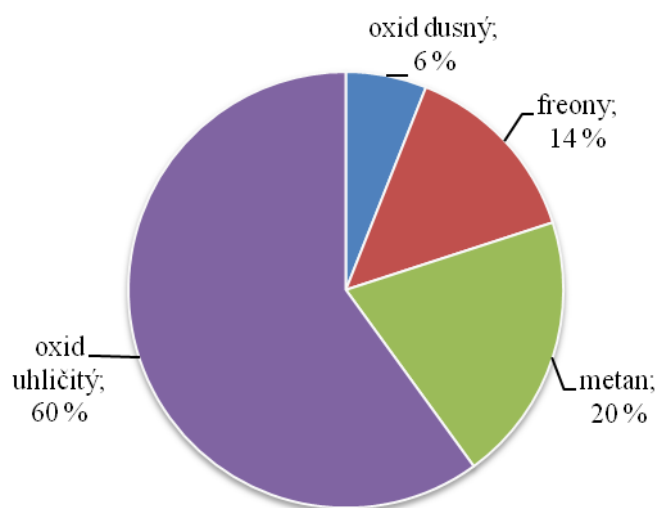
Využívání N z organických statkových hnojiv je proti minerálnímu N levnější. Minimalizují se vnější vstupy a využívají se vnitřní, které jsou v zemědělství přítomny v rámci koloběhu látek. Statková hnojiva neobsahují jen N, ale i organické látky, makroprvky, mikroprvky a bakterie (Fiala a kol. 2007).

1.4. Skleníkové plyny

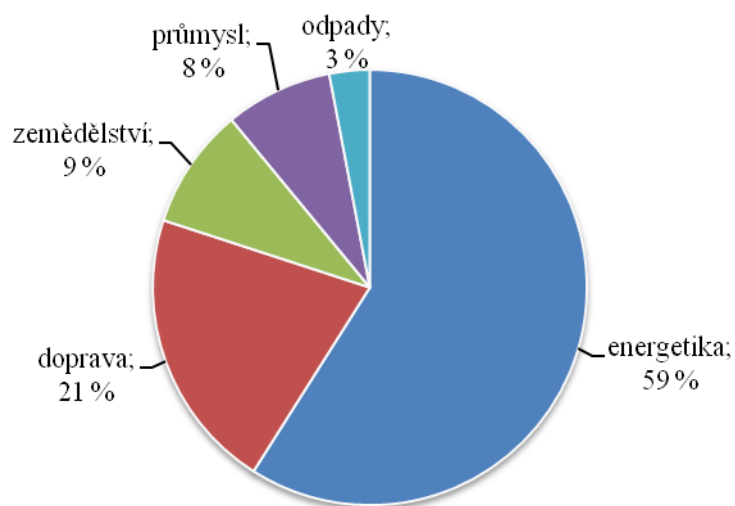
Emise skleníkových plynů a možné globální důsledky zvyšování koncentrace těchto plynů v atmosféře Země patří v poslední době mezi hodně diskutovaná témata. Bez skleníkových plynů v atmosféře by život na Zemi patrně zanikl, ale jejich nárůst znamená menší ztrátu tepla vně zemské atmosféry a předpokládaný nárůst teploty na povrchu Země,

který povede ke globálním změnám klimatu (Webb 1992). Skleníkové plyny způsobují svou přítomností a svými vlastnostmi omezení úniku tepelné energie z atmosféry do kosmu, a tím významně přispívají k ohřívání zemského povrchu a způsobují skleníkový efekt. Díky skleníkovému efektu máme na Zemi průměrnou teplotu kolem +15 °C. Pokud by zemská atmosféra tento skleníkový efekt neměla, teplota na povrchu Země by byla výrazně nižší a podmínky k životu by byly nepříjemné. Problémem je, že koncentrace skleníkových plynů v atmosféře se zvyšuje a má nebo bude mít za následek zvyšování teploty na Zemi. Známe 35 plynů s těmito vlastnostmi, ale jen šest jich má větší význam. Mezi hlavní skleníkové plyny přirozeného původu se řadí vodní pára, oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄) a oxid dusný (N₂O). Antropogenní produkce CO₂ je zodpovědná za 60% globálního zvýšeného účinku, produkce CH₄ za 20% a N₂O za 6% (Obr. 3). Tyto plyny se uvolňují do prostředí v důsledku mnoha lidských aktivit a činností a také řadou přirozených člověkem neovlivněných procesů. S nástupem průmyslové revoluce v 18. století, ale i s rozvojem zemědělství začal člověk více ovlivňovat své prostředí včetně složení atmosféry a koncentrace skleníkových plynů v atmosféře se výrazně zvýšila (Obr. 4). Od roku 1750 do roku 2006 se zvýšila koncentrace CO₂ z 270 ppm na 381 (+36%), a odhaduje se, že je to způsobeno z 80% spalováním fosilních paliv a biomasy a z 20% změnami ve využití půdy a krajiny. Koncentrace CH₄ se zvýšila ze 700 ppb na 1782 ppb (+155%). Na tomto nárůstu má podíl nejen těžba a využívání fosilních paliv a skládky odpadů, ale také zemědělství a v rámci zemědělských aktivit hlavně chov skotu a pěstování rýže (Šimek 2009a). Koncentrace N₂O stoupla z 270 ppb na 320 ppb (+19%). Doba zdržení CO₂ v atmosféře je pět let, CH₄ devět let a N₂O dokonce 120 let (Teiter a kol. 2005). Největším zdrojem emisí, a tím i potenciálního oteplovacího efektu, je energetika. Mezi další významné zdroje skleníkových plynů patří půda a s ní spojená zemědělská činnost, která tvoří 12 až 22% (Šimek 2009b, obr. 5).

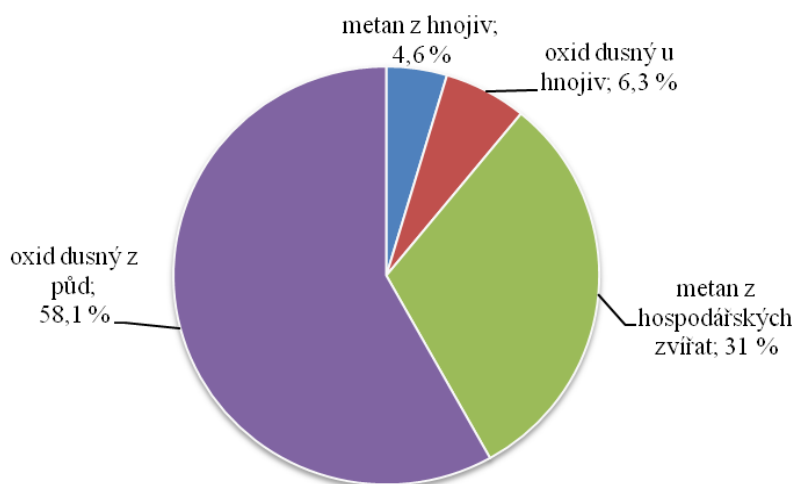
Základním dokumentem týkajícím se tohoto problému je Kjótský protokol z roku 1997, který zavazuje k redukci emisí skleníkových plynů (Primack a kol. 2011). V České republice je pověřen inventarizací antropogenních emisí skleníkových plynů Český hydrometeorologický ústav, který spravuje národní inventarizační systém emisí skleníkových plynů (Šimek 2009c). Počítačové klimatologické modely předpovídají, že kolem roku 2100 vzroste průměrná teplota povrchu Země vůči dnešku možná až o 2-4 °C následkem zvýšení koncentrací skleníkových plynů (IPCC 2007).



Obr. 3. Podíl hlavních skleníkových plynů na antropogenním potenciálním oteplujícím efektu v celosvětovém měřítku (převzato z Šimek 2009b).



Obr. 4. Podíl jednotlivých sektorů na antropogenních emisích skleníkových plynů přepočtených na CO₂ eq v zemích EU-15 v roce 2006 (převzato z Šimek 2009b).



Obr. 5. Emise skleníkových plynů přepočtené na CO₂ eq ze zemědělství v České republice v roce 2005 (převzato z Šimek 2009b).

1.4.1. Faktory ovlivňující emise skleníkových plynů

Teplota půdy

Teplota půdy významně ovlivňuje fyzikální, biologické i chemické procesy v půdě. Během teplých letních měsíců dochází ke kulminaci emisí, protože se zvyšuje teplota půdy i vzduchu (Zhang a kol. 2007). Naopak nízké teploty půdy snižují aktivitu mikroorganismů, a tím i emise z půdy.

Vlhkost půdy

Vlhkost půdy je klíčovým faktorem řídícím emise skleníkových plynů. Pokud dochází k vysychání a tím i k provzdušnění půdy, dochází také ke snižování emisí z půdy a půda se stává úložištěm CH₄, který je zde oxidován na CO₂. Naproti tomu může dočasné zvýšení vodní hladiny následované jejím poklesem uvolnit plyny z hlubokých vrstev. Anaerobní prostředí podporuje činnost metanogenních a denitrifikačních bakterií a snižuje rychlost metanotrofie a oxidačně redukční potenciál.

pH půdy

Nitrifikace a produkce CO₂ zvyšují kyselost půdy, která může limitovat aktivitu metanogenů i metanotrofů a snižuje denitrifikaci i nitrifikaci. Pro denitrifikaci je optimální

pH = 7-8 a pro nitrifikaci pH > 4. Metanogeneze nejintenzivněji probíhá v neutrálním pH, při kterém jsou dobře dostupné živiny a zároveň jsou toxické prvky imobilizované.

Půdní organická hmota

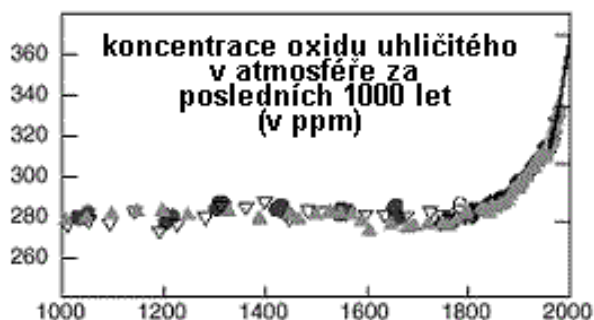
Množství a kvalita půdní organické hmoty jsou dalším z velmi důležitých faktorů. Oxidací organických hmoty podstatná část mikroorganismů získává energii nutnou pro jejich životní pochody. Organická hmota je hlavním zdrojem živin pro metanogeny a tím zvýšení produkce CH₄. Při nedostatku organické hmoty v půdě se sníží činnost metanogenních bakterií a emise CH₄.

Vegetace

Druhové složení vegetace má velký vliv na emise plynů z ekosystému. S větším množstvím vegetace se zvyšuje listová plocha, fixace CO₂ a začne převažovat asimilace C do ekosystému. Aerenchym přenáší O₂ z atmosféry do kořenů rostlin, kde se uvolňuje a vytváří aerobní podmínky v rhizosféře, které umožňují oxidaci CH₄ na CO₂ a inhibují činnost anaerobních organismů.

1.4.2. Oxid uhličitý (CO₂)

CO₂ je do atmosféry uvolňován přírodními procesy, např. respirací rostlin a živočichů, rozkladem organických látek, sopečnými erupcemi, požáry a dalšími aerobními či anaerobními procesy. Přirozené emise uhlikatých plynů však v poslední době narušuje člověk svými aktivitami, jako spalování fosilních paliv a biomasy a automobilová doprava (Walter a kol. 2006). Ale hlavním zdrojem emisí CO₂ do atmosféry je respirace organismů. Koncentrace CO₂ v atmosféře se během posledních 100 let zvýšila z 290 ppm na současných cca 383 ppm a předpokládá se, že někdy během druhé poloviny tohoto století se dokonce zdvojnásobí (Primack a kol. 2011, obr. 6).



Obr. 6. Koncentrace CO₂ v atmosféře za posledních 1000 let v ppb (převzato z int. odk. č. 2).

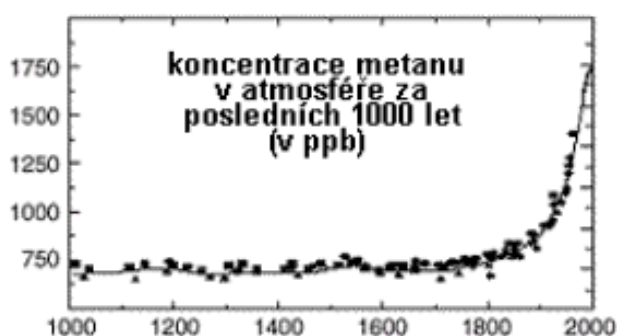
1.4.3. Produkce a spotřeba CO₂ v půdě

Koncentrace CO₂ v půdním vzduchu jsou mnohonásobně vyšší (běžně kolem 1,0 obj. %) než v atmosféře (0,038 obj. %). Hlavním zdrojem CO₂ v půdě je aerobní či anaerobní respirace organismů, fermentace a oxidace CH₄. Vzniklý CO₂ se z půdy buď emituje do ovzduší, transformuje nebo se ukládá do biomasy (Jůzl a kol. 2005). CO₂ je v půdě v aerobním prostředí využíván autotrofními mikroorganismy, jako jsou např. řasy, sinice a lišejníky, zatímco v anaerobním prostředí je spotřebováván např. metanogenními mikroorganismy. Spotřeba mikroorganismy v půdě má svůj nezastupitelný význam, ale v porovnání s produkcí CO₂ je malá (Šimek 2009b). 75 % veškerého CO₂ z půd je produkováno v prvních 20 cm půdního profilu a produkce závisí na celé řadě faktorů - primárně na teplotě a vlhkosti půdy, ale přímo či nepřímo na řadě dalších faktorů (Conant a kol. 2011, Blecha a kol. 2012). Emise CO₂ jsou výrazně ovlivněny typem vegetace a změnou druhového složení, proto je nutné vzít v úvahu kosení, druhové složení a poškození vegetace (Keller a kol. 2005). Zvýšené emise CO₂ ze zemědělství jsou dány změnami ve využívání půdy, které vedou k vyššímu rozkladu organické hmoty v půdě (Šimek 2009b). Se stoupající teplotou se rychlost difuze zvyšuje a s vyšší vlhkostí naopak rychlost difuze klesá. Ke zvýšení emisí dochází vždy na jaře, po spasení a sečení se naopak emise vždy sníží (Soussana a kol 2007).

1.4.4. Metan (CH₄)

CH₄ je druhým nejvýznamnějším skleníkovým plynem, který přispívá ke globálnímu oteplování (Bouwman 1990, obr. 7). Existuje v obrovských množstvích

v sedimentech mořského dna po celém světě. Do atmosféry se uvolňuje přírodními procesy, které tvoří skoro 30% celkových emisí. Zdrojem CH₄ jsou mokřady, tání permafrostu, sopečné erupce a biochemické procesy v jezerech, ale i termity a jiní živočichové, respektive metanogenní mikroorganismy v jejich trávicích traktech. Lidstvo vyprodukuje 70% celkových emisí CH₄, a to především chovem dobytka (30%), pěstováním rýže na zaplavených polích (30%), ostatní zemědělskou činností, spalováním biomasy a provozem skládek (Sommer a kol. 2000; Le Mer a kol. 2001, Nazaries a kol. 2013). Tok CH₄ do atmosféry a zvyšování atmosférické koncentrace může silně ovlivnit globální klima (Joye 2012).



Obr. 7. Koncentrace CH₄ v atmosféře za posledních 1000 let v ppb (převzato z int. odk. č. 3).

1.4.5. Produkce a spotřeba CH₄ v půdě

Půda je zdrojem, ale i spotřebitelem CH₄, a to zejména výše položené travní porosty. Čistý tok CH₄ z ekosystému je rozdíl mezi jeho produkcí a oxidací. Oxidace i produkce CH₄ je ovlivněna několika faktory, jako je půdní organická hmota, O₂ v půdě, teplota, vlhkost a pH půdy (Baldock a kol. 2012). Odhaduje se, že zhruba 1-2 % fotosynteticky fixovaného CO₂ se přemění na biogenní CH₄.

CH₄ vzniká metanogenezí v anaerobní zaplavené půdě a spotřebovává se oxidací metanotrofy v aerobní i anaerobní půdě. Mikrobiální procesy jsou řízeny řadou fyzikálních proměnných a proměnných životního prostředí jako jsou např. složení substrátu, výška hladiny podzemní vody, dostupnost živin a hodnota pH. CH₄ je produktem metabolismu metanogenních archeí při procesu metanogeneze (Nazaries a kol. 2013). Metanogeneze je konečný krok anaerobního rozkladu a probíhá ve velmi rozmanitých prostředích (chladných

x horkých, alkalických x slabě kyselých) s $\text{pH} < 5$. Pro tento proces je důležité striktně anaerobní prostředí a nízký redoxní potenciál kdy chybí anorganické elektronové akceptory (např. NO_3^- , Fe^{3+} , SO_4^{2-}) a nastává rozklad organických látek podle reakce:



Metanogenní Archea patřící do říše Euryarcheota lze rozdělit do tří tříd: *Methanobacteria*, *Methanococci* a *Methanopyri* (Whitman a kol. 2001). Jsou to extremofilní mikroorganismy vyskytující se jak v habitatech s vysokou teplotou, koncentrací solí a tlakem, tak v půdě, sladké vodě či v moři. Většinou obývají anoxická prostředí, jako jsou rašeliniště, bažiny, bachory přežvýkavců a rýžoviště. Metanogeni nejsou schopni využívat vysokomolekulární polymery a využívají jen několik málo substrátů, z nichž jsou významné zejména acetát, CO_2 a H_2 . Rozlišujeme dvě převládající formy metanogeneze. První z nich využívá pro tvorbu CH_4 acetát (acetotrofní metanogeneze) a druhá CO_2 a H_2 (hydrogenotrofní metanogeneze), podle následujících reakcí (Games a kol. 1978, Angel 2010).



K produkci CH_4 jsou podstatné následující čtyři chemické procesy (Conrad a kol. 1989; Le Mer a kol. 2001):

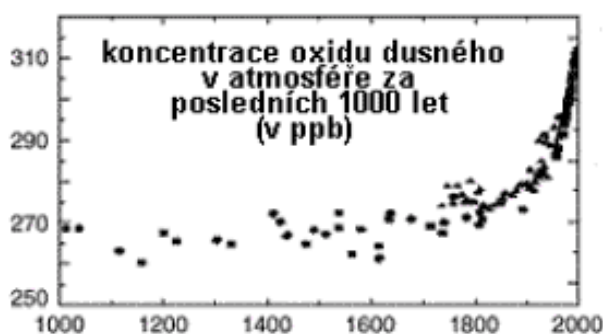
1. hydrolýza polymerů na monomery, která probíhá v anaerobním i aerobním prostředí
2. acidogeneze (těkavé mastné kyseliny, organické kyseliny, alkoholy, H_2 a CO_2), kterou zajišťuje anaerobní mikroflóra
3. acetogeneze
4. metanogeneze

Část vzniklého CH_4 v půdě se uvolní do atmosféry prostou difuzí. Zbytek je spotřebován metanotrofními bakteriemi, které ho oxidují na CO_2 a vodu (Borken a kol. 2002, Phillips a kol. 2008, Angel 2010). Metanotrofní bakterie jsou aerobní organismy patřící do skupiny Eubakterie. Pro svůj růst a získání potřebné energie využívají jednoduché sloučeniny. Klíčovým enzymem metanotrofů je metan monooxygenáza, která je zodpovědná

za včlenění O_2 do molekuly CH_4 a jeho přeměnu na CH_3OH (Elhottová a kol. 2007). Množství půdou spotřebovaného CH_4 závisí na množství vody a koncentraci O_2 v půdě, na způsobu využívání půd a na koncentraci amoniaku. Amoniak silně inhibuje oxidaci CH_4 .

1.4.6. Oxid dusný (N_2O)

N_2O je vedle CO_2 a CH_4 třetím hlavním plynem se skleníkovým účinkem. Řadí se mezi méně reaktivní plyny, ale výrazně se podílí na globálním oteplování Země a také na poškozování ozonové vrstvy (Nitkulicová 2008). N_2O se dostává do atmosféry z různých zdrojů, mezi nimiž dominuje půda. Vzniká především v anaerobních půdách s nadbytkem N a při jeho nedokonalých přeměnách při procesech mineralizace, nitrifikace a denitrifikace. Koncentrace N_2O v atmosféře se od roku 1750 zvýšila z původních asi 270 ppb na 318 ppb a neustále stoupá (Obr. 8). Toto zvýšení je zřejmě převážně vyvoláno zemědělstvím, fosilními palivy a průmyslem (Šimek 2009a). Půdy jsou nejen zdrojem, ale i spotřebitelem N_2O , protože některé půdní mikroorganismy ho mohou odčerpávat.



Obr. 8. Koncentrace N_2O v atmosféře za posledních 1000 let v ppb (převzato z int. odk. č. 4).

1.4.7. Produkce a spotřeba N_2O v půdě

Mezi lidské aktivity s nejvyšší produkcí N_2O patří zemědělská činnost (IPCC 2001), která poskytuje denitrifikačním bakteriím dostatek NO_3^- přidavkem hnojiv (Kroeze a kol. 1999). Zhruba 1,3 % N přijatého půdou ve formě organických a minerálních hnojiv a 1 % N fixovaného půdou z atmosféry je uvolněno zpět do atmosféry ve formě N_2O (IPCC 2001). Přeměny dusíkatých látek v ekosystémech jsou většinou součástí biologických procesů prováděných mikroorganismy. Jsou to procesy mineralizační, kdy z organických

látek je uvolňován NH_3 a ten je většinou dále oxidován na NO_3^- . V půdách probíhají současně i opačné procesy imobilizační, kdy jsou minerální formy dusíku, především amonné ionty vázány mikroorganismy a zabudovány do organických sloučenin. N_2O v půdě vzniká jako vedlejší nebo hlavní produkt dvěma biologickými procesy: nitrifikací a denitrifikací (Obr. 9). Při nitrifikaci dochází k přeměně NH_4^+ na NO_3^- . Nitrifikace se účastní autotrofní organismy a dochází ke spotřebě O_2 a uvolnění iontů H^+ , které okyselují půdu. Amonný dusík je postupně oxidován autotrofními mikroorganismy až na NO_3^- podle níže uvedených reakcí, menší část N je nicméně obvykle transformována i na N_2O :



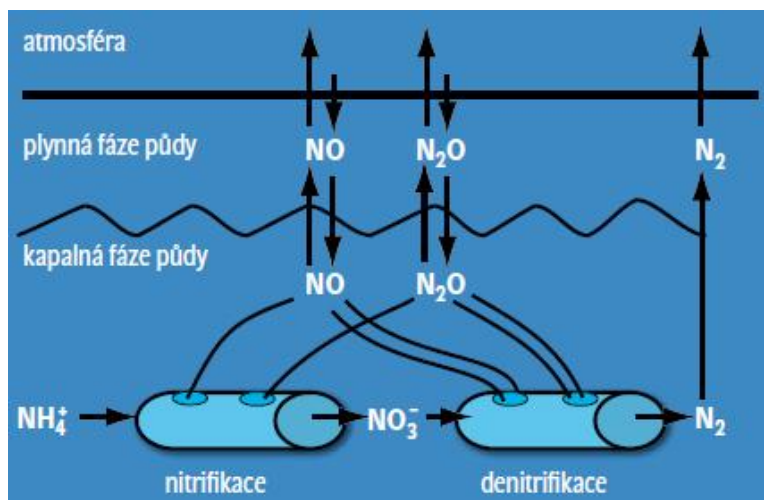
Denitrifikace je naopak redukční proces, kdy nitráty jsou za přítomnosti organických látek redukovány na N_2O a N_2 podle reakce (Baldock a kol. 2012):



V našich podmínkách převažuje biologická denitrifikace způsobená fakultativně anaerobními mikroorganismy, které během rozkladu využívají kyslík nitrátů. Pro denitrifikaci je nezbytné anaerobní prostředí nebo alespoň nízká koncentrace O_2 . Denitrifikace je hlavní proces emisí N_2O ve všech půdách (Čuhel a kol. 2010). Méně významná je tzv. chemická denitrifikace (redukce NO_2^- v kyselém prostředí za přítomnosti amidů a bez účasti mikroorganismů), protože NO_2^- se mohou v půdě vyskytovat jen ojediněle a krátkodobě.

I žížaly často zvyšují emise N_2O , a to prostřednictvím jejich účinků na půdní nitrifikaci a denitrifikaci (Speratti a Whalen 2008). Jelikož jsou citlivé na sucho, pod povrchem těla mají cévy, které umožňují výměnu plynů mezi vnějším prostředím a hemolymfou. Vodorozpustné dusíkaté látky jsou vylučovány metanefridiemi na povrch těla. Proto téměř polovina půdních mikroorganismů, které poutají vzdušný N (aerobních fixátorů), se nachází ve stěnách žížalích chodeb, které jsou pro ně ve srovnání s okolní půdou daleko příznivější než okolí. Navíc chodbičky obsahují dusíkaté látky, které žížala zpřístupnila rostlinám ve svých výkalech (Bioinstitut 2010). Zvýšená produkce N_2O nastává

v situaci, kdy je v půdě nadbytek N, který mohou využít mikroorganismy. Emise N_2O jsou vysoké u půd hnojených vyššími dávkami dusíkatých hnojiv, po zapravení na dusík bohatých zbytků a u půd pastvin, kde dobytek zanechává velké množství exkrementů (Šimek 2009b).



Obr. 9. Model regulace a vzájemných vztahů nitrifikace a denitrifikace v půdě (převzato z Šimek 2008b)

1.4.8. Principy snížení emisí

Snížení emisí skleníkových plynů lze docílit třemi základními způsoby. Základním principem snížení emisí je omezení tvorby skleníkových plynů. Toho lze v agroekosystémech dosáhnout efektivnějším využitím C a N. Snížit emise N_2O lze omezením použití dusíkatých hnojiv a zvýšením využití živin plodinami, protože při hnojení dusíkatými hnojivy část N zůstává v půdě, ale větší podíl uniká do ovzduší nebo se z půdy vyplaví. Zvýšení stravitelnosti potravy dobytka a tím zefektivnění příjmu živin vede ke snížení emisí CH_4 .

Druhou možností snížení emisí skleníkových plynů je zvýšení jejich spotřeby v půdě a zvýšení ukládání C a N v zemědělských půdách. Půdní organická hmota se vytváří přeměnou organických látek z C fixovaného fotosyntézou. Současně se organické látky v půdě rozkládají a mineralizují na CO_2 a CH_4 . Převládne-li v půdě ukládání C a N do půdní organické hmoty, mluvíme o čisté spotřebě C a N a zároveň se omezí produkce a emise skleníkových plynů. Půda působí nejen jako producent, ale taky jako účinný spotřebitel CH_4

i N_2O . Metanotrofní bakterie oxidují vznikající CH_4 v půdě i ve vzduchu a denitrifikační bakterie sice produkují N_2O z NO , ale i N_2O redukuje na molekulární N_2 .

Třetí možností je snížení nebo úplná náhrada fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie (Šimek 2009c).

1.5. Shrnutí informací k plánovanému projektu

V poslední době roste naléhavá potřeba najít ekonomicky přijatelné, biologicky rozmanité a šetrné způsoby hospodaření na loukách a pastvinách (Mašková a kol. 2009). Jelikož různé typy hospodaření rozdílně ovlivňují zásobu živin a cykly C a N, zajímáme se, který způsob hospodaření a jakou mírou ovlivňuje oxidaci a produkci CH_4 , nitrifikaci, denitrifikaci a mineralizaci C a jak přispívá k emisím skleníkových plynů.

Všechny mnou sledované skleníkové plyny (CO_2 , CH_4 , N_2O) vznikají biologickými i abiotickými procesy v půdách, a to bez ohledu na klimatické podmínky, typ a druh půdy a způsob jejího využití. Půda je současně i místem spotřeby všech těchto plynů. Poměr mezi produkcí a spotřebou závisí na mnoha okolnostech a podle toho za určitých podmínek může v půdě převážit produkce nebo spotřeba skleníkových plynů (Šimek 2009b). Mezi hlavní ovlivňující faktory patří půdní vlhkost, teplota půdy, pH, obsah živin a množství a kvalita organické hmoty v půdě.

V tomto projektu se budu zabývat vlivem použité technologie (pasení, sečení, mulčování) a hnojení (průmyslové hnojivo, organické hnojivo) na emise skleníkových plynů a aktivitu mikrobiálního společenstva na různých typech obhospodařovaných travních porostů. Aplikovaný management luk a pastvin může mít velký vliv na ukládání C a N v půdě a na emise skleníkových plynů.

2. Cíle projektu

- 1) Stanovit jakým způsobem ovlivňuje typ hospodaření aktivitu mikrobiálního společenstva a emise skleníkových plynů (CO_2 , N_2O , CH_4).
- 2) Stanovit jaký vliv má forma použitého dusíkatého hnojení (dusičnanové, amoniakální a organické hnojivo) na emise sledovaných skleníkových plynů.
- 3) Stanovit jak se liší emise sledovaných plynů u pastvin, kosených a mulčovaných luk v průběhu dne a v průběhu sezóny.

3. Hypotézy

Na základě předchozích literárních znalostí předpokládám že:

- 1) Na pastvinách budou zvýšené emise CH_4 a N_2O . V procesech bude převládat metanogeneze a denitrifikace.
- 2) Nejvyšší emise CH_4 a N_2O na zimní pastvině očekáváme na jaře, protože dojde k rozkladu C a N z exkrementů akumulovaných přes zimu.
- 3) Na loukách budou velmi nízké emise CH_4 i N_2O , budou převládat oxidační procesy CH_4 a nitrifikace. Po mulčování dojde k nárůstu emisí CH_4 i N_2O .
- 4) Na loukách očekáváme nejvyšší emise CO_2 v létě a ke konci vegetační sezóny se emise budou snižovat.
- 5) Přidáním amoniakálního hnojiva ve formě $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i dusičnanového hnojiva ve formě KNO_3 dojde k inhibici oxidace CH_4 a zvýšení produkce N_2O i CO_2 .
- 6) Přídavkem organického hnojiva ve formě hnoje dojde ke změně poměru C/N a ke zvýšení produkce N_2O i CO_2 a nedojde k inhibici oxidace CH_4 .

4. Návrh projektu

4.1. Popis lokality

Lokalita Borová (48°52 S, 14°13 V) se nachází na jihu Čech v nadmořské výšce 620 m.n.m. v chráněné krajinné oblasti Blanský les (Obr. 10). Využívané plochy jsou součástí ekologické farmy Borová (cca 220 ha travních porostů), která se zabývá především chovem skotu bez tržní produkce mléka a chovem koní ke sportovním účelům. Převládají půdy typu kambizemě. Průměrné množství C a N v půdě ovlivněné skotem je 64 mg C g^{-1} , $9,3 \text{ mg N g}^{-1}$ a v půdě bez vlivu 19 mg C g^{-1} , $6,1 \text{ mg N g}^{-1}$. Na těchto plochách již 15 let probíhá intenzivní výzkum zaměřený na poznání příčin a mechanismů emisí N_2O a produkce CH_4 na zimovištích a jejich emisí do atmosféry (viz Šimek a kol. 2006, Chroňáková a kol. 2009, Čuhel a kol. 2010, Hynšt a Šimek 2012 a Elhottová a kol. 2012).



Obr. 10. Ekologická farma Borová (převzato z Šimek 2009c).

4.2. Terénní měření:

Měření i odběr vzorků pro měření skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O) z travních porostů bude provedeno na kosených a mulčovaných loukách a pastvinách. Na pastvinách budou vybrány plochy bez nahromaděných viditelných exkrementů a přibližně se stejným stupněm narušení, aby odpovídaly loukám. Měření bude probíhat během dvou vegetačních sezón čtyřikrát ročně (duben, červen, červenec, září). Hnojivo se přidá dvakrát za rok v červnu a v září. Na každé lokalitě (pasené, kosené, mulčované) budou vytyčeny tři pokusné plochy. V každé pokusné ploše budou studovány čtyři zásahy na parcelkách

o velikosti 2 x 2 m – kontrola, hnojeno NH_4^+ , hnojeno NO_3^- a hnojeno organickým hnojivem. V každém zásahu budou umístěny tři komory (viz Šimek a kol. 2006, Čuhel a kol. 2010). U každého měření bude odebrána půda na další laboratorní analýzy.

Měření emisí plynů bude probíhat s využitím komor (Obr. 11). Vzorky plynů budou odebrány injekční stříkačkou a hned přeneseny do vzduchotěsných zkumavek o objemu 12 ml v denním cyklu 6h, 9h, 12h, 15h, 18h a 21h po dobu dvou dnů. Měření emisí po přihnojení bude probíhat ihned po přidavku hnojiva a dále ve stejných časových intervalech. Odebrané vzorky plynů budou v laboratoři analyzovány na plynovém chromatografu s detektory FID (pro měření CH_4), TCD (pro měření CO_2) a ECD (pro měření N_2O). Na lokalitě bude dále měřena teplota, relativní vzdušná vlhkost, půdní vlhkost a srážky pomocí čidel.



Obr. 11. Komory pro měření emisí skleníkových plynů (upraveno z int. odk. č. 5).

4.3. Laboratorní měření

U všech vzorků budou měřeny fyzikálně chemické parametry: např. stanovení suché hmotnosti půdy, obsah živin a formy dusíku, pH aktivní, pH výměnné a charakteristiky mikrobiální aktivity: bazální respirace, substrátem indukovaná respirace, denitrifikační enzymová aktivita, metanogenní a metanotrofní potenciál a C_{mic} jako odhad mikrobiální biomasy.

Metodika

Měření bazální respirace

Rychlost bazální respirace je definována jako množství uvolněného CO₂ na jednotku plochy za jednotku času bez přidavku substrátu. Kumulativní nárůst koncentrace CO₂ měřené na plynovém chromatografu (GC-TCD) v časových intervalech 1, 4 a 24 hod. po uzavření inkubační nádoby se prokládá přímkou a vyjadřuje se jako množství uvolněného CO₂ na jednotku plochy a jednotku času. Podrobný postup viz Zbiral a kol. (2010).

Stanovení aktivního pH (ve vodě)

Aktivní reakce půdy vyjadřuje okamžitý stav volných vodíkových iontů v půdním roztoku. Zdrojem vodíkových iontů jsou disociované minerální a organické kyseliny. pH zásadně ovlivňuje biochemické procesy probíhající v půdě a procesy příjmu živin autotrofními organismy. Do 100 ml NTS lahví se naváží 5 g vlhké půdy a přidá se 25 ml destilované vody. Lahve se uzavřou, nechají 5 minut třepat a následně 2 hodiny stát. Po uplynutí této doby se měří pH. Podrobný postup viz Šimek a kol. (2002).

Stanovení výměnného pH (0,2M KCl)

Draselné ionty vyluhovacího roztoku vytěsní ze sorpčního komplexu půdy ionty vodíku. Aktivita vodíkových iontů v suspenzi se měří skleněnou iontově selektivní elektrodou oproti vhodné referenční elektrodě. Podrobný postup viz Zbiral a kol. (2010).

Stanovení suché hmotnosti půdy

Do předem zvážené hliníkové váženky se přidá lžice půdy, váženka se vzorkem se zváží a vysuší v sušárně do konstantní hmotnosti (při 105 °C). Po vychladnutí se vzorek s váženkou opět zváží. Suchá hmotnost půdy (sušina) je bezrozměrné číslo, které udává podíl suché půdy na hmotnost 1 g čerstvého vzorku. Podrobný postup viz Zbiral a kol. (2010).

Analýza C, N a P

Analýzy prvků budou provedeny v komerční laboratoři.

Stanovení C_{mic} fumigační extrakční metodou

Páry chloroformu působící na půdní vzorek poruší stěny mikroorganismů a způsobí vylití buněčné protoplazmy. Tím se zvýší obsah snadno přístupných živin ve vzorku. Rozpustné organické sloučeniny lze z půdy extrahovat a jejich množství v půdním extraktu stanovit titrací. Rozdíl koncentrace rozpustného C_{org} v extraktu před a po fumigaci odpovídá množství mikrobiálního uhlíku (C_{mic}). Podrobný postup viz Vance a kol. (1987).

Koncentrace nitrátových iontů

Koncentrace nitrátových iontů je stanovena fotometricky metodou kalibrační křivky měřením absorpce v UV oblasti při 210 nm po odečtení absorbance vzorku, ve kterém byly nitráty odstraněny. Podrobný postup viz Šimek a kol. (2006).

Koncentrace amonných iontů

Metoda je založena na Berhelově reakci amonných iontů s chlornanem a salicylanem, která dává modré zbarvení. Intenzita zbarvení je měřena fotometricky při 660 nm. Podrobný postup viz Šimek a kol. (2006).

Substrátem indukovaná respirace (SIR)

Stanovení respirační aktivity mikroorganismů v půdě po přidání lehce využitelného substrátu se využívá pro stanovení potenciální respirace půdních mikroorganismů. Po přidavku glukózy se sleduje krátkodobá (0 - 6 hodin) odpověď produkce CO_2 a vyjadřuje se jako množství uvolněného CO_2 na jednotku plochy a jednotku času. Podrobný postup viz Zbiral a kol. (2011).

Denitrifikační enzymová aktivita (DEA)

Metoda DEA využívá inhibici redukce N_2O na N_2 vhodnou koncentrací acetylenu a tak jediným produktem denitrifikace je N_2O , který se dá relativně dobře kvantitativně i kvalitativně stanovit plynovou chromatografií (GC-ECD). Podrobný postup viz Čuhel a kol. (2010).

Produkce a oxidace CH_4

Měření rychlosti potenciální produkce metanu bude probíhat po dobu 1 měsíce při laboratorní teplotě v anaerobním prostředí v sérových lahvích. Koncentrace CH_4 v lahvích bude měřena v prvním týdnu po 24 hodinách a následně v týdenním intervalu pravidelně

a stanovena na plynovém chromatografu (GC-FID). Rychlost produkce metanu bude vypočtena jako lineární závislost nárůstu koncentrace metanu za jednotku času. Měření rychlosti potenciální oxidace metanu bude probíhat po dobu jednoho týdne při laboratorní teplotě v uzavřených sérových lahvích. Ke každému vzorku bude přidán 1 μ l zásobní směsi CH₄ (110 ppm) a ihned odebrán vzorek na stanovení počáteční koncentrace CH₄ v lahvích. Další vzorky plynu budou odebírány po 24 hodinách po dobu pěti dnů a koncentrace metanu bude měřena na plynovém chromatografu (GC-FID). Rychlost oxidace metanu bude vypočítána jako úbytek metanu v průběhu času. Podrobný postup viz Zbiral a kol. (2011).

4.4. Vyhodnocení dat

Očekávaná data budou vyhodnocena pomocí vícecestné analýzy variance v programu Statistika 10.01 firmy Statsoft. Hodnotícími faktory budou typ managementu, typ hnojení a interakce. Roční a denní průběh bude hodnocen „repeated measures ANOVA“. Na posthoc analýzu bude použit Tukeyho test.

4.5. Časový harmonogram projektu

Navrhované experimenty budou na lokalitě provedeny ve dvou letech (dvou sezónách). Odběry budou prováděny čtyřikrát za sezonu během vegetačních sezón 2015 a 2016.

Tab. 1: Časový harmonogram pro navrhovaný projekt.

	1. rok				2. rok			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Přípravné práce	■							
Měření v terénu	■	■	■		■	■	■	
Hnojení	■		■		■		■	
Odběry půd	■	■	■		■	■	■	
Laboratorní měření - inkubace		■	■	■	■	■	■	
Laboratorní měření - analýzy		■	■	■	■	■	■	
Vyhodnocení výsledků				■			■	■
Publikace								■

4.6. Finanční plán projektu

Tab. 2: Finanční náročnost projektu navrženého na dobu dvou let v tisících Kč.

	1. rok	2. rok	Celkově
Osobní náklady (2 pracovníci, 50%)	300	300	600
Spotřební laboratorní materiál (sklo, plasty, kancelářský materiál apod.)	60	40	100
Chemikálie, plyny	50	50	100
Náklady na služby (externí analýzy, pronájem bomb apod.)	60	60	120
Cestovní náklady	30	30	60
Doplňkové (režijní) náklady, 15% všech nákladů	88	85	173
Celkem	588	565	1153

4.7. Spolupracující subjekty

Na provedení navrhovaného experimentu se bude podílet laboratoř plynové chromatografie Ústavu půdní biologie Biologického centra AV ČR v Českých Budějovicích.

5. Závěr

Zemědělství je stále základní zdroj obživy obyvatel na Zemi. Trvalé travní plochy zabírají 1/5 zemského povrchu a hrají důležitou roli v celkové bilanci C a N. I když se travní porosty považují za úložiště C a N, jakmile se změní poměr živin, může se z nich stát významný zdroj skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 a N_2O). Pro určení celkové bilance C a N potřebujeme znát vstupy i výstupy C a N do půdy a z půdy. Ty zahrnují asimilaci CO_2 rostlinami, produkci CO_2 a N_2O v půdě, emise CO_2 , CH_4 a N_2O . Prostorově i časově jsou emise skleníkových plynů velice variabilní a závislé na konkrétních podmínkách prostředí.

Předkládaný projekt zhodnotí denní variabilitu emisí sledovaných plynů, její změny v sezóně a přispěje k odhadům ročních příspěvků skleníkových plynů v různých typech travních porostů. Dále zhodnotí vliv použitého hnojiva na procesy vedoucí k emisím CO_2 , N_2O a CH_4 .

Zjištěné výsledky se budou moci použít při přípravě pravidel managementu a využívání typu hnojiva na trvalých travních porostech. Aby výsledky této práce nezůstaly jen v teoretické rovině, bude následně sepsána publikace. Publikace přispěje k rozšíření informací o emisích skleníkových plynů v závislosti na managementu trvalých travních porostů.

6. Literatura

Angel R. 2010. Methane turnover in desert soils. Doctoral thesis. Faculty of Biology, Philipps-Universität Marburg. pp. 192.

Baldock J. A., Wheeler I., McKenzie N., Mcbratney A. 2012. Soils and climate change: potential impacts on carbon stocks and greenhouse gas emissions, and future research for Australian agriculture. *Crop and Pasture Science* 63: 269-283.

Balík J., Černý J., Kulhánek M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze. pp. 43.

Bannert A., Bogen C., Esperschütz J., Koubová A., Buegger F., Fischer D., Radl V., Fuß R., Chroňáková A., Elhottová D., Šimek M., Schloter M. 2012. Anaerobic oxidation of methane in grassland soils used for cattle husbandry. *Biogeosciences* 9: 3891-3899.

Bioinstitut. 2010. Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy. pp. 22.

Bioinstitut. 2013. Zpravodaj ekozemědělci přírodě č. 10: 19-21.

Blažek P. 2011. Faktory ovlivňující populační dynamiku poloparazitické rostliny kokrhele menšího (*Rhinanthus minor*). Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita, České Budějovice. pp. 43.

Borken W., Beese F., Brumme R., Lamersdorf N. 2002. Long-term reduction in nitrogen and proton inputs did not affect atmospheric methane uptake and nitrous oxide emission from a German spruce forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1815-1819.

Bouwman A. F. 1990. Introduction. In: Bouwman A.F. (Ed.) *Soils and the greenhouse effect*. Wiley, Chichester, UK. 25-35.

Brůček P., Šimek M., Hynšt J. 2009. Long-term animal impact modifies potential production of N₂O from pasture soil. *Biology and Fertility of Soils*: 46: 27–36.

Buček A. 2000: Krajina České republiky a pastva. *Veronica* 14: 1-7.

Conant R. T., Ryan M. G., Agren G. I., Birge H. E., Davidson E. A., Eliasson P. E., Evans S. E., Frey S. D., Giardina Ch. P., Hopkins F. M., Hyvonen R., Kirschbaum M. U. F., Lavallee J. M., Leifeld J., Parton W. J., Steinweg J. M., Wallenstein M. D., Wetterstedt J. A. M., Bradford M. A. 2011. Temperature and soil organic matter decomposition rates – synthesis of current knowledge and a way forward. *Global Change Biology* 17: 3392–3404.

Conrad R., Bak F., Seitz H. B., Thebrath B., Mayer H. P. a Schutz H. 1989. Hydrogen turnover by psychotrophic homoacetogenic and mesophilic methanogenic bacteria in anoxic paddy soil and lake sediments. *FEMS Microbial Ecology* 62: 285-294.

Čuhel J., Šimek M., Laughlin R. J., Bru J., Chéneby D., Watson C. J., Philippot J. 2010. Insights into the effect of soil pH on N₂O and N₂ emissions and denitrifier community size and activity. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 1870-1878.

ČÚZK. 2011. Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky. Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha. pp. 83.

Doležal J., Mašková Z., Lepš J., Steinbachová D., de Bello F., Klimešová J., Tackenberg O., Zemek F., Květ. J. 2011. Positive long-term effect of mulching on species and functional trait diversity in a nutrient-poor mountain meadow in Central Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 145: 10-28.

Elhottová D., Němcová A., Chroňáková A., Šimek. M. 2007. Půdní mikroorganismy v roli kontrolního článku emisí methanu z půd. *Život v půdě VIII. MZLU v Brně*. pp. 27-33.

Fiala J., Kohoutek A., Klír J. 2007. Výživa a hnojení travních a jetelovinotravních porostů. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. ISBN 978-80-87011-25-6*. pp. 38.

Gaisler J., Hejcman M., Pavlů. V. 2004. Effect of different mulching and cutting regimes on the vegetation of upland meadow. *Plant Soil Environment*., 50: 324–331.

Hrčková K., Šimek M., Hrouzek P., Lukešová A. 2010. Biological dinitrogen fixation by selected soil cyanobacteria as affected by strain origin, morphotype, and light conditions. *Folia Microbiologica* 55: 467–473.

Hynšt J., Brůček P., Šimek M. 2007. Nitrous oxide emissions from cattle-impacted pasture soil amended with nitrate and glucose. *Biology and Fertility of Soils* 43: 853-859.

Chroňáková A., Radl V., Čuhel J., Šimek M., Elhottová D., Engel M., Schloter M. 2009. Overwintering management on upland pasture causes shifts in an abundance of denitrifying microbial communities, their activity and N₂O-reducing ability. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1132–1138.

Chytrý M., Kučera T., Kočí M. 2001. Katalog biotopů České republiky. Interpretační příručka k evropským programům Natura 2000 a Smaragd. AOPAK ČR, Praha. pp. 307.

IPCC 2001. Atmospheric chemistry and green house gases. In: Houghton J.T. a kol. *Climate change. The Scientific Basis*. Cambridge University Press. Cambridge, New York. 239-287.

IPCC 2007. An assessment of the intergovernmental panel on climate change. Valencia, Spain. 12-17.

Joye S. B. 2012. A piece of the methane puzzle. *Nature* 491: 8-9.

Jůzl M., Středa T., Rožnovský J. 2005. Koloběh uhlíku v agroekosystému a možnosti zvýšení jeho ukládání v biomase polních plodin. Rožnovský, J., Litschmann, T.: *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*, ISBN 80-86 690–31-08. pp. 6.

Keller J. K., Bridgham S. B., Chapin C. T., Iversen C. M. 2005. Limited effects of six years of fertilization on carbon mineralization dynamics in a Minnesota fen. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1197-1204.

Kroeze C., Mosier A., Bouwman. L. 1999. Closing the global N₂O budget: A retrospective analysis 1500–1994. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 1–8.

Le Mer J., Roger P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils. *European Journal of Soil Biology* 37: 25-50.

Lepš J. 1999. Nutrient status, disturbance and competition: An experimental test of relationships in a wet meadow copy. *Journal of Vegetation Science* 10: 219-230.

Lexa M., Krahulec F. 2000. Vliv mulčování na rozkladné procesy a druhové složení horských luk v krkonoších. *Opera Corcontica* 37: 571–577.

Mašková Z., Doležal J., Květ J., Zemek F. 2009. Long-term functioning of a species-rich mountain meadow under different management regimes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132: 192–202.

Matějková I. 2001. Pastva skotu na Šumavě očima geobotanika. *Aktuality Šumavského výzkumu*: 51-55.

Moravcová A. 2003. Vliv mulčování a hnojení na horská luční společenstva v Krkonoších. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého, Olomouc. pp. 81.

Nazaries L., Murrell J. C., Millard P., Baggs L., Singh B. K. 2013. Methane, microbes and models: fundamental understanding of the soil methane cycle for future predictions. *Environmental Microbiology* 15: 2395–2417.

Nitkulicová A. 2008. Vliv eutrofizace na emise skleníkových plynů z mokřých luk. Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita, České Budějovice. pp. 47.

van Oorschot M. M. P. 1994. Plant production, nutrient uptake and mineralization in river marginal wetlands: the impact of nutrient additions due to former land use. In: Mitsch W. J 1994. *Global Wetlands: Old World and New*. Sb. The 4th International conference on wetlands. Elsevier. Amsterdam.

Philips R., Beeri O. 2008. The role of hydropedologic vegetation zones in greenhouse gas emissions for agricultural wetlands landscapes. *Catena* 72: 386-394.

Primack R. B., Kindlmann P., Jersáková J. 2011. Úvod do biologie ochrany přírody. Vydání 1. – Praha : Portál, 2011. ISBN 978-80-7367-595-0. pp. 472.

Rychnovská M., Parente G. 1997. Grassland and environment: (I) mutual effects and (II) agricultural aspects. Management for grassland biodiversity, EGF, Poznaň. 173-181.

Sánchez-Martín L., Vallejo A., Dick J., Skiba U. M. 2008. The influence of soluble carbon and fertilizer nitrogen on nitric oxide and nitrous oxide emissions from two contrasting agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 142-151.

Sommer a Fiedler. 2000. Methane emissions, groundwater levels and redox potentials of common wetland soils in a temperate-humid climate. *Global Biogeochemical Cycles* 14: 1080 - 1093.

Soussana J. F., Loiseau P., Vuichard N., Ceschia E., Balesdent J., Chevallier T., Arrouays D. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management* 20: 219-230.

Soussana J. F., Allard V., Pilegaard K., Ambus P., Amman C., Campbell C., Ceschia C., Clifton-Brown J., Czobel S., Domingues R., Flechard C., Fuhrer J., Hensen A., Horvath L., Jones M., Kasper G., Martin C., Nagy Z., Neftel A., Raschi A., Baronti S., Rees R. M., Skiba U., Stefani P., Manca G., Sutton M., Tuba Z., Valentini R. 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 121–134.

Speratti A. B., Whalen J. K. 2008. Carbon dioxide and nitrous oxide fluxes from soil as influenced by anecic and endogeic earthworms. *Applied Soil Ecology* 38: 27–33.

Šantrůčková H., Pícek T., Šimek M., Bauer V., Kopecký J., Pechar L., Lukašská J., Čížková H. 2001. Decomposition processes in soil of a healthy and a declining *Phragmites australis* stand. *Aquatic Botany* 69: 217-234.

Šimek M., Šantrůčková H., Uhlířová E., Záhora J., Pícek T., Brychtová L., Šetlík J. 2001. The effect of management practice of montane meadows in the Bohemian Forest on selected soil biological and chemical properties. *Silva Gabreta* 7: 69-78.

Šimek M., Jišová L., Hopkins D. W. 2002. What is the so-called optimum pH for denitrification in soil? *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1227–1234.

Šimek M., Hynšt J., Brůček P., Čuhel J. 2005. Emise tzv. skleníkových plynů (N_2O a CO_2) z pastevní půdy jako výsledek aktivity mikrobiálního společenstva – předběžné výsledky. *Život v půdě VI*, sborník z mezinárodního semináře 1.2. -2. 2. 2005. Voříšek, K. Česká zemědělská univerzita, Praha: 166-174.

Šimek M., Brůček P., Hynšt J., Uhlířová E., Perersen S. O. 2006. Effects of excretal returns and soil compaction on nitrous oxide emissions from a cattle overwintering area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 186–191.

Šimek M. 2008a. *Zemědělské technologie*. pp. 54.

Šimek M. 2008b. Skleníkové plyny v půdě 3. Dusíkaté plyny-oxid dusný. *Vesmír*. č. 87: 758-761.

Šimek M. 2009a. Skleníkové plyny ze zemědělství, a co s nimi? (1. část). Skleníkový efekt a jeho příčiny. *Úroda*, č. 8: 54-55.

Šimek M. 2009b. Skleníkové plyny ze zemědělství, a co s nimi? (2. část). Skleníkové plyny v půdě a v agroekosystému. *Úroda*, č. 9: 67-70.

Šimek M. 2009c. Skleníkové plyny ze zemědělství, a co s nimi? (dokončení). Možnosti snížení emisí ze zemědělství. *Úroda*, č. 10: 56-58.

Teiter S., Mander Ü. 2005. Emission of N_2O , N_2 , CH_4 , and CO_2 from constructed wetlands for wastewater treatment and from riparian buffer. *Ecological Engineering* 25: 528-541.

Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-707.

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: 71-75.

Webb III T. 1992. Global changes during the last 3 million years: climatic controls and biotic responses. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 23:141-173.

Whitman W. B., Boone D. R., Koga Y., Keswani J. 2001. Taxonomy of methanogenic archaea. In: Boone D. R., Castenholz R.W. and Garrity G.M. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd ed. Springer Verlag New York, Vol. 1: 211-213.

Yara International. 2011. Nitrátová hnojiva. Optimalizace výnosů, ochrana životního prostředí. pp. 16.

Zbírál J., Honsa I. a kolektiv autorů. 2010. Jednotné pracovní postupy - Analýza půd I. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno. pp. 209.

Zbírál J., Malý S., Váňa M., Čuhel J., Fojtlová E., Čížmár D., Žalmanová A., Srnková J., Obdržálková E. 2011. Jednotné pracovní postupy - Analýza půd III. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno.

Zehnálek J., Adam V., Kizek R. 2006. Asimilace dusičnanového, amonného a amidického dusíku u zemědělských plodin. *Chemické Listy* 100: 508–514.

Zhang L., Song Ch., Zheng X., Wang D., Wang Y. 2007. Effects of nitrogen on the ecosystem respiration, CH₄ and N₂O emissions to the atmosphere from the freshwater marshes in northeast China. *Environmental Geology* 52: 529-539.

(int. odk. č. 1)

<http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/> (16.12.2013)

(int. odk. č. 2)

<http://www.blackstonegv.com/page/cz/36/zmeny-klimatu/> (29.3.2014)

(int. odk. č. 3)

<http://www.blackstonegv.com/page/cz/36/zmeny-klimatu/> (29.3.2014)

(int. odk. č. 4)

<http://www.blackstonegv.com/page/cz/36/zmeny-klimatu/> (29.3.2014)

(int. odk. č. 5)

<http://www.upb.cas.cz/cs/fotogalerie> (3.4.2014)