Gabriela Mühlbachová, Pavel Růžek, Helena Kusá,
Radek Vavera, Martin Káš, Elizaveta Watzlová

Přínosy a rizika aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.,
Praha 6 – Ruzyně

VÚRV
Výzkumný ústav rostlinné výroby
Poznatky pro udržitelné zemědělství

2021

Metodika je výsledkem řešení institucionální podpory na Dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné instituce na léta 2018–2022 Ministerstva zemědělství ČR č. MZE-RO0418 a projektu NAZV QK21020155 „Nástroj pro hospodaření se živinami a organickými látkami“.

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2021

ISBN: 978-80-7427-361-2

Přínosy a rizika aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy

Mühlbachová G. (40 %), Růžek P. (25 %), Kusá H. (20 %), Vavera R. (5 %), Káš M. (5 %), Watzlová E. (5 %)

Schválená metodika pro praxi

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Praha 6 – Ruzyně

ISBN: 978-80-7427-361-2 2021

Přínosy a rizika aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy

V metodice jsou vyhodnoceny přínosy a rizika, v praxi dosud používané, aplikace dusíku na podporu rozkladu slámy obilnin. Byly ověřeny možnosti snížení běžně doporučovaných dávek dusíku. Jsou navrženy vhodné způsoby hnojení, a to i s ohledem na dostupnost živin pro následující plodiny včetně optimálních dávek N na podporu rozkladu slámy v případech, kdy je dodání N nezbytné. Předkládaná doporučení jsou výsledkem polních pokusů v různých půdně-klimatických podmínkách včetně provozních pokusů v zemědělských podnicích, kdy byla na slámu aplikována různá dusíkatá hnojiva. Výsledky ukázaly, že v letním a podzimním období se po hnojení dusíkem rozloží, podle průběhu počasí v daném roce, 30–50 % slámy, bez hnojení pak 25–30 %. Na základě dosažených výsledků je proto doporučeno snížení hnojení dusíkatými minerálními hnojivy na 4–5 kg N/t slámy. Pokud následuje ozimá řepka nebo meziplodina s vyššími nároky na výživu dusíkem, je možné zvýšit dávku N na 6–10 kg N/t slámy. Toto doporučení pro vyšší dávku dusíku se týká také statkových a organických hnojiv, v nichž je část dusíku v organické formě. Přitom nižší dávky výše uvedeného rozmezí se doporučují, jestliže následně není zaseta žádná plodina, vyšší je možné aplikovat před setím ozimů nebo meziplodin. Celkový rozklad slámy byl vyšší při aplikaci hnojiv na slámu, která byla 3 týdny ponechaná na povrchu půdy. Sláma na povrchu půdy omezuje ztráty vody z půdy a její prohřívání v teplém letním období, což zlepšuje zadržení vody, uhlíku a živin v půdě.

Klíčová slova: sláma obilnin; rozklad slámy; hnojení slámou; dusíkatá hnojiva

Benefits and risks of nitrogen fertilizers for support of straw decomposition

The methodology evaluates the benefits and risks of generally used nitrogen application to support cereal straw decomposition. The possibilities of reduction of the commonly recommended nitrogen doses were verified. The appropriate fertilization manners are suggested with regard to nutrient availability for following crops including optimal N doses in cases when the N supply is necessary. The recommendations represent the result of field trials in different soil-climatic conditions and also on farms, where different nitrogen fertilizers have been applied to straw. The results showed that depending on the weather, the fertilization with nitrogen in the summer and autumn period decomposes 30–50% of the straw in the given year, and without fertilizing then 25–30%. Based on the obtained results, there is recommended to reduce fertilization with nitrogen mineral fertilizers to 4–5 kg N/t of straw If the following crop is the oilseed rape or intercrop with higher nitrogen nutrition demands, there is possible to increase N dose to 6–10 kg N/t straw. This recommendation is related also on liquid manure and organic fertilizers containing nitrogen also in organic form. Lower doses of above mentioned range are recommended if no following crop is sown, higher doses are possible to apply before sowing of winter crops or intercrops. Overall straw decomposition was higher after application of fertilizers on straw leaved 3 weeks on soil surface. Straw on soil surface reduces water losses from soil and its warming in warm summer period, which improves water, carbon and nutrient retention in a soil.

Keywords: cereal straw; straw decomposition; fertilization with straw; nitrogen fertilizers

<u>Oponenti:</u>

prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D., MENDELU, Brno, Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií

Ing. Josef Svoboda, Ph.D., ÚKZÚZ, Brno, ředitel Odboru kontroly zemědělských vstupů

Metodika byla schválena Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (osvědčení UKZUZ 227685/2021)

Obsah

I.		Cíl metodiky	6
II.		Vlastní popis metodiky	6
	1.	Současný stav problematiky	6
	2.	Rozklad slámy v polních pokusech	8
	3.	Rozklad slámy v pokusech na půdách v zemědělské praxi	14
	4.	Emise NH_3 a CO_2 po aplikaci tekutých statkových a kapalných organických hnojiv na slámu	17
	5.	Legislativa pro hnojení dusíkem na slámu	21
	6.	Doporučení pro hnojení dusíkem na slámu v zemědělské praxi	23
III.		Srovnání novosti postupů a zdůvodnění (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.)	25
IV.		Popis uplatnění schválené metodiky	25
V.		Ekonomické aspekty	25
VI.		Seznam použité související literatury	27
VII.		Seznam publikací, které předcházely metodice	28

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky bylo vyhodnotit přínosy a rizika aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy a ověřit možnosti snížení nebo vyloučení tradičně doporučovaných dávek dusíku. Na základě zjištěných výsledků pak stanovit vhodné způsoby hnojení N na podporu rozkladu slámy v případech, kdy je dodání dusíku nezbytné. Současně byl ověřen i vliv časového odstupu zapravení slámy a aplikace hnojiv od sklizně obilnin na rozklad slámy.

II. Vlastní popis metodiky

II.1. Současný stav problematiky

Úrodnost a kvalita půdy závisí na pravidelných vstupech organických látek do půdy a její mineralizaci. Rychlost mineralizace organického uhlíku totiž ovlivňuje jeho zásobu v půdě (Veres et al. 2015). Degradace půdy a snížení její úrodnosti proto souvisí s úbytkem půdního organického uhlíku a v důsledku toho i se snížením produktivity rostlinné výroby (Han et al. 2018).

Průměrný obsah organického uhlíku v ornici (do hloubky 0,20, příp. 0,25 m) v našich podmínkách činí 1,5 %, což představuje přibližně 50 tun uhlíku, tedy 100 tun organických látek na hektar. Z nich se ročně rozloží přibližně 4 t/ha, přičemž zhruba polovinu tohoto množství nahradí rostliny svými kořenovými a neskliditelnými nadzemními zbytky. Druhou část je však nutné dodat zpět do půdy v organických nebo statkových hnojivech, včetně vedlejších nebo hlavních rostlinných produktů, zejména slámy nebo plodin na zelené hnojení. Důležité je nejen množství, ale i kvalita dodávané organické hmoty – je žádoucí dodávat do půdy dostatečné množství jak lehce rozložitelné organické hmoty, tak i pozvolněji rozložitelné, příp. i ve formě hnojiv se stabilizovanými organickými látkami.

Jednou z možností, jak doplnit organickou hmotu do půdy jsou rostlinné zbytky, které zůstávají po sklizni na poli. Představují totiž důležitý zdroj pro tvorbu půdní organické hmoty, protože jejich zapravením dochází k navrácení zbytků plodin a k sekvestraci uhlíku do půdy (Meng et al. 2017).

Sláma obilnin představuje vhodný zdroj organické hmoty, ale má vysoký poměr uhlíku k dusíku (dále jen C:N), proto jsou pro podporu jejího rozkladu používána dusíkatá hnojiva, která tento poměr přibližují C:N vhodnému pro půdní mikrobiální aktivity, tedy 20–30:1. Půdní mikroorganismy využívají uhlík obsažený ve slámě také jako zdroj vlastní energie a uvolňují tak významné množství CO_2. Například Curtin et al. (1998) zjistili, že až 38 % uhlíku obsaženého ve slámě bylo po zapravení do půdy za 2,5 měsíce uvolněno jako CO_2 a po roce pak může v půdě zůstat jen 10–20 % uhlíku ze slámy. Toto množství můžeme ovlivnit prováděnými agrotechnickými opatřeními.

Dávky dusíkatých hnojiv, které poměr C:N snižují na vhodnou úroveň, pak ovlivňují mikrobiální aktivity v půdě a následně i účinnost rozkladu slámy

(Zhao et al. 2019). Vyšší poměr C:N po zapravení posklizňových zbytků totiž může změnit dostupnost minerálního dusíku a snížit tak rychlost jejich mikrobiálního rozkladu (Cyle et al. 2016).

Ve starších publikacích jsou uváděny vyrovnávací dávky dusíku na podporu rozkladu slámy v rozmezí 5–10 kg N/t slámy (Škarda 1987) až 10–15 kg N/t slámy (Hlušek 2004). V klasickém osevním postupu s podílem obilnin do 50 % a víceletými pícninami, kde průměrná dávka N dosahuje 80–100 kg N/ha není třeba vyrovnávací dávky dusíku na podporu rozkladu slámy aplikovat (Hlušek 2004). V současné zemědělské praxi aplikovaná dávka nejčastěji představuje 8–10 kg N/t slámy. Někteří další autoři již zvažují i množství N, které se může uvolnit z půdy. Například Vaněk et al. (2012) doporučují dávky dusíku na slámu v množství 4–6 kg N/t slámy.

Důvodem pro vyrovnávací dávku N je aktivita půdních mikroorganismů, které mohou pro rozklad slámy využít i dusík obsažený v půdě, jenž později nemusí být dostupný pro rostliny. Úroveň rozkladu posklizňových zbytků se tak může měnit nejen v závislosti na aktuálním obsahu dusíku v půdě (Kaspari et al. 2008; Hobbie et al. 2012), ale i na konkrétních povětrnostních podmínkách daného stanoviště. Pro podporu rozkladu slámy se v praxi více využívají hnojiva obsahující amonný nebo amidický dusík, jako je například síran amonný, močovina nebo DAM 390 (Hlušek 2004, Vaněk et al. 2012), což je v souladu s tím, že mikroorganismy pro své aktivity preferují amonnou formu dusíku. Amonný dusík v půdě ale zároveň může urychlovat rozklad lehce rozložitelných uhlíkových frakcí, zatímco stabilizované uhlíkaté sloučeniny jsou rozkladu odolnější. Neměla by se používat hnojiva s ledkovým dusíkem (Vaněk et al. 2012). Pro podporu rozkladu slámy a úpravu širokého poměru C:N jsou vhodná zejména tekutá statková nebo kapalná organická hnojiva (kejda, digestát), která vykazují poměr C:N < 10 (zpravidla C:N = 4–6) a náleží k hnojivům s rychle uvolnitelným dusíkem.

Ponechání slámy obilnin na poli je významné pro zachování dostatečného množství organické hmoty v půdě. Pro některé podniky ale sláma představuje pouze vedlejší produkt vhodný například pro energetické účely. Tímto postupem je ale půda ochuzována o významné množství organických látek a živin. Pokud podnik nemá živočišnou výrobu, měl by proto všechny posklizňové zbytky vracet vhodným způsobem do půdy. Sláma je v takovém případě pro zachování organické hmoty v půdě nezastupitelná. Na druhou stranu, při vyšších teplotách, se může poměrně značně zvýšit aktivita půdní mikrobiální biomasy, což, zvláště v kombinaci s vyšším množstvím dodaných dusíkatých hnojiv, může intenzivně působit na mineralizační procesy v půdě a tím i zvyšovat emise skleníkových plynů (Wang et al. 2021). Největší emise CO_2 nastávají po aplikaci dusíkatých hnojiv na sklizené pozemky v letním období při vysokých teplotách vzduchu i půdy a jejich následném zapravení. Aplikace tekutých statkových a kapalných organických hnojiv je spojena i s úniky amoniaku, jež jsou největší při aplikaci

na povrch půdy při teplém a větrném počasí, ale lze je eliminovat okamžitým zapravením do půdy (Somer a Hutchings, 2001). Kromě toho zde vzniká i riziko následného vyplavení nitrátů z nevyužitých hnojiv. Výzkumy potvrzují, že probíhající klimatická změna (zejména teplota, srážky), může rozklad posklizňových zbytků ovlivňovat (Gao et al. 2016). Zvláště obsah půdní vody představuje velmi důležitý faktor pro rozklad posklizňových zbytků (Tulina et al. 2009). Vliv povětrnostních podmínek na dynamiku rozkladu posklizňových zbytků je nicméně zřejmý a je třeba sledovat mineralizační procesy v půdě ovlivněné dusíkem pocházejícím z hnojiv (Neff et al. 2012).

II.2. Rozklad slámy v polních pokusech

V letech 2017–2019 byl v maloparcelkových pokusech na hnědozemi ve VÚRV v Praze-Ruzyni ověřován vliv různých dusíkatých hnojiv na rozklad slámy pšenice ozimé v období po sklizni. V letech 2020 a 2021 byl pokus proveden v odlišných půdě-klimatických podmínkách na kambizemi v Lukavci u Pacova. Sláma byla zapravena buď co nejdříve po sklizni (Sláma 1) nebo byla tři týdny ponechána na povrchu půdy (Sláma 2) s následným zapravením spolu s hnojivy do hloubky 0–10 cm. V pokusech byla použita močovina, kejda prasat a digestát. Současně byly ověřovány možné postupy s časovým třítýdenním odstupem aplikace hnojiv (UREA^{stabil}, dále Us) od zapravení slámy. Cílem tohoto opatření je aplikovat dusík na slámu až v době, kdy již dochází k jejímu rozkladu. Přitom je třeba, aby po aplikaci hnojiva nejlépe do jednoho týdne zapršelo, a tak se nerozložená močovina posunula z povrchu půdy k zapravené slámě. Celková dávka slámy byla 6 t/ha a dávka hnojiv odpovídala 60 kg N/ha. Rozklad slámy byl zjišťován pomocí propustných sáčků, do kterých byla navážena část slámy aplikované na jednotlivé parcely společně s odpovídajícím množstvím použitých hnojiv.

Tabulka 1: Varianty pokusu

Varianta	**Sláma**
Kontrola	0
Močovina	0
Kejda prasat	0
Digestát	0
Kontrola	Sláma 1
Močovina	Sláma 1
Kejda prasat	Sláma 1
Digestát	Sláma 1
Us po 3 týdnech	Sláma 1
Kontrola	Sláma 2
Močovina	Sláma 2
Digestát	Sláma 2

Teploty a srážky a jejich vliv na rozklad slámy pšenice ozimé v letech 2017–2021

Rozklad slámy je, kromě dalších faktorů, ovlivněn teplotou a především srážkami. Rok 2017 a zvláště rok 2018 byly charakteristické suchem a nadprůměrnými teplotami v době, kdy byla sláma s dusíkatými hnojivy zapravena (Grafy 1a–e). V roce 2017 byl úhrn srážek 100 mm a v roce 2018 47 mm za období trvání pokusu. V těchto letech byl pozorován nízký až velmi nízký rozklad slámy (Grafy 2a–e).

Sláma 1 byla zapravena vždy krátce po sklizni pšenice. U nehnojených kontrolních půd se v těchto suchých letech rozložilo do počátku listopadu jen 22–24 % slámy, po hnojení se většinou nerozložilo více než 30 % slámy. Vyšší srážky pozorované například v roce 2019 v Praze (148 mm) a zvláště v Lukavci v roce 2020 (228 mm) rozklad slámy podpořily více. V těchto letech byly velmi podobné výsledky, kdy se u kontrolních půd rozložilo 31–33 % slámy, u hnojených průměrně 34–36 %. Nepříznivě na rozklad slámy působila kombinace chladnějšího počasí s nižšími srážkami v roce 2021 (100 mm), kdy se u kontrolní půdy rozložilo 26 %, zatímco po hnojení cca 30 %. Rozdíly v rozkladu slámy mezi jednotlivými aplikovanými hnojivy zpravidla nebyly průkazné.

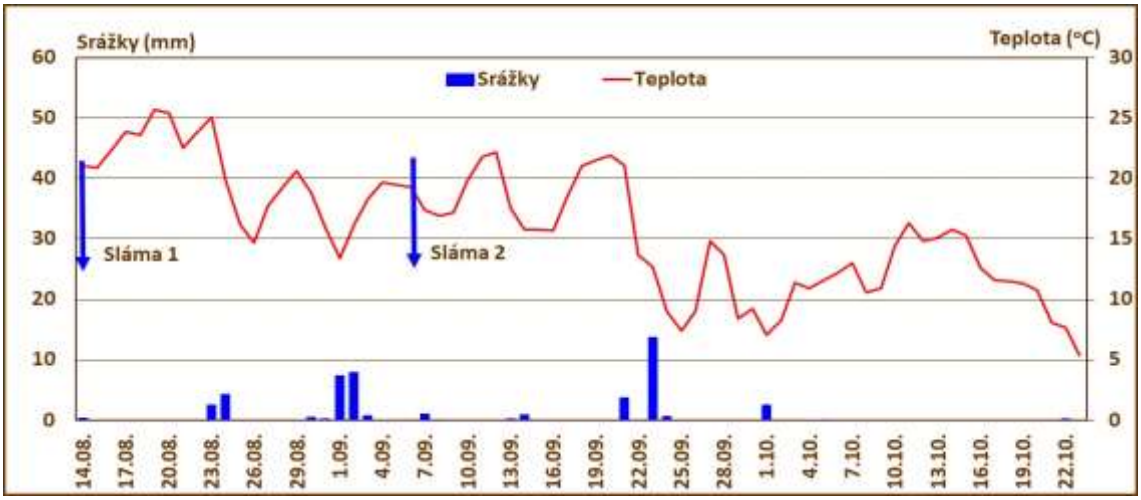
Rozklad slámy ponechané několik týdnů na povrchu (Sláma 2) byl ovlivněn průběhem počasí. Celkově se rozklad slámy během tří týdnů ponechání na povrchu pohyboval v rozmezí 2,8–14 % v závislosti na srážkách a teplotách. Z použitých hnojiv se v podmínkách sucha více osvědčil digestát. Je pravděpodobné, že digestát ovlhčil slámu, což ve většině sledovaných let vedlo k jejímu mírně vyššímu rozkladu proti močovině. Dobré vlhkostní podmínky mohou po zapravení zvýšit rozklad slámy ponechané několik týdnů na povrchu až na celkových 50 % (např. v roce 2019). Výsledky nepotvrdily příznivý vliv inhibitorů nitrifikace na rozklad slámy, které měly omezit přeměnu amonného dusíku na nitrátový. Rozklad slámy po aplikaci inhibitorů byl podobný jako bez jejich použití, a v některých případech dokonce i nižší. Podobně nízká intenzita rozkladu slámy byla zjištěna u slámy zapravené do půdy až po několika týdnech jejího ponechání na povrchu, pokud nenásledovaly srážky.

Déšť a vyšší teploty mohou na rozklad slámy působit příznivě, pokud ale následuje sucho, rozklad slámy je velmi pomalý. Na druhou stranu, pokud po aplikaci hnojiv a zapravení slámy do půdy následují vysoké srážky, může být část dusíku z hnojiv proplavena pod vrstvu půdy se zapravenou slámou.

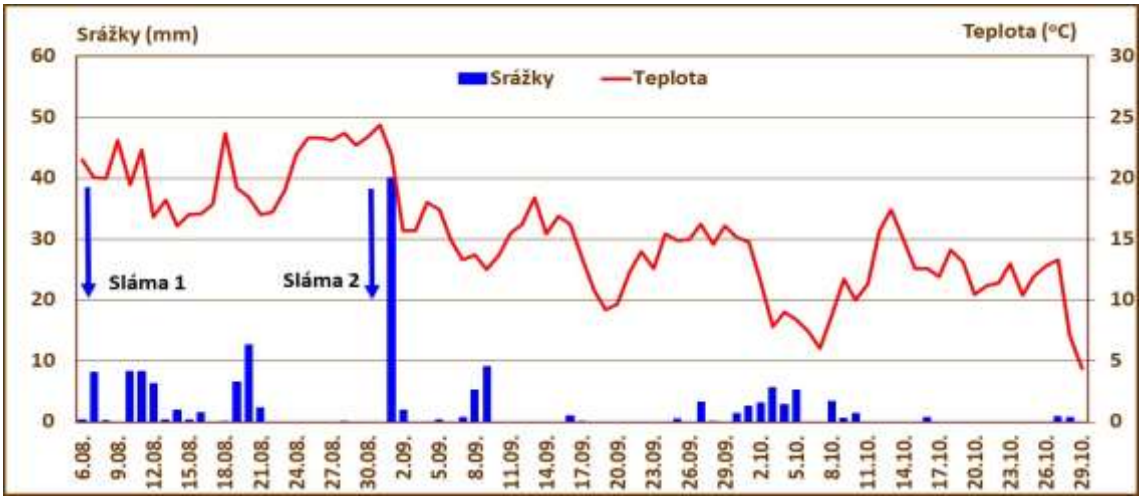
Graf 1a–e: Průměrné denní teploty vzduchu a denní úhrny srážek v průběhu pokusu v letech 2017–2021 v Praze-Ruzyni (a–c) a v Lukavci (d–e)

a) Praha-Ruzyně 2017

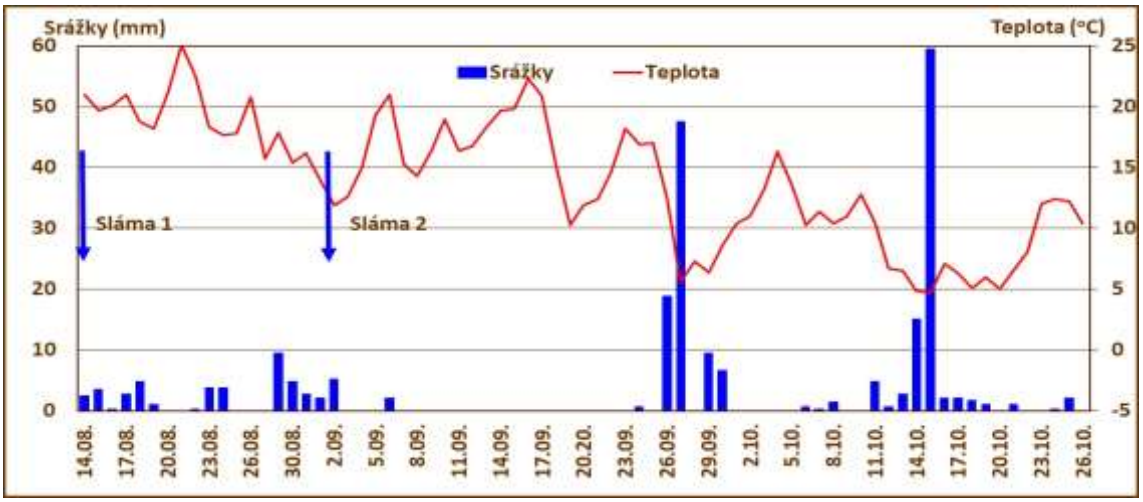
b) Praha-Ruzyně 2018



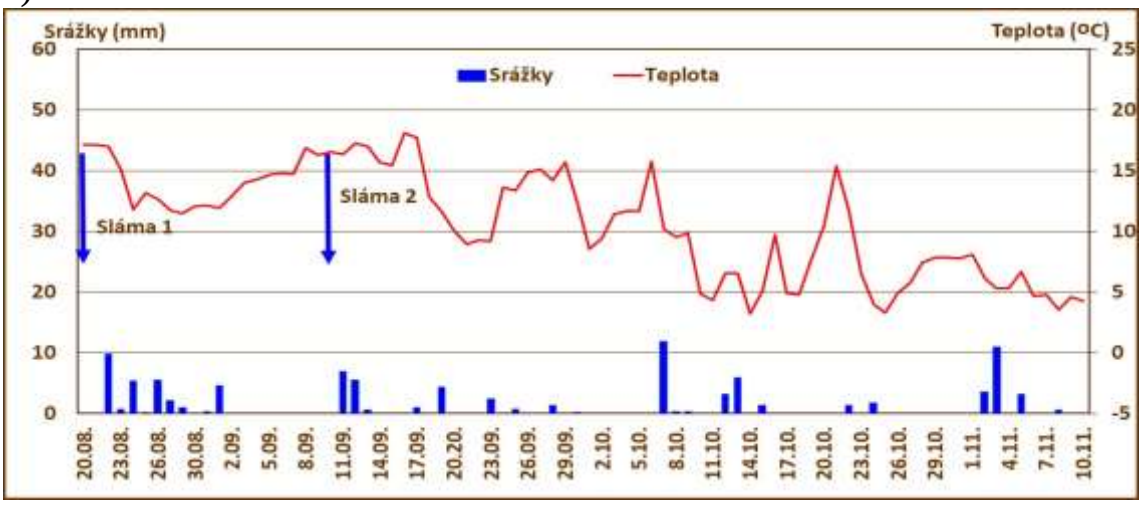
c) Praha-Ruzyně



d) Lukavec 2020

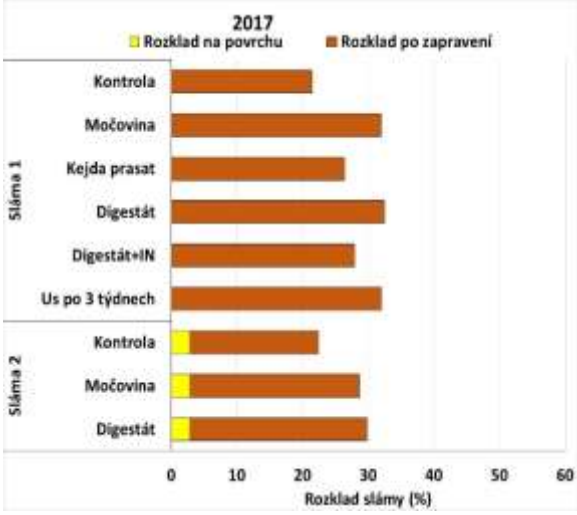


e) Lukavec 2021

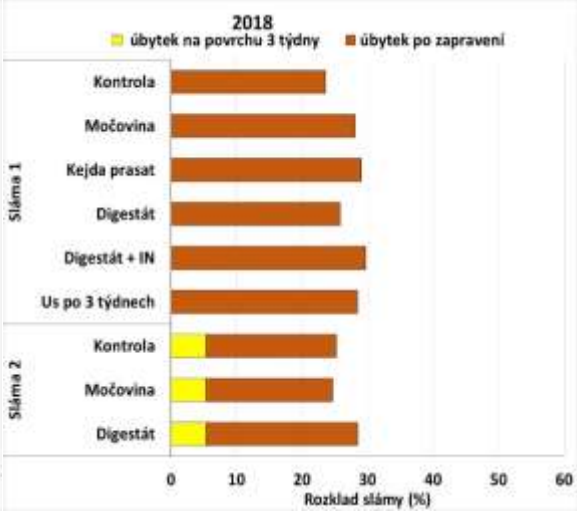


Graf 2a–e: Úbytek slámy v polním pokusu v Praze-Ruzyni v letech 2017–2019 (a–c), v Lukavci v letech 2020–2021 (d–e)

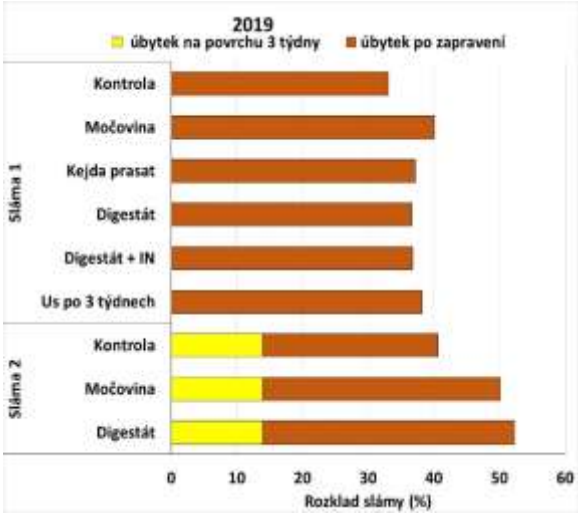
a)



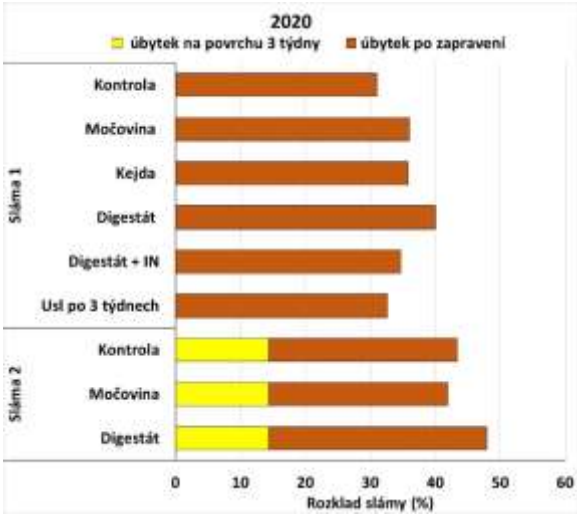
b)



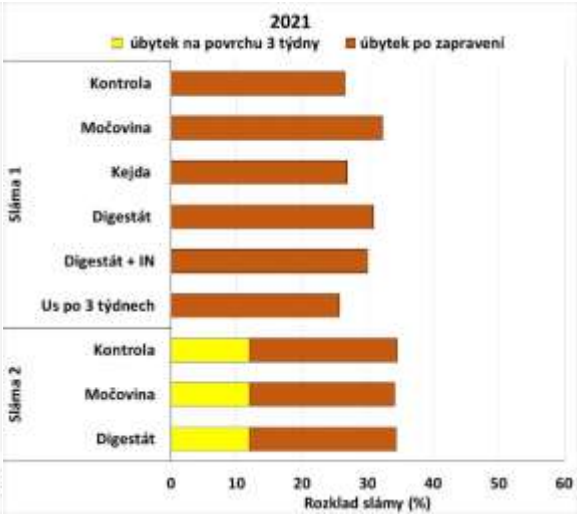
c)



d)



e)



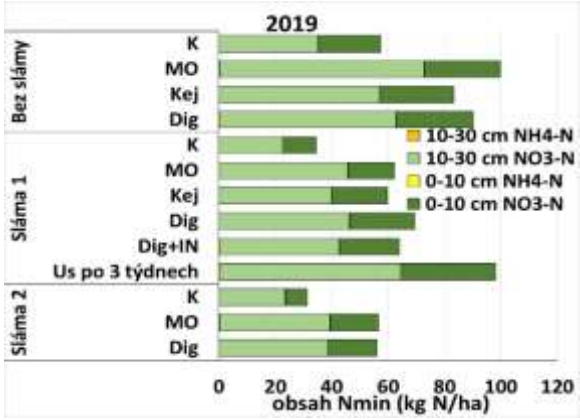
Obsah minerálního dusíku v půdě

Obsah N_{min} v půdě z polního pokusu byl sledován v letech 2019–2021 (Grafy 3 a–c). Výsledky z let 2019–2021 ukazují na posun dusíku pod půdní vrstvu, ve které byla sláma uložena. Většina dusíku v půdě byla v nitrátové formě. Část dusíku se mohla v půdě mineralizovat v průběhu teplého letního období. Intenzivní srážky, zvláště pokud následují krátce po zapravení hnojiv, mohou vyplavit nitráty do hlubších vrstev půdy. Průměrně nižší obsah N_{min} v půdě v Lukavci byl způsoben jiným stanovištěm a půdou, která se vyznačuje vyšší promyvností.

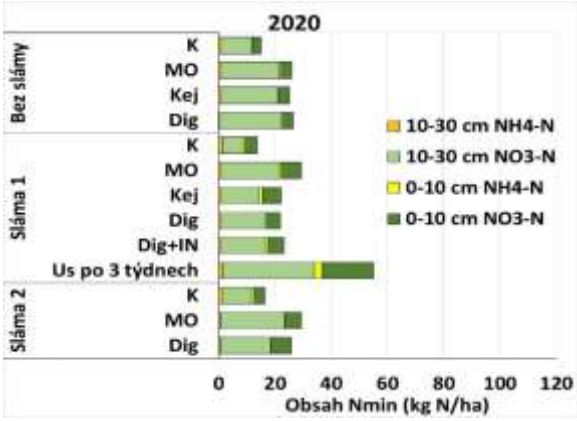
Aplikace hnojiva $UREA^{stabil}$ s odstupem několika týdnů na zapravenou slámu je vhodná v případě, že následuje ozimá řepka, kdy je kromě podpory rozkladu slámy dusík z hnojiva využit pro výživu rostlin během podzimního růstu.

Graf 3a–c: Obsah N_{min} v půdě – polní pokus Praha-Ruzyně 2019 (a), Lukavec 2020 a 2021 (b, c)

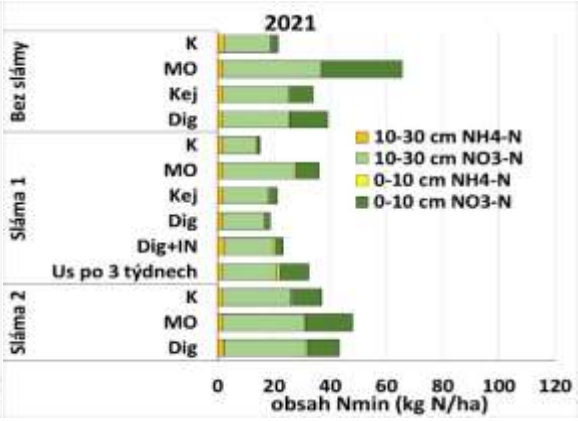
a)



b)



c)



K – kontrola, MO – močovina, Dig – digestát, Dig+IN – digestát + inhibitor nitrifikace, Kej – kejda prasat, Us – $UREA^{stabil}$

II. 3. Rozklad slámy v pokusech na půdách v zemědělské praxi

Na základě výsledků získaných v maloparcelkových pokusech byly v letech 2020 a 2021 založeny pokusy v provozních podmínkách zemědělských podniků. V každém podniku byl pokus založen s ohledem na technické možnosti a běžně používaný způsob hnojení na podporu rozkladu slámy.
Minerální hnojivo (síran amonný) bylo aplikováno v dávce 60 kg N/ha, digestáty v dávce 80 kg celkového N/ha. Odstup od sklizně pšenice byl od pěti dní po cca jeden měsíc.

Na obrázcích 1 a 2 je zobrazen rozklad slámy po různých hnojivech v zemědělských podnicích na Vysočině (Obr. 1) a Rakovnicku (Obr. 2). Na slámě je viditelné částečně hnědé zabarvení svědčící o bakteriálním rozkladu slámy ve všech variantách hnojení, a to i na nehnojené kontrole. Na Obr. 1 je patrné i šedé zabarvení svědčící o přítomnosti plísní, které se mohou projevit také v prostředí s nižší dostupností dusíku. U varianty hnojení se síranem amonným byl pozorován mírně intenzívnější rozklad slámy, v porovnání se slámou po hnojení digestátem nebo s nehnojenou slámou. Větší rozdíly mezi jednotlivými variantami hnojení nebyly zřejmé. Na Obr. 2 je zobrazena sláma, kde je po hnojení síranem amonným vidět pokročilejší rozklad slámy než u nehnojené kontroly. V porovnání s kontrolou je po aplikaci síranu amonného zřetelnější rozpad stébel slámy na drobnější kousky. Na Obr. 3 je uveden i příklad prorůstání slámy hyfami plísní.

Obr. 1: Rozklad slámy po hnojení síranem amonným a digestátem, v porovnání s nehnojenou kontrolou v půdách na Vysočině.

Obr. 2: Rozklad slámy po hnojení síranem amonným, v porovnání s nehnojenou kontrolou v půdách na Rakovnicku.

Obr. 3: Rozklad slámy pšenice ozimé po zapravení do půdy

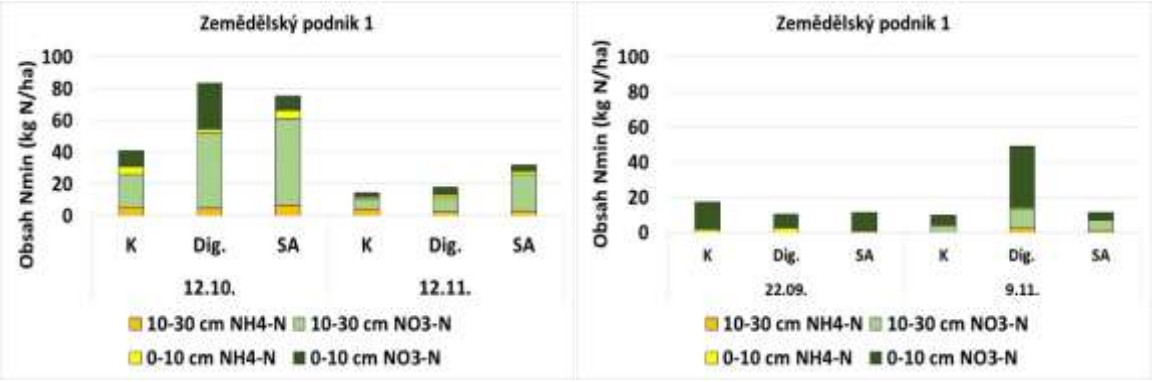
Obsah minerálního dusíku v půdě

V půdách zemědělských podniků, kde byl sledován rozklad slámy, se po aplikaci dusíkatých hnojiv obsah N_{min} pohyboval od 35 kg N/ha u nehnojených půd po 84 kg N/ha u půd, kde byl aplikován digestát (Grafy 4a–d). V listopadu již obsah N_{min} zpravidla nebyl vyšší než 30–50 kg N/ha. Není vyloučeno, že zejména nitrátový dusík se v podzimním období, kdy jsou častěji pozorovány srážky, může vyplavovat do hlubších vrstev půdy a může být tak méně využit pro rozklad slámy.

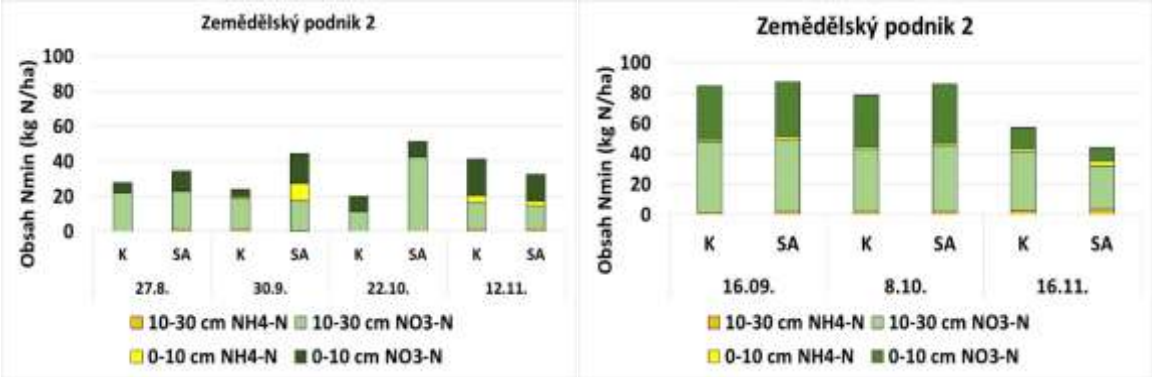
Ze získaných výsledků rozkladu slámy sledovaného v několika zemědělských podnicích vyplývá, že na podzim byla rozložena jen část slámy a její větší část bude (zvláště v sušších letech) v půdě rozložena během následujícího zimního (při vyšších teplotách půdy) a jarního období, ve kterém pak půdní mikroorganismy při rozkladu slámy mohou v nárocích na dusík konkurovat rostlinám.

Graf 4a–d: Obsah N_{min} v půdě v letech 2020 (a, c) a 2021 (b, d)

a) b)



c) d)



K – kontrola, Dig. – digestát, SA – síran amonný

Po aplikaci hnojiv v létě se zvyšuje riziko posunu nitrátů do hlubších vrstev půdního profilu. Tento vyplavený dusík se pak nemůže podílet na rozkladu slámy, neboť nezůstane ve vrstvě, kde se sláma nachází. Přitom v teplém letním období je přeměna dusíku obsaženého v hnojivech na nitráty v nakypřené půdě rychlá a na počátku skutečného rozkladu slámy (2–3 týdny po zapravení) je většina dusíku již ve formě nitrátů. Proto je vhodné, když po aplikaci dusíku na slámu následuje meziplodina nebo ozimá řepka, která dokáže nitráty neuplatněné při rozkladu slámy využít.

II.4. Emise NH_3 a CO_2 po aplikaci tekutých statkových a kapalných organických hnojiv na slámu

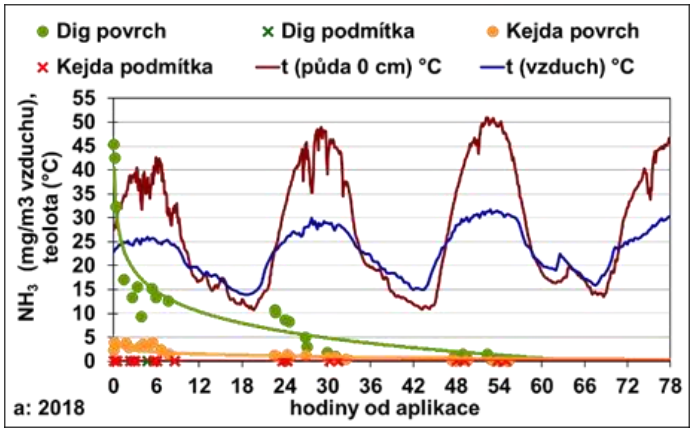
Po aplikaci dusíkatých hnojiv na slámu za účelem jejího lepšího rozkladu může docházet také ke ztrátám dusíku únikem amoniaku (nejvíce u digestátu a kejdy) a po jejich zapravení do půdy rovněž k podpoře aerobních mineralizačních procesů spojených s emisemi CO_2. V maloparcelkových pokusech byly v letech 2018–2020 sledovány ztráty amoniaku volatilizací a emise CO_2 po aplikaci digestátu a kejdy na strniště s rozdrcenou slámou po sklizni ozimé pšenice. Ke hnojení byl využit hadicový aplikátor a následně byla provedena podmítka disky do hloubky 10 cm.
Hnojiva byla v jednotlivých letech aplikována v dávkách 20–30 m^3/ha podle celkového obsahu dusíku. Byla použita hnojiva z různých zemědělských podniků a bioplynových stanic (BPS), aby mezi porovnávanou kejdou a digestátem byly co nejmenší rozdíly v obsahu sušiny ovlivňující vsakování do půdy i v dalších faktorech rozhodujících o volatilizaci amoniaku.

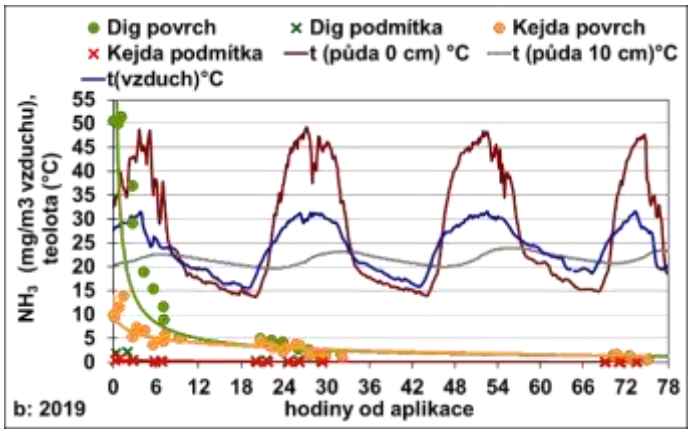
Emise NH_3 po aplikaci tekutých statkových a kapalných organických hnojiv
Z hlediska povětrnostních podmínek nebyly mezi jednotlivými ročníky rozdíly, jež by mohly podstatně ovlivnit emise amoniaku po aplikaci hnojiv. Významnější koncentrace amoniaku v ovzduší byly ve všech letech zjištěny pouze v případě povrchové aplikace bez zapravení (Graf 5a–c). Dle platné legislativy musí být tekutá statková a kapalná organická hnojiva zapravena do půdy nejpozději do 24 hodin (v případě hnojiv pocházejících ze zařízení podle zákona o integrované prevenci nejpozději do 12 hodin), pokud na pozemku s ornou půdou není porost. V případě porostu se počítá s alespoň částečným zachycením amoniaku nadzemní hmotou rostlin, což sníží výsledné emise z hnojené plochy. Jak vyplývá z grafů 5a–c, ve všech letech byly emise nejvyšší bezprostředně po aplikaci hnojiva, k největším ztrátám amoniaku došlo během prvních šesti hodin. To dokládá, že postupy požadované legislativou nejsou účinné z hlediska ochrany ovzduší. Všechna měření potvrdila, že překrytí hnojiv, zejména digestátu, půdou výrazně eliminuje úniky amoniaku, neboť je omezen kontakt hnojiva s ovzduším. Následné zapravení povrchově aplikovaných hnojiv je však spojeno s přejezdy zemědělské techniky po provlhčené půdě, což může vést k poškození půdní struktury, vzniku technogenního zhutnění apod. Tyto negativní dopady na půdu lze eliminovat vhodnějším způsobem aplikace tekutých statkových a kapalných organických hnojiv, např. použitím aplikátorů s okamžitým zapravením hnojiv v jedné operaci (Obr. 4) nebo aplikací do předem připravených rýh, jež jsou následně

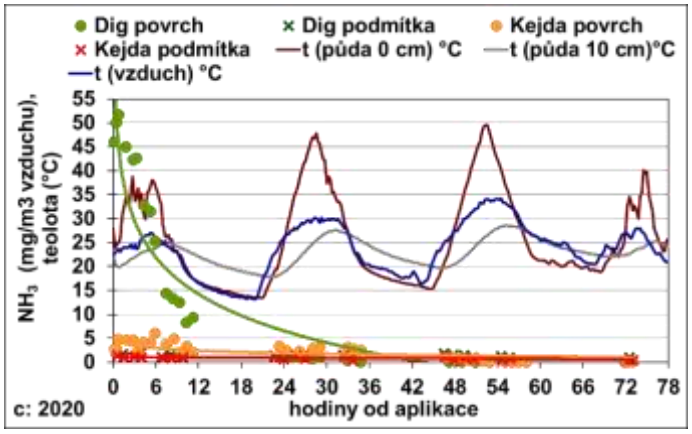
překryty suchou zeminou z okolí rýhy, a zemina provlhčená po aplikaci není vystavena tlaku pracovních nástrojů, jak popsali Brant a kol. (2020).
Z porovnání obou hnojiv vyšla lépe, dle teoretických předpokladů, kejda s nižší hodnotou pH a zpravidla nižším podílem dusíku v amonné formě. Kejda se do suché půdy (2018 a 2019) vsakovala mnohem rychleji než digestát, ve vlhčím roce 2020 nebyl rozdíl ve vsakování podstatný. Koncentrace amoniaku v ovzduší po aplikaci kejdy v letech 2018 a 2020 byly 9–10x nižší než po aplikaci digestátu, v roce 2019 pouze pětkrát, pravděpodobně kvůli podílu amonného dusíku, který byl tentokrát v kejdě vyšší než v digestátu.

Obr. 4: Souprava aplikátoru tekutých statkových a kapalných organických hnojiv s disky

Graf 5a–c: Koncentrace amoniaku ve vzduchu po aplikaci digestátu a kejdy na slámu.







Emise CO_2 po aplikaci tekutých statkových a kapalných organických hnojiv

Zpracování půdy spojené s aplikací hnojiv, zejména s vyšším obsahem amonné formy dusíku jako kejda a digestát, vede k zintenzivnění činnosti půdní mikroflóry. Pro metabolismus mikroorganismů je třeba zdroj uhlíku ve formě snadno rozložitelných látek, kterým mohou být organická nebo statková hnojiva, upravené kaly, neskliditelné posklizňové zbytky včetně kořenů a v ostatních případech primární organické látky v půdě. Mineralizační procesy v půdě jsou doprovázeny emisemi CO_2, které byly rovněž sledovány po aplikaci digestátu a kejdy na slámu.

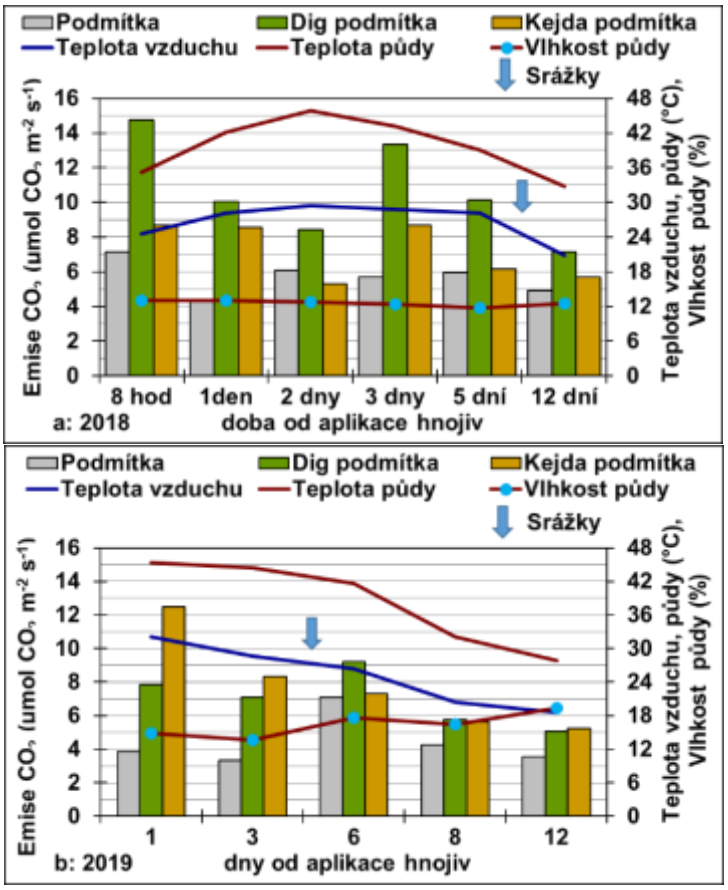
Po podmítce samotného strniště byly vždy zjištěny nižší emise oxidu uhličitého, než v kombinaci s organickým hnojením (Graf 6a–c). Přítomnost digestátu v roce 2018 zvýšila ztráty CO_2 více než dvakrát. Vliv kejdy nebyl tak významný a odezněl po čtyřech dnech, kdy emise CO_2 klesly na úroveň varianty bez hnojení. V následujícím roce aplikace kejdy a její zapravení zvýšilo v prvních dnech emise CO_2 z půdy na trojnásobek a digestátu pouze na dvojnásobek hodnoty zjištěné u nehnojené varianty. Emise CO_2 u varianty s digestátem převýšily variantu s kejdou až po srážkách, které provlhčily půdu a zlepšily její kontakt s digestátem, jenž začal intenzivněji ovlivňovat půdní mikroflóru. V následujících dnech s poklesem teplot vzduchu i půdy klesaly emise CO_2 u

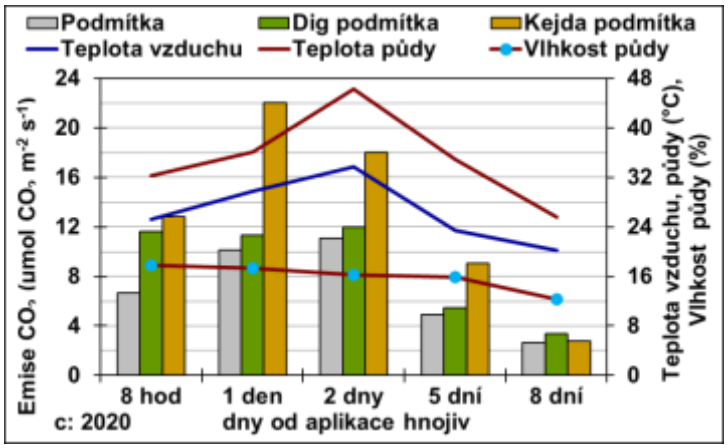
všech zpracovaných variant. I po dvanácti dnech však byl patrný rozdíl mezi hnojenými variantami a nehnojenou kontrolou.

Zatímco úniky amoniaku byly nejvyšší v prvních hodinách od aplikace tekutých statkových a kapalných organických hnojiv a rychle klesaly, emise CO_2 postupně narůstaly do druhého dne po aplikaci, kdy byly zpravidla zjištěny nejvyšší hodnoty. Největší ztráty uhlíku ve formě CO_2 byly zjištěny v roce 2020, kdy měla půda vyšší vlhkost než v předchozích letech, a tudíž vyšší aktivitu půdní mikroflóry (Graf 6c). V tomto roce byl nejvýraznější i vliv dalšího faktoru zásadně ovlivňujícího emise CO_2 z půdy, a sice teploty. Během šesti dnů se snížila teplota půdy ve zpracované vrstvě o 21 °C, což výrazně omezilo aktivitu půdní mikroflóry. Emise oxidu uhličitého klesly na téměř shodnou úroveň u všech variant, jež u podmítky představovala pouze čtvrtinu ve srovnání s nejvyšší hodnotou zjištěnou u této varianty a u zapravené kejdy pouze osminu.

Ve většině let byly zjištěny vyšší emise CO_2 při hnojení kejdou než digestátem. Nižší emise CO_2 po aplikaci digestátu ve srovnání se surovinami (využitými jako hnojiva) před digescí v BPS jsou nejpravděpodobněji způsobeny nepřítomností labilních frakcí organických látek po anaerobní digesci.

Graf 6a–c: Emise CO_2 po zapravení kejdy a digestátu aplikovaných na slámu.





Pro omezení emisí je vhodné aplikovat tekutá statková a kapalná organická hnojiva pokud možno za nižších teplot a bezprostředně po aplikaci je zapravit do půdy vzhledem k omezení volatilizace amoniaku, která je nejintenzivnější v prvních šesti hodinách od aplikace. Vyšší vlhkost půdy při aplikaci a zapravení zlepšila vsakování digestátu do půdy, ale podstatné omezení ztrát dusíku volatilizací zjištěno nebylo. Větší vlhkost půdy naopak podpořila aktivitu půdní mikroflóry a intenzitu mineralizačních procesů doprovázenou vysokými emisemi CO_2, ačkoli byl tento ročník nejchladnější za sledované období. Nejrizikovějším jevem z hlediska ztrát uhlíku emisemi CO_2 jsou srážky v kombinaci s prohřátou půdou, a to bez ohledu na hnojení.

II. 5. Legislativa pro hnojení dusíkem na slámu

Základní požadavky na používání hnojiv stanoví zákon č. 156/1998 Sb. (zákon o hnojivech) a jeho prováděcí vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv.

Podle zákona o hnojivech je statkovým hnojivem hnojivo vznikající nejen jako vedlejší produkt při chovu hospodářských zvířat, ale i jako produkt při pěstování kulturních rostlin (§ 2). K tomu je v dalších částech zákona – např. § 9 odst. 2 d) bod 4., § 9; odst. 7 a) a také ve vyhlášce č. 377/2013 Sb. upřesněno, že se jedná o hlavní nebo vedlejší rostlinné produkty. Sláma, chrást nebo nadzemní biomasa meziplodin na zelené hnojení apod. jsou tedy tuhými statkovými hnojivy. Na hnojení vedlejšími či hlavními produkty vzniklými při pěstování kulturních rostlin se nevztahují téměř žádná omezení, např. ani zákaz hnojení na půdě zaplavené, přesycené vodou, promrzlé nebo pokryté vrstvou sněhu (§ 9 zákona). Pro vedlejší či hlavní rostlinné produkty neplatí ani povinnost vztahující se k zapravení tuhých statkových hnojiv do půdy (§ 7 vyhlášky).

Zemědělští podnikatelé jsou povinni vést evidenci o hnojivech použitých na zemědělské půdě. V případě statkových hnojiv rostlinného původu se tato povinnost evidence vztahuje pouze na slámu.(§ 9 zákona). Zapravení (příp. ponechání na povrchu jako mulč) dalších vedlejších produktů (chrást, zelené

hnojení apod.) je ale doporučeno evidovat pro účely jiných předpisů (dotace, nitrátová směrnice).

Pokud se použijí ke hnojení vedlejší či hlavní produkty vzniklé při pěstování kulturních rostlin, tedy skliditelné rostlinné zbytky, zejména sláma, chrást, plodina na zelené hnojení, tráva, zaznamenávají se do evidence bez uvedení množství hmoty a živin (§ 9 vyhlášky). Tyto rostlinné produkty použité jako hnojivo se evidují bez uvedení množství a živin.

Z hlediska hospodaření ve zranitelných oblastech se slámy týkají některé části 5. akčního programu nitrátové směrnice uvedeného v nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. Při použití slámy jako hnojiva se na slámu ani na další skliditelné rostlinné zbytky nevztahují žádná omezení týkající se hnojení.

Omezení hnojení v letním a podzimním hnojení se týká používání minerálních dusíkatých hnojiv a hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem, jako je kejda a digestát. Toto omezení se vztahuje k období od 15. června příslušného kalendářního roku do začátku období zákazu hnojení a závisí na začlenění zemědělského pozemku do jednoho ze tří aplikačních pásem podle rizika vyplavení dusičnanů z půdního profilu. Omezení se týká hnojení k následným ozimým plodinám (způsob hnojení 1 a 2), meziplodinám či na podporu rozkladu slámy (způsob hnojení 3) nebo k následným jarním plodinám (způsob hnojení 4). Pro stanovení dávek dusíku podle tabulky č. 6 v příloze č. 2 k nařízení v období po sklizni hlavní plodiny se postupuje takto:

a) maximální celkové dávky stanovené pro jednotlivé způsoby hnojení a hnojiva nelze mezi sebou sčítat,

b) v případě použití hnojiv k podpoře rozkladu slámy je navíc možné použít nejvýše 30 kg N/ha ke hnojení řepky nebo nejvýše 20 kg N/ha ke hnojení ostatních ozimých plodin.

Za hnojení na podporu rozkladu slámy se považuje přímé nebo následné hnojení do začátku období zákazu hnojení na zemědělském pozemku s ponechanou veškerou slámou. Strniště po sklizni kukuřice na siláž o výšce nejméně 40 cm se považuje za slámu.

Maximální dávky dusíku ke slámě jsou 40–60 kg N/ha v minerálních hnojivech nebo 80–120 kg celkového N/ha v kejdě, digestátu apod., a to podle stanovených aplikačních pásem (IIIb, IIIa, II, I).

Použití minerálních dusíkatých hnojiv k podpoře rozkladu slámy je možné pouze v případě, že bude následovat ozimá plodina nebo meziplodina ponechaná na zemědělském pozemku minimálně do 31. ledna následujícího kalendářního roku.

II. 6. Doporučení pro hnojení dusíkem na slámu v zemědělské praxi

- Z porovnání jednotlivých ročníků v období 2017–2021 a dvou rozdílných stanovišť je zřejmé, že povětrnostní podmínky významně ovlivnily rozklad slámy obilnin.
- Na základě dosažených výsledků je třeba přehodnotit hnojení dusíkem na podporu rozkladu slámy.
- V průběhu podzimu se v závislosti na povětrnostních podmínkách po hnojení dusíkem rozloží průměrně mezi 30–50 % slámy pšenice, přičemž bez hnojení se rozloží cca 25–30 %.
- Jak ukazují dosažené výsledky, rozklad slámy bez hnojení dusíkem nemusí být výrazně nižší v porovnání se slámou, na kterou byl aplikován dusík. Je proto třeba omezit dávky dusíkatých hnojiv aplikovaných na slámu a případně navrhnout i snížení maximálních povolených dávek N v nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu.
- Celkový rozklad slámy byl vyšší při aplikaci hnojiv na slámu, která byla 3 týdny ponechaná na povrchu půdy
- Sláma ponechaná po sklizni na povrchu omezuje ztráty vody z půdy a její prohřívání v teplém letním období, což zlepšuje zadržení vody, uhlíku a živin v půdě. Tento postup je doporučován v návaznosti na klimatickou změnu, a to zejména v kombinaci s přímým setím meziplodin, popř. ozimé řepky do mulče. Na druhou stranu může v některých letech tento postup přispět k většímu výskytu hraboše polního.

Doporučení pro aplikaci minerálních hnojiv

- Dosud se pro podporu rozkladu slámy používají nejčastěji dávky 8–10 kg N na jednu tunu slámy. Na základě dosažených výsledků lze doporučit snížit hnojení dusíkem minerálními hnojivy na podporu rozkladu slámy na 4–5 kg N na jednu tunu slámy.
- Pokud následuje ozimá řepka nebo meziplodina s vyššími nároky na výživu dusíkem, je možné zvýšit dávku N na 6–10 kg N/t slámy. Toto doporučení pro vyšší dávku dusíku se týká také statkových a organických hnojiv, u nichž je část dusíku v organické formě. Přitom nižší dávky výše uvedeného rozmezí se doporučují, pokud následně není zaseta žádná plodina, vyšší je možné aplikovat před setím ozimů nebo meziplodin.
- Současně je třeba sledovat aktuální povětrnostní podmínky a neaplikovat vyšší dávku dusíku, pokud je pravděpodobné, že bude následovat delší období sucha.
- Po aplikaci hnojiva $UREA^{stabil}$ na povrch půdy se zapravenou slámou byl zjištěn vyšší obsah N_{min} v půdě po ukončení pokusu. Je zde sice menší riziko vyplavení při intenzivních srážkách v letním období, ale pokud

nenásledují odpovídající srážky po aplikaci, nemusí dojít k vyššímu rozkladu slámy. Tento způsob hnojení N na podporu rozkladu slámy je proto vhodný v případě, že následuje ozimá řepka a dávka dusíku ke slámě může podpořit jak rozklad slámy v půdě, tak i zároveň podzimní růst řepky.

- Výsledky nepotvrdily vhodnost aplikace inhibitorů nitrifikace k digestátu použitém pro podporu rozkladu slámy.

Doporučení pro aplikaci tekutých statkových a kapalných organických hnojiv

- Tato hnojiva jsou vhodná na podporu rozkladu slámy vzhledem k tomu, že lépe ulpívají na slámě.
- Tekutá statková i kapalná organická hnojiva by měla být zapravena do půdy co nejdříve po aplikaci na slámu, nejlépe ihned v jedné operaci. Během prvních šesti hodin dochází k největším ztrátám dusíku volatilizací amoniaku. Doba 24 hodin pro zapravení tekutých statkových a kapalných organických hnojiv požadovaná legislativou je neúčinná z hlediska ochrany ovzduší. Novela legislativy hnojiv v roce 2021 již požaduje v případě hnojiv pocházejících ze zařízení podle zákona o integrované prevenci zapravení nejpozději do 12 hodin.
- Digestát má díky vyšší vlhkosti a lepším adhezním vlastnostem příznivý vliv na rozklad slámy, zejména pokud byl aplikován na slámu ponechanou tři týdny na povrchu půdy s následným zapravením.

Mulčování slámy a ponechání strniště

- Mulčování slámy, případně ponechání strniště s rozdrcenou slámou s pozdějším zpracováním půdy by pro rozklad slámy mělo být upřednostněno z následujících důvodů:
    - půda bez zpracování s mulčem na povrchu se v teplém letním období zahřívá méně a lépe zadržuje půdní vlhkost;
    - půda je více chráněna proti větrné a vodní erozi;
    - zpracování půdy, které ovlivňuje rozklad půdní organické hmoty, se provádí později při nižších teplotách a způsobuje nižší emise CO_2 v porovnání se zpracováním půdy bezprostředně po sklizni za vysokých letních teplot;
    - při pozdějším zpracování půdy dochází k nižší mineralizaci organické hmoty a je tedy nižší riziko tvorby dusičnanů a jejich následné ztráty vyplavením, neboť zejména při intenzivních letních srážkách, mohou být ztráty nitrátů vysoké;
    - zvětrávání slámy na povrchu půdy spolu s jejím pozdějším zapravením a v kombinaci s hnojením dusíkem vedlo k rychlejšímu rozkladu slámy než po zapravení slámy bezprostředně po sklizni pšenice ozimé.

III. Srovnání novosti postupů a zdůvodnění (§ 2, odst. 1, písm. b) a písm. c) zákona č. 130/2002 Sb.)

Ve stávající odborné literatuře je použití dusíkatých hnojiv pro podporu rozkladu slámy obecně doporučováno. Současně jsou dávky dusíkatých hnojiv pro podporu rozkladu slámy jako nezbytné uváděny i v učebnicích pro studenty středních škol i zemědělských univerzit. Značná část těchto doporučení se však vztahuje na klimatické podmínky a obvyklý průběh povětrnosti před nástupem klimatické změny.

V nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu je povoleno, nikoliv však přikázáno, hnojit na podporu rozkladu slámy a jsou uvedeny maximální přípustné dávky dusíku podle půdně-klimatických podmínek a zejména rizika vyplavení dusíku v následujícím mimovegetačním období.

Tato nová metodika reaguje na změny počasí spojené s častějšími výskyty sucha a vyššími teplotami vzduchu v letním období po sklizni obilnin, které mohou mít nepříznivý vliv na rozklad slámy a využití dusíku z aplikovaných hnojiv. Za sucha zůstává dusík v půdě nevyužitý a vzrůstá riziko jeho vyplavení po intenzivních srážkách. Z tohoto důvodu jsou nově navrženy vhodnější dávky dusíku na podporu rozkladu slámy, včetně možnosti spojeného hnojení dusíkem ke slámě a ozimé řepce nebo k meziplodinám. Také se ukazuje, že sláma ponechaná na povrchu omezuje ztráty vody z půdy a v teplém letním období také zamezuje nežádoucímu přehřívání půdy a ztrátám CO_2 z půdy.

IV. Popis uplatnění schválené metodiky

Schválená metodika je určena zejména pro širokou zemědělskou veřejnost, agronomy v zemědělských podnicích rozhodující o dávkách hnojení a zemědělské poradce. Orgánům státní správy může sloužit jako podklad pro úpravu legislativy, zejména přípravu dalších pravidel v rámci akčních programů nitrátové směrnice, kde bude využita jako odborná argumentace pro úpravu maximálních přípustných dávek hnojení dusíkem na slámu. V neposlední řadě bude určena i pro studenty středních odborných zemědělských škol a také pro pracovníky a studenty zemědělských univerzit.

V. Ekonomické aspekty

Na území ČR se v současnosti nachází přibližně 3,5 milionů hektarů zemědělské půdy, z toho je zhruba 2,5 milionů hektarů orné půdy a z toho polovina připadá na obilniny. Pšenice ozimá se pěstuje zhruba na 840 tis. ha, ječmen na 320 tis. ha a ostatní obilniny přibližně na 100–120 tis. ha ročně. Celkem se sklidí zhruba 7 650 tis. tun zrna obilovin (Statistická ročenka 2020), čemuž odpovídá produkce v množství cca 6 120 tis. tun slámy obilnin. Celá řada podniků má

živočišnou výrobu, kde slámu využije pro hospodářská zvířata, případně ji může použít například jako část receptury pro BPS. U těchto podniků se nedá předpokládat ponechání slámy na poli, případně na slámu mohou aplikovat vlastní tekutá statková nebo kapalná organická hnojiva.

Pokud by zemědělské podniky aplikovaly minerální dusíkatá hnojiva pouze na 10 % slámy obilnin, kde je nyní obvyklá dávka okolo 8–10 kg N/t slámy, použily by nyní na podporu rozkladu slámy obilnin 5–6 tisíc tun N. Snížením dávky hnojiv na polovinu se ušetří cca 2,5–3 tisíce tun dusíku. Při průměrné ceně hnojiv 20 Kč/kg N může úspora činit 100–120 mil. Kč/rok. V této souvislosti je třeba zmínit i povinnost výpočtu bilance dusíku pro podniky hospodařící ve zranitelných oblastech, od roku 2021. Ukazuje se, že právě minerální hnojení na podporu rozkladu slámy je rezervou, kterou je možné na základě našich doporučení v příštích letech využít pro snížení bilančního přebytku N v řadě zemědělských podniků, a to i s ohledem na razantní zvýšení cen minerálních hnojiv na podzim roku 2021.

Významným, i když finančně nekvantifikovatelným efektem je snížení rizika vyplavení nitrátů do povrchových a podzemních vod i snížení emisí CO_2 a NH_3 do ovzduší.

VI. Seznam použité související literatury

1. Brant, V., Nýč, M. Kusá, H., Kroulík, M., Růžek, P., Zábranský, P., Škeříková, M. 2020. Ekonomicky a ekologicky efektivní postupy zapravení kejdy a digestátu do půdního profilu. Certifikovaná metodika. Kurent, 88s.
2. Curtin, D., Selles, F., Wang, H., Biederbeck, V.O., Campbell, C.A. Carbon Dioxide Emissions and Transformation of Soil Carbon and Nitrogen during Wheat Straw Decomposition. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62, 1035–1041.
3. Cyle, K.T., Hill, N., Young, K., Jenkins, T., Hancock, D., Schroeder, P.A. (2016): Substrate quality influences organic matter accumulation in the soil silt and clay fraction. *Soil Biol. Biochem.*, 103, 138–148.
4. Gao, H., Wei, J., Zhang, Y., Zhang, L., Chang, J, Thompson, M.L. (2016): Decomposition Dynamics and Changes in Chemical Composition of Wheat Straw Residue under Anaerobic and Aerobic Conditions. *PloS One*, 11, e0158172., doi: 10.1371/journal.pone.0158172
5. Han, X., Xu, C., Dungait, J.A.J., Bol, R., Wang, X.J., Wu, WL., Meng, F.Q. (2018): Straw incorporation increases crop yield and soil organic carbon sequestration but varies under different natural conditions and farming practices in China: a system analysis. *Biosciences*, .15, 1933–1946.
6. Hlušek, H. (2004): Statková hnojiva – sláma na hnojení: Multimediální učební texty z výživy rostlin – Hnojení slámou (mendelu.cz)
7. Hobbie, S.E., Eddy, W.C., Buyarski, C.R., Adair, E.C., Ogdahl, M.L., Weisenhorn, P. (2012): Response of decomposing litter and its microbial community to multiple forms of nitrogen enrichment. *Ecol. Monogr.*, 82, 389–405.
8. Kaspari, M., Garcia, M.N., Harms, K.E., Santana, M., Wright, S.J., Yavitt, J.B. (2008): Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. *Ecol. Lett.*, 11, 35–43.
9. Klír, J., Haberle, J., Růžek, P., Šimon, T., Svoboda, P. (2018). Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Certifikovaná metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 43 s.
10. Meng, F.Q., Dungait, J.A.J., Xu, X.L., Bol, R., Zhang, X., Wu, WL. (2017): Coupled incorporation of maize (Zea mays L.) straw with nitrogen fertilizer increased soil organic carbon in Fluvic Cambisol. *Geoderma*, 304, 19–27.
11. Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-262
12. Neff, J.C., Townsend, A.R., Gleixner, G., Lehman, S.J., Turnbull, J., Bowman, W.D. (2002): Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature*, 419, 915–917.
13. Statistická ročenka České republiky (2020): Statistická ročenka České republiky - 2020 | ČSÚ (czso.cz)

14. Veres, Z., Kotroczó, Z., Fekete, I., Tóth, J.A., Lajtha, K., Townsend, K., Tóthmérész, B. (2015): Soil extracellular enzyme activities are sensitive indicators of detrital inputs and carbon availability. *Appl.Soil Ecol.*, 92, 18–23. 10.1016/j.apsoil.2015.03.006.

15. Tulina, A.S., Semenov, V.M., Rozanova, L.N., Kuznetsova, T.V., Semenova, N.A. (2009): Influence of moisture on the stability of soil organic matter and plant residues. *Eur. Soil Sci.*, 42: 1241–1248.

16. Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012): Výživa zahradních rostlin. Acadeia, Praha: 568 str, ISBN 978-80-200-2147-2.

17. Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv. https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-377 .

18. Wang, Q., Liu, X., Li, J., Yang, X., Guo, Z. (2021): Straw application and soil organic carbon change: A meta-analysis. Soil & Water Res.: 112–120.

19. Wollnerová, J., Kozlovská, L., Klír, J. (2020). Hospodaření ve zranitelných oblastech – 5. akční program nitrátové směrnice. Metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 68 s.

20. Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd. https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156.

21. Zhao, S., Li, K., Zhou, W., Qiu, S., Huang, S., He, P. (2016): Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long–term straw return in north–central China. Agric. Ecosyst. Environ., 216, 82–88.

22. Zhao, S., Xiu, S., Xu, X., Ciampitti, I.A., Zhang, S., He, P. (2019): Change in straw decomposition rate and soil microbial community composition after straw addition in different long-term fertilization soils. *Appl. Soil Ecol.*, 138, 123–133.

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Brant, V., Nýč, M. Kusá, H., Kroulík, M., Růžek, P., Zábranský, P., Škeříková, M. 2020. Ekonomicky a ekologicky efektivní postupy zapravení kejdy a digestátu do půdního profilu. Certifikovaná metodika. Kurent, 88s.

Mühlbachová, G., Růžek, P., Kusá, H., Vavera, R., Káš, M. (2021): Winter Wheat Straw Decomposition under Different Nitrogen Fertilizers. Agriculture-Basel, 11:83, DOI: 10.3390/agriculture11020083

Mühlbachová, G., Růžek, P., Kusá, H., Vavera, R., Káš, M. (2021): Účinnost hnojení dusíkatými hnojivy při podpoře rozkladu slámy. Úroda, 69 (8): 66–70

Růžek, P., Kusá, H., Mühlbachová, G., Vavera, R. (2021): Emise CO_2 a ztráty vody z půdy před setím ozimů, Úroda, 69 (12-CD, věd. př.): 565–570

Klír, J., Kozlovská, L., Haberle, J., Műhlbachová, G. (2016). Metodický návod pro hospodaření ve zranitelných oblastech. Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i.

Název: **Přínosy a rizika aplikace dusíkatých hnojiv na podporu rozkladu slámy**

Autoři: Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D.
Ing. Pavel Růžek, CSc.
Ing. Helena Kusá, Ph.D.
Ing. Radek Vavera, Ph.D.
Ing. Martin Káš, Ph.D.
Ing. Elizaveta Watzlová

Pracoviště: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Fotografie: Ing. Gabriela Mühlbachová, Ph.D., Ing. Pavel Růžek, CSc., Ing. Martin Káš, Ph.D., Ing. Radek Vavera, Ph.D.

Oponenti: prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D., MENDELU v Brně
Ing. Josef Svoboda, Ph.D., ÚKZÚZ, Brno

Kontakty: muhlbachova@vurv.cz
ruzek@vurv.cz
kusa@vurv.cz
vavera@vurv.cz
kas@vurv.cz
watzlova@vurv.cz

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2021
ISBN 978-80-7427-361-2

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2021

ISBN 978-80-7427-361-2