

DYNAMIKA UVOLŇOVÁNÍ AMONIAKU ZE STATKOVÝCH HNOJIV PO JEJICH APLIKACI NA ZEMĚDĚLSKOU PŮDU

DYNAMICS OF AMMONIA RELEASE FROM FARMYARD MANURE AFTER APPLICATION TO
AGRICULTURAL LAND

M. Češpiva, P. Zabloudilová, J. Šimon

Výzkumný ústav zemědělské techniky v. v. i., Praha

Abstract

The article deals with the determination of the dependence of ammonia emissions from the soil after the application of manure from pig and dairy cow to agricultural land, depending on the air temperature and the speed of air flow over the soil surface. The measurement was carried out in laboratory conditions in order to ensure defined measurement conditions. The soil with applied slurry was enclosed in measuring chambers with forced air flow. This ensured a constant speed of air flow over the soil surface at a constant temperature. The flow rate was set to 0.1 m.s^{-1} and in the next experiment 0.05 m.s^{-1} at a constant temperature of 20°C . In another series of experiments, the constant speed of air flow over the surface was set to 0.1 m.s^{-1} and the temperature was reduced to 3°C . All variants of the experiment took place for 24 hours. In the outlet opening of the sampling chambers, the concentration of ammonia was continuously measured by a gas analyzer. Emissions were determined from the air flow through the chamber and the ammonia concentration. The measurement results showed a high dependence of ammonia emissions on the speed of air flow over the soil surface and especially on the air temperature at the same speed of air flow over the soil surface.

Keywords: slurry, ammonia emission, air temperature, air flow

ÚVOD

Uvolňování amoniaku po aplikaci statkových hnojiv na půdu ovlivňuje mnoho faktorů (mj. obsah sušiny, typ půdy, typ plodiny), za významný lze označit zejména vliv hodnoty pH, teploty vzduchu a rychlosti proudění vzduchu (BELL et al., 2016; GÉNERMONT and CELLIER, 1997; HUIJSMANS et al., 2018; MISSELBROOK et al., 2005; SOMMER et al., 2003). Teoretické výpočty ukazují, že zvýšení teploty o 1°C vede přibližně k 13% nárůstu emise amoniaku (HAFNER et al., 2018). Tento relativně vysoký nárůst je výsledkem rovnovážné konstanty (určující poměr mezi NH_4^+ a NH_3) a konstanty Henryho zákona (určující poměr mezi NH_3 v roztoku a NH_3 v plynné fázi), obě konstanty jsou závislé na teplotě.

Pro stanovení emise amoniaku po aplikaci hnojiv na půdu je k dispozici několik metod, v podstatě každá z nich má své významné nevýhody s vlivem na správnost a přesnost naměřených údajů. Obvykle se využívá metoda dynamické komory, zpravidla aerodynamický tunel (PACHOLSKI et al., 2006), anebo různé mikrometeorologické metody a jejich modifikace ve snaze neustálého zpřesňování získaných výsledků (PHILLIPS et al., 2020; VON BOBRUTZKI et al., 2010; WANG et al., 2023), mnohdy ale při vysokých finančních nákladech na realizaci takových měření. Stále často je jako referenční metoda uvažována metoda integrálního horizontálního toku. Poměrně významnou nevýhodou této mikrometeorologické metody je možná zpětná turbulence

s vlivem na výslednou hodnotu koncentrace amoniaku (SINTERMANN et al., 2012).

Z důvodu zajištění definovaných parametrů proudění vzduchu nad povrchem půdy a jeho teploty v pokusech pro stanovení dynamiky uvolňování amoniaku po aplikaci statkových hnojiv na půdu byla dále uvedená měření realizována v laboratorních podmínkách odlišnou metodou s využitím měřicích komor vyvinutých ve VÚZT, v.v.i. a kontinuálního měření koncentrace amoniaku fotoakustickým analyzátozem plynů.

MATERIÁL A METODY

Měření probíhala v laboratorních podmínkách s využitím měřicích komor, proměnnými byly teplota vzduchu a rychlost proudění vzduchu. Ve 4 plastových nádobách s podstavou o rozměrech $50 \times 60 \text{ cm}$ a výšce 15 cm byla hnědozem ve vrstvě silné 10 cm . Tento typ půdy je nejčastěji zastoupen v obhospodařovaných oblastech. Na povrch půdy byla rovnoměrně naaplikována kejda v dávce $1,2 \text{ kg}$, což odpovídá běžné dávce 40 t kejdy na 1 ha půdy. Ve 2 nádobách byla aplikována kejda z chovu prasat, ve zbylých 2 nádobách byla aplikována kejda z chovu dojníc. Aplikace simulovala plošný rozstřík kejdy na půdu, která vykazuje nejvyšší emise v porovnání s dalšími technologiemi aplikace kejdy (hadicové aplikátory, hadicové aplikátory se zapravovacími botkami).

Pro stanovení emise amoniaku byla kejda prasat odebrána z jímky v chovu prasat na výkrm ustájených na částečně roštových podlahách. Kejda dojníc byla

odebrána z jímky na farmě s chovem vysoko-produkčních dojníc ustájených v objektech s vyhrnováním kejdy shrnovacími lopatami a boxy nastýlanými separovaným digestátem z bioplynové stanice. Základní parametry kejdy v experimentu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Základní parametry kejdy prasat a dojníc

Vzorek	Sušina (%)	N _{celk} (%)	pH
Kejda prasat	7,79	0,65	7,1
Kejda dojníc	7,46	0,32	8,4

Na nádoby s kejdou byly umístěny měřicí komory se shodnými rozměry. Spoj nádob a komor byl vzduchotěsně utěsněn. Na kratších stranách měřicích komor jsou umístěny trubky s řadou otvorů. Jedna trubka slouží k přívodu vzduchu do měřicí komory, z druhé trubky s otvory na protilehlé straně komory je vzduch z komory odváděn. Průtok vzduchu komorou je zajištěn axiálním přetlakovým ventilátorem s nastavitelnou rychlostí proudění vzduchu. Ventilátor je připojen ke vstupní trubce měřicí komory. Optimální natočení řady otvorů ve vstupní i výstupní trubce vzhledem k povrchu půdy zajišťuje rovnoměrné proudění vzduchu v celém objemu měřicí komory. Rychlost otáčení ventilátorů byla nastavena tak, aby ve 2 nádobách s různými druhy kejdy byla rychlost proudění vzduchu nad povrchem půdy $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a u zbývajících 2 nádob $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na vstupu a výstupu jednotlivých komor byly umístěny sondy odebírající vzdušinu pro plynový analyzátor. V laboratoři jsme udržovali po celou dobu měření konstantní teplotu 20°C . Měření koncentrací amoniaku na vstupu i výstupu z měřicích komor bylo realizováno plynovým analyzátozem Innova 1512. Dejekční limit analyzátoru pro amoniak je $0,2 \text{ ppm}$, dlouhodobá stabilita nulového bodu a citlivosti je delší než 3 měsíce od poslední kalibrace, celková chyba přístroje v rozsahu $0 - 100 \text{ ppm NH}_3$ nepřevyšuje $2,5 \%$. Analyzátor měří kontinuálně s vzorkovací frekvencí cca 1 měření za 70 sekund. Analyzátor je rozšířen o přepínač odběrových míst Innova 1409, který umožní současně měřit koncentrace až z 12 odběrových míst. V daném případě přepínač odběrových míst cyklicky přiváděl vzdušinu teflonovými hadičkami s odběrovými sondami ze vstupních i výstupních trubek všech 4 měřicích komor. Měření koncentrací amoniaku za daných podmínek bylo 6x opakováno, každé měření probíhalo po dobu 24 hodin. Na obrázku 1 je pohled na měřicí komory osazené na nádobách s půdou.



Obr. 1: Pohled na měřicí komory

Závislost emisí amoniaku po aplikaci kejdy na teplotě byla zjišťována obdobným způsobem. Opět byly použity 4 nádoby s hnědozemí, na kterou byla ve 2 nádobách naaplikována stejným způsobem kejda prasat shodná s kejdou, která byla aplikována v předchozím pokusu. Ve 2 zbývajících nádobách byla shodně naaplikována kejda z chovu dojníc použitá i v předchozím pokusu. Dávky kejdy byly shodné s předchozím pokusem a opět odpovídaly dávce 40 t kejdy na 1 ha půdy. Rychlost proudění vzduchu nad povrchem půdy byla ve všech 4 měřicích komorách nastavena na $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jedna nádoba s kejdou prasat a jedna nádoba s kejdou dojníc byla ponechána po dobu měření v laboratoři při teplotě 20°C , ostatní 2 nádoby byly umístěny v prostoru s teplotou v rozsahu $1-6^\circ\text{C}$ a s průměrnou teplotou 3°C . Koncentrace amoniaku na vstupu i výstupu ze všech 4 komor byly měřeny shodným způsobem jako v předešlém pokusu.

Z průběžně naměřených koncentrací amoniaku na výstupu z měřicích komor byly odečteny průběžně naměřené koncentrace ve vzduchu vstupujícího do jednotlivých komor. Byly stanoveny průměrné hodnoty takto stanovených rozdílů koncentrací za dobu 4, 12 a 24 hodin od začátku měření. Měření bylo spuštěno bezprostředně po aplikaci kejdy na půdu v plastových nádobách a umístění měřicích komor na nádoby s kejdou. Emise amoniaku za období 4, 12 a 24 hodin od aplikace byly stanoveny jako součin průměrného rozdílu koncentrací amoniaku na vstupu a výstupu z komor a množství vzduchu, které za tuto dobu prošlo měřicí komorou. Výsledná měrná výrobní emise amoniaku pro jednotlivé doby od aplikace byla stanovena přepočtem na plochu 1 ha a je udávána v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Měrná výrobní emise udává, jaké množství amoniaku se uvolní z plochy 1 ha za sledovanou dobu od aplikace. Ze všech 4 opakování jednotlivých pokusů byly stanoveny výsledné průměrné měrné výrobní emise amoniaku včetně směrodatných odchylek.

VÝSLEDKY

V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné měrné výrobní emise amoniaku za dobu 4, 12 a 24 hodin od aplikace při rychlosti proudění vzduchu nad povrchem 0,05 a 0,10 m·s⁻¹ a teplotě 20°C včetně vypočtených směrodatných odchylek ze všech 4 opalování pokusu.

V tabulce 3 jsou uvedeny průměrné měrné výrobní emise amoniaku za dobu 4, 12 a 24 hodin od aplikace při teplotě 3 °C a 20 °C a při rychlosti proudění vzduchu nad povrchem 0,10 m·s⁻¹ včetně vypočtených směrodatných odchylek ze všech 4 opalování pokusu.

Tab. 2: Měrné výrobní emise amoniaku při teplotě 20°C a rychlostech proudění 0,05 a 0,10 m·s⁻¹

		Kejda skotu		Kejda prasat	
Čas (h)	Rychlost (m·s ⁻¹)	Průměr NH ₃ (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	Směrodatná odchylka (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	Průměr NH ₃ (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	Směrodatná odchylka (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)
4	0,05	4,98	0,22	7,08	0,33
	0,10	8,39	0,39	11,5	0,50
12	0,05	10,6	0,28	17,5	0,47
	0,10	18,1	0,40	26,2	0,61
24	0,05	15,5	0,34	29,4	0,33
	0,10	25,8	0,36	38,1	0,51

Tab. 3: Měrné výrobní emise amoniaku při teplotě 3 a 20°C a při rychlosti proudění 0,10 m·s⁻¹

		Kejda skotu		Kejda prasat	
Čas (h)	Teplota (°C)	Průměr NH ₃ (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	Směrodatná odchylka (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	Průměr NH ₃ (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	Směrodatná odchylka (kg·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)
4	3	4,2	0,26	3,5	0,31
	20	11,5	0,39	8,4	0,50
12	3	9,1	0,51	6,4	0,27
	20	26,2	0,40	18,1	0,61
24	3	15,1	0,55	8,7	0,33
	20	38,1	0,36	25,8	0,51

Všechny časové průběhy stanovených měrných výrobních emisí vykazují logaritmický průběh, což potvrzuje, že se jedná o přechodový děj 1. řádu. Nejrychlejší nárůst emise nastává bezprostředně po aplikaci a nárůst emise s časem klesá. Při stanovení závislosti emise amoniaku z kejdy po její aplikaci při teplotě 20°C na rychlosti proudění se prokázala vyšší produkce amoniaku při vyšší rychlosti proudění. To je dáno rychlejším odvodem amoniaku do okolního vzduchu, což podporuje vyšší difuzi z povrchu kejdy. Při konstantní rychlosti proudění dosahovaly měrné výrobní emise amoniaku při teplotě 20°C dvoj až trojnásobně vyšších hodnot než při teplotě 3°C.

ZÁVĚR

Výše uvedené výsledky potvrzují obecná doporučení pro aplikaci kejdy na zemědělskou půdu. Je vhodné aplikovat kejdu v chladných dnech nebo alespoň v časných ranních hodinách a vyvarovat se aplikace při větrném počasí. Vždy je vhodné co nejrychlejší zapravení kejdy do půdy po její aplikaci na půdu. Pokud zprůměrujeme všechny stanovené měrné výrobní emise ze všech variant pokusů vychází, že během prvních 4 hodin se uvolní 40 % emisí

v porovnání s množstvím emisí po 24 hodinách od aplikace a během prvních 12 hodin se uvolní 65 % emisí v porovnání s množstvím emisí po 24 hodinách od aplikace. Vědecké publikace uvádí v průměru 50 % emisí amoniaku po 12 hodinách od aplikace (HAFNER et al., 2018). Povinnost zapravit tekutá statková hnojiva nejpozději do 24 hodin od aplikace je dáno platnou legislativou a hodnota emisí v době 24 hodin od aplikace je proto uvažována jako 100 % emisí. Co nejrychlejší zapravení kejdy do půdy nejen snižuje zátěž životního prostředí plynným amoniakem, ale zejména minimalizuje ztráty dusíku z kejdy použité jako hnojivo.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl s finanční podporou MZe ČR v rámci institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj VÚZT, v.v.i. RO0618.

SEZNAM CITOVANÝCH PRACÍ

BELL, M. J., et al. How do emission rates and emission factors for nitrous oxide and ammonia vary with manure type and time of application in a Scottish farmland?. Geoderma, 2016, 264: 81-93.

- GÉNERMONT, S.; CELLIER, Pierre. A mechanistic model for estimating ammonia volatilization from slurry applied to bare soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 88.1-4: 145-167.
- HAFNER, Sasha D., et al. The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 258: 66-79.
- HUIJSMANS, J. F. M., et al. A model for estimating seasonal trends of ammonia emission from cattle manure applied to grassland in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 2018, 173: 231-238.
- MISSELBROOK, T. H.; et al. Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology*, 2005, 96.2: 159-168.
- PACHOLSKI, Andreas, et al. Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field—comparative measurements in Henan Province, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 74: 259-273.
- PHILLIPS, Mark C., et al. Standoff chemical plume detection in turbulent atmospheric conditions with a swept-wavelength external cavity quantum cascade laser. *Optics Express*, 2020, 28.5: 7408-7424.
- SINTERMANN, Jörg, et al. Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially overestimated in European emission inventories?. *Biogeosciences*, 2012, 9.5: 1611-1632.
- SOMMER, S. G., et al. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy*, 2003, 19.4: 465-486.
- VON BOBRUTZKI, Kristina, et al. Field inter-comparison of eleven atmospheric ammonia measurement techniques. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2010, 3.1: 91-112.
- WANG, Ruifeng, et al. Standoff sub-ppb level measurement of atmospheric ammonia with calibration-free wavelength modulation spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2023, 286: 121929.

Abstrakt

Článek se zabývá stanovením závislosti emisí amoniaku z půdy po aplikaci kejdy z chovu prasat a dojníc na zemědělskou půdu v závislosti na teplotě vzduchu a rychlosti proudění vzduchu nad povrchem půdy. Měření se realizovalo v laboratorních podmínkách z důvodu zajištění definovaných podmínek měření. Půda s naaplikovanou kejdou byla uzavřena v měřicích komorách s nuceným průtokem vzduchu. Byla tak zajištěna konstantní rychlost proudění vzduchu nad povrchem půdy při konstantní teplotě. Rychlost proudění byla nastavena na 0,1 m.s⁻¹ a v dalším pokusu 0,05 m.s⁻¹ při konstantní teplotě 20 °C. Při další sérii pokusů byla nastavena konstantní rychlost proudění vzduchu nad povrchem na 0,1 m.s⁻¹ a teplota byla snížena na 3 °C. Všechny varianty pokusu probíhaly po dobu 24 hodin. Ve výstupním otvoru odběrových komor byla kontinuálně měřena koncentrace amoniaku plynovým analyzátozem. Z průtoku vzduchu komorou a koncentrace amoniaku byly stanoveny emise. Výsledky měření prokázaly vysokou závislost emisí amoniaku na rychlosti proudění vzduchu nad povrchem půdy a zejména na teplotě vzduchu při stejné rychlosti proudění vzduchu nad povrchem půdy.

Klíčová slova: kejda, emise amoniaku, teplota vzduchu, proudění vzduchu

Kontaktní adresa:

Ing. Miroslav Čěšpiva

e-mail: miroslav.cespiva@vuzi.cz, tel.: 731 615 053

Ing. Petra Zabloudilová, Ph.D.

e-mail: petra.zabloudilova@vuzi.cz, tel.: 607 264 777

Ing. Josef Šimon, Ph.D.

e-mail: josef.simon@vuzi.cz, tel.: 732 816 775

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.

Drnovská 507, 161 01 Praha 6 – Ruzyně

Recenzovali: Ing. M. Macourek, Ph.D., Ing. M. Šlajš