Ekonomicky a ekologicky efektivní postupy zapravení kejdy a digestátu do půdního profilu

Certifikovaná metodika

Václav Brant, Michal Nýč, Helena Kusá, Milan Kroulík,
Pavel Růžek, Petr Zábranský, Michaela Škeříková

2020

ČZU Česká zemědělská univerzita v Praze
CPZ Česká zemědělská univerzita v Praze
Farmet
VÚRV Výzkumný ústav rostlinné výroby
Poznatky pro udržitelné zemědělství

Ekonomicky a ekologicky efektivní postupy zapravení kejdy a digestátu do půdního profilu

Certifikovaná metodika

Autorský kolektiv:
Doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.,
Ing. Michal Nýč,
Ing. Helena Kusá, Ph.D.,
Doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.,
Ing. Pavel Růžek, CSc.,
Ing. Petr Zábranský, Ph.D.,
Ing. Michaela Škeříková, Ph.D.

Autorský kolektiv

Doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.,	Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU
Doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.,	Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU
Ing. Helena Kusá, Ph.D.,	Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Ing. Michal Nýč,	Farmet a.s.
Ing. Pavel Růžek, CSc.,	Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Ing. Michaela Škeříková, Ph.D.,	Česká zemědělská univerzita v Praze
Ing. Petr Zábranský, Ph.D.,	Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU

Vydavatel: Kurent, s.r.o.

Rok vydání: 2020

Dedikace:
Metodika byla vytvořena s podporou projektu Technologické agentury České republiky č. TH02010706 „Vývoj a inovace strojů pro efektivní technologie podpovrchové aplikace kejdy a digestátu do půdy“

Oponentní posudky vypracovali:
Ing. Radek Pražan, Ph.D., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.
Ing. Josef Svoboda, Ph.D., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Publikaci bylo přiděleno osvědčení č. **UKZUZ 231604/2020**

ISBN: 978-80-87111-86-4

Obsah

I. Cíl metodiky (V. Brant) 5

II. Vlastní popis metodiky (V. Brant) 6

II.1. Úvod 6

II.1.1. Přínosy a rizika aplikace statkových tekutých a kapalných organických hnojiv (H. Kusá a P. Růžek) 6

II.1.1.1. Organická hmota v půdě 7

II.1.1.2. Vlastnosti tekutých statkových a kapalných organických hnojiv 9

II.1.1.3. Legislativní rámec 10

II.1.1.4. Praktické aspekty aplikace tekutých statkových a organických hnojiv 11

II.1.1.5. Vliv aplikace digestátu na obsah organického uhlíku v půdě 12

II.1.1.6. Respirace půdy po aplikaci statkových a organických hnojiv, emise CO_2 12

II.1.1.7. Plynné ztráty dusíku (NH_3 a NO_x) 13

II.1.1.8. Vyplavení nitrátů 15

II.1.1.9. Vliv hnojení digestátem a kejdou na příjem živin rostlinami a výnos plodin 16

II.1.2. Stávající technická řešení aplikace (V. Brant a M. Kroulík) 17

II.1.2.1 Eliminace zhutnění půdy 18

II.1.2.2. Pohyb souprav po pozemku a transport 22

II.1.2.3. Aplikace a agrotechnické požadavky 25

II.1.2.4. Cílená povrchová aplikace pomocí hadicového aplikátoru 26

II.1.2.5. Cílená velmi mělká aplikace do povrchové vrstvy s částečným zapravením do půdy pomocí hadicového aplikátoru s rýhovači 27

II.1.2.6. Cílená mělká aplikace do povrchové vrstvy s částečným zapravením do půdy s využitím šikmých talířů 29

II.1.2.7. Aplikace se souběžným celoplošným mělkým zapravením do půdy s hadicovým transportem ke kypřícím talířům 29

II.1.2.8. Mělké či hlubší zapravení do půdy pomocí aplikačních radlic či dlát 29

II.1.2.9. Injektážní podpovrchová aplikace do hlubších vrstev s celoplošným zpracováním povrchu pozemku 30

II.1.2.10. Injektážní podpovrchová aplikace při pásovém zpracování půdy 30

II.1.2.11. Další vývoj v aplikačních postupech 32

II.1.2.12. Systémy pro okyselení, aplikaci stabilizátorů dusíku a dalších látek 33

II.1.2.13. Principy precizního zemědělství 34

II.2. Princip technologie cílené tvorby infiltračních zón (V. Brant a M. Kroulík) 35

II.2.1. Technologie tvorby vertikálních infiltračních rýh pro dvoufázovou aplikaci 37

II.2.1.1. Hodnocení parametrů pracovních nástrojů 38

II.2.1.2. Infiltrace kapalných organických hnojiv do půdy 40

II.2.2. Technologie pro horizontální a vertikální tvorbu infiltračních zón při jednofázové aplikaci 43

II.2.2.1. Tvorba horizontálních infiltračních rýh pro jednofázovou aplikaci 44

II.2.2.2. Tvorba vertikálních infiltračních rýh pro jednofázovou aplikaci 47
II.2.2.3. Využití principů pro hrůbkové zpracování půdy..... 50
II.3. Konstrukční řešení strojů (M. Nýč)..... 51
II.4. Výsledky ověřování technologií (V. Brant, M. Kroulík, P. Zábranský a M. Škeříková)..... 54
II.4.1. Dvoufázová aplikace před výsevem pšenice ozimé..... 54
II.4.2. Dvoufázová aplikace před cíleným výsevem ozimé řepky..... 60
II.4.3. Jednofázová aplikace před výsevem kukuřice seté..... 65
II.5. Využití tekutých statkových a kapalných organických hnojiv při pěstování rostlin a ekologická rizika (H. Kusá a P. Růžek) 68
II.5.1. Vliv uložení hnojiv na emise NH_3 a CO_2..... 68
II.5.1.1. Emise amoniaku po přihnojení digestátem do porostu 69
II.5.1.2. Emise amoniaku po aplikaci digestátu a kejdy na slámu..... 70
II.5.1.3. Emise CO_2 po aplikaci digestátu a kejdy 72
II.5.2. Distribuce živin v půdě po aplikaci digestátu 74
II.5.3. Využití různých způsobů aplikace digestátu při pěstování kukuřice..... 78
II.5.4. Shrnutí a doporučení 81
III. Srovnání novosti postupů (V. Brant) 83
IV. Popis uplatnění certifikované metodiky (V. Brant) 83
V. Ekonomické aspekty (V. Brant a M. Nýč) 84
VI. Seznam literatury 85
VII. Seznam publikací, které předcházely metodice 88

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je seznámit odbornou veřejnost a zemědělskou praxi s novými technologickými postupy aplikace kejdy a digestátu do půdního profilu, které zajistí nejen ekonomickou efektivnost pracovních operací, ale sníží i ekologická rizika ve vztahu k životnímu prostředí. Na základě získaných poznatků a víceletého ověřování rozdílných systémů zapravení kejdy a digestátu do půdního prostředí jsou v metodice ověřeny a popsány technologické postupy jejich aplikace a specifikována jsou i nově vyvinutá konstrukční řešení pracovních nástrojů a jejich využití v rámci technických řešení strojů. Systémy aplikace tekutých organických hnojiv vycházející z principů tvorby horizontálních a vertikálních rýh pro jejich cílenou zonální infiltraci představují moderní trend v přístupu k systémům precizního hnojení polních plodin. Primárně si tyto technologie kladou za cíl omezení degradace půdy v důsledku vysoké koncentrace kapalné složky hnojiv v půdním profilu, včetně omezení rizika vzniku zhutnění půdy v trajektoriích pracovních nástrojů použitých pro podpovrchovou aplikaci kejdy a digestátu. Uložení tekutých statkových a kapalných organických hnojiv do půdního profilu a jejich intenzivnější promísení s půdní hmotou zajišťuje nejen omezení ztrát živin do atmosféry, ale přispívá k tvorbě šířeji rozprostřeného depa jejich uložení v půdě, které je základem pro rovnoměrnější příjem živin rostlinami v průběhu vegetace a pro omezení negativního vlivu těchto hnojiv na vývoj kořenových systémů rostlin. V neposlední řadě mají nově vyvinuté a ověřené technologie omezit rizika technogenního zhutnění půdy v místě kolejových stop aplikační techniky. Tato problematika je řešena na základě tvorby únosnějších zón půdního profilu mezi infiltračními rýhami, či intenzivním kypřením kolejových stop při jednofázové aplikaci hnojiv se souběžným zapravením do půdy.

Kromě informací z odborné literatury nabízí předkládaná metodika ucelený přehled stávajících technických řešení aplikace kapalných organických hnojiv, včetně specifikace jejich vlivu na rizika ztrát živin do atmosféry a vlivu na vybrané půdní vlastnosti. Opomenout nelze ani specifikaci rizik spojených s aplikací organických kapalných hnojiv na ornou půdy a popis jejich využití ve vztahu k problematice výživy rostlin. Výsledky obsažené v metodice jsou především souborem nových originálních výsledků autorského kolektivu vycházejících z provedení laboratorních a polních experimentů, které byly následně využity pro vývoj a modifikaci nových strojů a jejich součástí pro cílenou zonální aplikaci kapalných organických hnojiv do půdy. Ověřování technických řešení v návaznosti na jejich praktické využití a následná implementace výsledků výzkumu a vývoje do nových výrobků byla v rámci projektu TH02010706 nazvaného „Vývoj a inovace strojů pro efektivní technologie podpovrchové aplikace kejdy a digestátu do půdy“ ověřována v letech 2017 až 2020.

II. Vlastní popis metodiky

II.1. Úvod

Vývoj technologických postupů aplikace kapalných organických hnojiv je stále velmi aktuální problematikou. Kapalná organická hnojiva hrají z hlediska výživy rostlin a stabilizace koloběhu organické hmoty a živin v zemědělském systému důležitou roli. Jejich význam z hlediska zemědělské praxe narůstá i z důvodu změny pohledu na jejich využití, kdy se začíná hovořit o cílené práci se samotnou kapalnou složkou. Ta je v kontextu s proběhlými suchými roky vnímána jako případný zdroj vody pro vývoj rostlin, ale také jako nosné médium primárně obsažených, či cíleně přidaných, živin. Kapalná fáze těchto hnojiv představuje důležité transportní médium pro v hnojivu obsažené živiny do půdního prostředí a tím jejich větší rozptýlení v půdním profilu, či cílenou tvorbu hnojivového depa.

Na druhou stranu může samotná aplikace kapalných organických hnojiv, v závislosti na způsobu aplikace a použité aplikační technice, zvyšovat rizika negativního působení zemědělské výroby na životní prostředí. Mezi problémové faktory lze jednoznačně zařadit rizika ztrát amoniaku do ovzduší, zhutnění půdy a uhlíkovou stopu spojenou s transportem velkého množství kapalin. Nově vyvíjené technologie by z hlediska agronomických, ekonomických a ekologických požadavků na aplikaci kapalných organických hnojiv měly plnit následující funkce:

- Omezovat ztráty amoniaku do atmosféry, které je mimo jeho toxického působení spojeno i s poklesem dusíku v samotném hnojivu a snižuje tak i ekonomickou efektivitu vnosu hnojiv.
- Zamezovat přímo technogennímu zhutnění půdy, nebo zajistit efektivní odstranění vzniklého zhutnění přímo při aplikaci.
- Eliminovat rizika ztráty nitrátů v důsledku vyplavení do spodních vrstev orničního profilu a následně do podzemních vod.
- Ve vztahu k suchým periodám během roku zamezovat rizikům zasolení půdy a tvorbě koncentrovaných zón s obtížněji degradovatelnou organickou hmotou v půdním profilu.
- Snižovat energetickou náročnost vycházející z potřeby transportu a aplikace velkých objemů látek s malým obsahem sušiny a živin, včetně cíleného snižování uhlíkové stopy.
- Zajišťovat vysokou variabilitu strojů pro jejich aplikaci v rámci agrotechnických postupů za účelem rychlé ekonomické návratnosti pořizovacích nákladů.

II.1.1. Přínosy a rizika aplikace statkových tekutých a kapalných organických hnojiv

Problematika aplikace statkových a tekutých organických hnojiv do půdy je spojena s pozitivním vlivem na půdní vlastnosti, včetně úrodnosti půdy, ale představuje rozdílná agrotechnická a ekologická rizika.

II.1.1.1. Organická hmota v půdě

Organická část půdy, třebaže tvoří ve většině půd jen malý podíl (nejčastěji 2–5 %), významně ovlivňuje řadu půdních vlastností i život v ní. Obsah uhlíku, jako rozhodujícího prvku organických sloučenin, odlišuje půdu od původního geologického substrátu. Živá část organické části půdy je tvořena kořeny rostlin, které v průběhu vegetace ovlivňují biologické a chemické procesy a později po odumření jsou hlavním zdrojem organického materiálu, a dále edafonem, který se podílí na většině rozkladných a transformačních procesů. Neživou část půdní organické hmoty představují vysoce stabilní humusové látky a primární organická hmota, které mají v půdě odlišné role. Humusové látky mají významné sorpční a iontovýměnné schopnosti (sorpcí kationtů včetně řady těžkých kovů omezují jejich mobilitu v půdě, samočistící funkce při kontaminaci xenobiotickými polutanty) a schopnost vytvářet organominerální komplexy = shluky huminových kyselin a jílových minerálů s vysokou stabilitou a pórovitostí, jež jsou předpokladem dobré a stabilní struktury půdy. Poločas rozkladu humusových složek se pohybuje od několika desetiletí až po tisíce let.

Primární organická hmota je dynamickou částí organické hmoty v půdě, podléhá různě rychlé mineralizaci - procesu pomalého spalování za vzniku oxidu uhličitého a minerálních živin. Pouze její malá část se spotřebuje na humifikaci, která je v půdách vždy mnohonásobně nižší než mineralizace. Primární organická hmota je zdrojem energie pro rozvoj mikroorganismů, makroedafonu i rostlin. Zdrojem primární organické hmoty je kořenová sekrece, odumřelé mikroorganismy a makroedafon, kořenové zbytky a odumřelé části kořenů, opad a zbytky nadzemních částí rostlin a statková hnojiva.

Průměrný obsah organického uhlíku v ornici (do hloubky 0,2–0,25 m) v našich podmínkách činí 1,5 %, což představuje přibližně 50 tun uhlíku, tedy 100 t organických látek na hektar, z nichž se ročně rozloží přibližně 4 t, které je nutné dodat zpět do půdy v posklizňových zbytcích a statkových hnojivech. Důležité je nejen množství, ale i kvalita dodávané organické hmoty - je žádoucí dodávat do půdy dostatečné množství lehce rozložitelné hmoty, i pozvolněji rozložitelné, příp. hnojiva se stabilizovanými organickými látkami. Kořeny rostlin vydávají do svého okolí (rhizosféry) odhadem 1,0–1,5 t sušiny jednodušších organických sloučenin za rok. Nejdůležitější vstup organické hmoty do půdy představuje kořenová hmota, jež zůstává v půdě po sklizni rostlin. Existují velké rozdíly v množství kořenové hmoty mezi jednotlivými rostlinnými druhy. Významným zdrojem jsou jeteloviny a jetelotrávy (3–5 t organických látek (OL) /ha), obilniny poskytují 1–2 t OL/ha a nejméně okopaniny (0,5–1,0 t OL/ha). Různě významné jsou rostliny i z hlediska množství posklizňových zbytků. Velké množství zbytků zanechávají některé zeleniny, hlavně košťáloviny (40–55 t čerstvé hmoty/ha), které se rychle mineralizují a jsou významným zdrojem živin podobně, jako chrást cukrové řepy. Přímá zaorávka slámy je, z hlediska dodání organické hmoty do půdy, výhodnější než její využití jako steliva, kdy sláma prochází fermentačními procesy při zrání hnoje spolu s exkrementy zvířat. Během zrání dochází ke ztrátám organické hmoty (až 50 %). Dostává se tak do půdy méně organických látek, ale již částečně stabilizovaných, které nepodléhají tak rychlé mineralizaci a mohou být z větší části transformovány do stabilních humusových látek (Vaněk a kol., 2009).

Pro zachování půdní úrodnosti a struktury je nutné udržovat také vhodný poměr C : N v půdě. Za optimální pro dlouhodobě udržitelnou úrodnost půdy a stabilní obsah organických látek v půdě je považována hodnota C : N = 10 : 1 (Stevenson, 1982). Při zapravení organické hmoty s širokým poměrem C : N (např. sláma obilnin) do půdy dochází k imobilizaci dusíku, zatímco při zapravení statkových (kejda) a organických (digestát) hnojiv s úzkým poměrem C : N nebo minerálních dusíkatých hnojiv dochází ke zvýšení mobility N v půdě. Rozklad organických látek podporuje i provzdušnění půdy při jejím zpracování v teplém letním období v kombinaci se srážkami. S rostoucí hloubkou a intenzitou zpracování půdy stoupá i množství organických látek, které je třeba do půdy vracet. Nejvhodnější jsou statková a organická hnojiva s širším poměrem C : N (> 20 : 1), jako slamnatý hnůj, kompost, separát, sláma. Hnůj, a zvláště kvalitní kompost, vnášejí do půdy stabilizované organické látky a při pravidelném hnojení zvyšují obsah uhlíku v půdách. Naopak hnojiva s úzkým poměrem C : N < 10, např. digestát, kejda, kaly z čistíren odpadních vod (tab. 1), i minerální dusíkatá hnojiva působí v půdě rychle, zvyšují mineralizaci a tím přispívají k rozkladu organických látek v půdě a mohou obsah celkového uhlíku v půdě snižovat. Při mineralizaci organických látek v půdě je amonifikační mikroflóra schopna na jednotku uhlíku využít jen odpovídající množství dusíku a jeho nadbytek uvolňuje do prostředí. V této souvislosti je za hraniční považován poměr C : N = 20–25 : 1 (Parnas, 1976; Stevenson, 1982 a další). Za optimální poměr C : N v organické hmotě dodávané do půdy se proto často uvádí 24–25 : 1 s ohledem na množství uhlíku, který půdní mikroorganismy prodýchají.

Tab. 1: Průměrné charakteristiky vybraných statkových (SH) a organických hnojiv (OH), zdroj: Wollnerová a kol. (2020).

typ	druh hnojiva	obsah sušiny (%)	obsah uhlíku (kg C/t)	obsah dusíku (kg N/t)	poměr C : N
SH	sláma obilnin	85,0	420	4–5	80–100
	sláma olejnin	90,0	420	7–10	40–60
	hnůj skotu	22,0	86	6,7	13
	hnůj prasat	24,0	97	8,5	11
	močůvka/hnojůvka skotu	1,2	5	1,5	3
	močůvka/hnojůvka prasat	1,2	5	2,2	2
	kejda skotu	7,3	30	3,9	8
	kejda prasat	5,3	22	4,3	5
	separát kejdy skotu	21,0	85	4,2	20
	separát kejdy prasat	27,0	112	6,6	17
	fugát kejdy skotu	5,8	24	3,9	6
	fugát kejdy prasat	3,4	14	4,1	3
OH	kompost	40,0	125	5,5	23
	digestát	5,8	23	5,3	4
	separát digestátu	23,0	102	6,8	15
	fugát digestátu	3,9	15	5,1	3

II.1.1.2. Vlastnosti tekutých statkových a kapalných organických hnojiv

Statková a organická hnojiva jsou cenným zdrojem živin, stopových prvků i organické hmoty. Z důvodu poklesu stavu chovů hospodářských zvířat se naše zemědělství potýká s nedostatkem kvalitních statkových hnojiv. S rozvojem bioplynových stanic (BPS) stoupá podíl organických hnojiv na bázi digestátu: digestát, fugát, separát a produkty z něj (kompost, pelety, aj.). Digestáty ze zemědělských BPS vyrobené výhradně anaerobní fermentací krmiv a statkových hnojiv patří mezi typová organická hnojiva 18.1.e dle Přílohy 3 Vyhlášky č. 474/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů (3–13 % sušiny, 0,33 % celkového dusíku ve vzorku), kapalná složka jeho separace - fugát je typovým hnojivem 18.1.f (sušina < 0,3 %, celkový dusík 0,1 % N). V současné době je v ČR provozováno více než 390 zemědělských BPS a produkce digestátu se pohybuje kolem 7 600 tis. tun. Složení digestátů je proměnlivé dle zastoupení surovin na vstupu do BPS, průběhu digesce či době zdržení ve fermentoru. Např. Tlustoš a kol. (2014) stanovili vyšší obsah přístupného fosforu a železa při vyšším podílu kukuřice na vstupu do BPS. Zejména obsahem dusíku a podílem sušiny se digestáty podobají kejdě, ale vykazují nižší obsah labilnějších frakcí uhlíku a vyšší hodnotu pH (7,9–9,0), jež vede k vyšším ztrátám dusíku ve formě emisí amoniaku. Digestáty a kejda bez další úpravy vykazují poměr C : N < 10 (zpravidla C : N = 4–6) a náleží k hnojivům s rychle uvolnitelným dusíkem. Obsah základních živin ve statkových hnojivech je uveden v tabulce 2. Digestáty jsou zdrojem rychle přístupných živin, které jsou po digesci téměř všechny v minerálních formách, a to především dusíku (4–7 kg/m^3), přičemž 50–70 % představuje dusík amonný a draslíku (3–5 kg/m^3). Dalších makroprvků obsahují podstatně méně (1–2 kg Ca/m^3; 0,3–0,6 kg Mg/m^3; 0,4–0,6 kg P/m^3).

Tab. 2: Průměrný přívod živin do půdy ve statkových hnojivech (zdroj: www.agronormativy.cz).

statkové hnojivo	**obsah sušiny (%)**	**živina a její přívod do půdy (kg/t hnojiva) pro hnojiva produkovaná v zařízeních pro chov zvířat**		
		N	**P**	**K**
sláma obilnin (pšenice, ječmen)	85,0	4,2–6,0	0,8–1,5	10,08–17,8
sláma řepky	85,0	6,6	1,3	19,0
hnůj skotu	23,0	5,0	1,4	5,9
hnůj prasat	23,0	6,2	2,5	4,2
močůvka skotu	2,4	2,5	0,1	4,4
močůvka prasat	2,0	2,8	0,2	2,1
kejda skotu	7,8	3,2	0,7	4,0
kejda prasat	6,8	5,0	1,3	1,9

II.1.1.3. Legislativní rámec

Aplikace statkových a organických hnojiv se řídí vyhláškou č 377/2013 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv ve znění pozdějších předpisů. Pro statková a organická hnojiva se sušinou nejvýše 13 % je stanovena maximální aplikační dávka 10 tun sušiny/ha v průběhu 3 let (vyhláška č. 131/2014 Sb.). Tekutá statková a kapalná organická hnojiva aplikovaná na povrch orné půdy se zapracovávají do půdy nejpozději do 24 hodin, s výjimkou řádkového přihnojování porostů hadicovými aplikátory a hnojení travních, jetelovinotravních a jetelovinových porostů v období nejméně 1 měsíc před sklizní (§ 7, 377/2013 Sb.). Při jejich používání na zemědělské půdě je třeba dodržovat standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy DZES (dříve GAEC) a povinné požadavky na hospodaření sledované v rámci kontroly podmíněnosti (Cross compliance).

S digestátem, kejdou a složkami jejich separace je nutné zacházet i podle pravidel aktuálního Akčního programu Nitrátové směrnice (NS, směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů). Novela nařízení vlády č. 262/2012 Sb. o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu byla vydána ve Sbírce zákonů pod č. 277/2020 Sb. s účinností od 1. 7. 2020. Upravuje vymezení zranitelných oblastí a vyhlašuje 5. akční program na období 2020-2024. Ve zranitelných oblastech (definovány § 33 Zranitelné oblasti dusičnany, zákona č. 254/2001 Sb. o vodách) je třeba dodržovat i období zákazu používání dusíkatých hnojivých látek na orné půdě (tab. 3). Výjimka je možná u hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem (tj. organická a organominerální hnojiva s poměrem C : N < 10 - digestát, fugát, výpalky; ze statkových hnojiv kejdy a jejich fugáty, močůvka, hnojůvka) na zemědělských pozemcích s průměrnou sklonitostí nepřevyšující 5 stupňů, a to nejdéle 14 dní po začátku období zákazu a ve dnech, kdy průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C (nutno doložit měřením teploty potvrzeným ČHMÚ).

Tab. 3: Období zákazu používání dusíkatých hnojivých látek na orné půdě a trvalých travních porostech (Příloha 2 vyhlášky č. 277/2020 Sb.).

klimatický region*	minerální dusíkatá hnojiva	hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem	hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem***
0–5	1. 11.–15. 2. (1. 11.–31. 1. **)	15. 11.–15. 2. (15. 11.–31. 1. **)	15. 12.–15. 2.
6–7	1. 11.–28. 2. (1. 11.–15. 2. **)	15. 11.–28. 2. (15. 11.–15. 2. **)	15. 12.–28. 2.
8–9	15. 10.–28. 2. (15. 10.–15. 2. **)	5. 11.–28. 2. (5. 11.–15. 2. **)	15. 12.–28. 2.

Vysvětlivky:

** první číslice kódu bonitované půdně ekologické jednotky.*

*** platí na zemědělských pozemcích s průměrnou sklonitostí nepřevyšující 5 stupňů a s porostem ozimých plodin*

**** platí i pro upravené kaly; pokud nedojde k následnému pěstování ozimých plodin nebo meziplodin je zakázáno hnojení také v období od 1. června do 31. července.*

II.1.1.4. Praktické aspekty aplikace tekutých statkových a organických hnojiv

Tekutá statková a kapalná organická hnojiva jsou zdrojem živin, stopových prvků, mikrooganismů a organické hmoty a jejich pravidelná aplikace na půdu je jedním z předpokladů dlouhodobě udržitelné úrodnosti půd. Má však i negativní stránky vyplývající především ze znečištění ovzduší emisemi NH_3 a NO_x, či aplikací velkých dávek draslíku, který jako jednomocný kation může nepříznivě ovlivňovat stabilitu půdních agregátů. Badalíková a Novotná (2018) zjistily o čtvrtinu nižší vodostálost půdních agregátů již po třech letech jarní a podzimní aplikace digestátu. Pokud byla aplikována pouze jarní dávka, byl pokles menší, ale přesto průkazný. Vícenásobná aplikace digestátu vedla také k nárůstu podílu jemných půdních elementů a zhoršení strukturního koeficientu půdy (Jaša a kol., 2019). Jedním z důsledků poškození půdní struktury je i omezené vsakování vody do půdy. To na svažitých plochách vede k vodní erozi a povrchovému odtoku vody s částicemi půdy s živinami i pesticidy, což má za následek znečištění vod. Aplikace velkoobjemových kapalných a tekutých hnojiv spojená i s přejezdy těžké zemědělské techniky vede k utužení půdy a poklesu porosity a minimální vzdušné kapacity (Jaša a kol., 2019). Aplikace dusíkatých hnojiv, včetně kejdy a digestátu, a provzdušnění půdy spojené s jejich zapravením podporuje mineralizační procesy v půdě, které se projevují vyššími emisemi CO_2.

V zemědělské praxi jsou tekutá statková a kapalná organická hnojiva nejčastěji aplikována na půdu v následujících obdobích roku:

1. Březen - přihnojení porostů ozimů hadicovými aplikátory.
2. První polovina dubna - aplikace na pozemky určené pro výsev kukuřice.
3. Konec května až červen - přihnojení mezi řádky porostu hadicovými aplikátory (u kukuřice kolem fáze 6. listu).
4. Konec července a srpen - aplikace na sklizené pozemky po obilninách před podmítkou či zaorávkou strniště (slámy), před výsevem meziplodiny.
5. Říjen a listopad - aplikace na pozemky po sklizni kukuřice apod.

Nejvyšší dávky těchto hnojiv jsou aplikovány před výsevem jařin a po podzimní sklizni - tyto termíny využívají vzhledem k potřebě vyprázdnit jímky všechny sledované zemědělské podniky.

Každé období s sebou přináší různá rizika s ohledem na aktuální povětrnostní podmínky. Například k největším ztrátám a emisím amoniaku dochází při aplikaci digestátu a kejdy na povrch půdy při teplém a větrném počasí. Největší emise CO_2 nastávají po aplikaci těchto hnojiv na sklizené pozemky v letním období při vysokých teplotách vzduchu i půdy a jejich následném zapravení (viz. dále kapitola II.5.). Aplikace po podzimní sklizni je riziková z hlediska vyplavení nitrátů během následujícího mimovegetačního období, proto je v I. a II. aplikačním pásmu doporučené a ve III. aplikačním pásmu a do 31. 10. (příp. do 20.10. dle klimatického regionu) povinné použití inhibitoru nitrifikace k těmto hnojivům s rychle uvolnitelným dusíkem (dle 5. akčního programu Nitrátové směrnice).

II.1.1.5. Vliv aplikace digestátu na obsah organického uhlíku v půdě

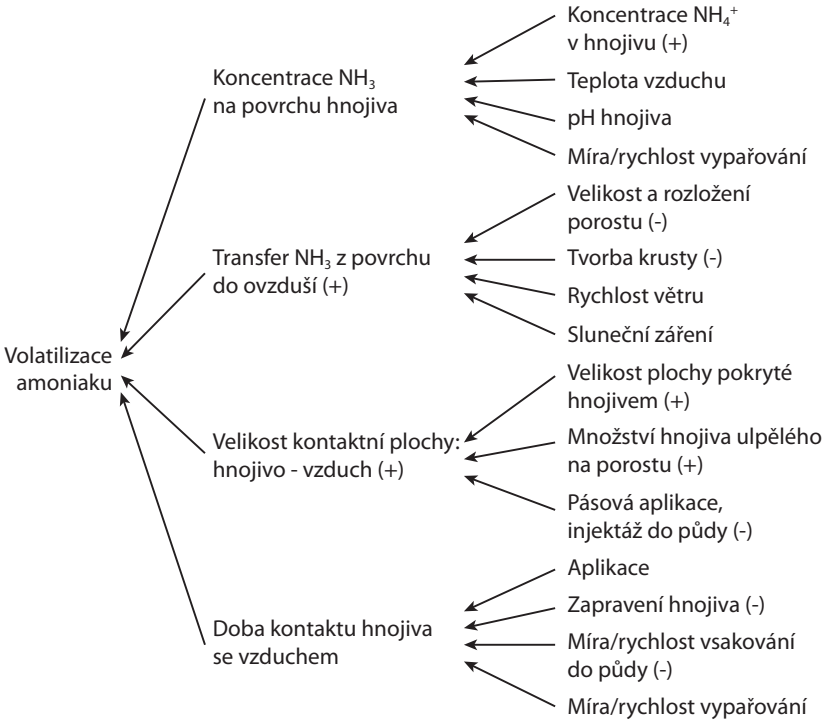
Digestáty patří mezi typová organická hnojiva. V procesu anaerobní digesce se však organické labilní látky odbourávají z 50 i více procent. Podle Koláře a kol. (2009) jsou hnojivem spíše minerálním a z hlediska užití jako organické hnojivo jsou méně jakostním materiálem než výchozí suroviny, mj. i proto, že obsahují více minerálního dusíku a méně organického uhlíku než materiály na vstupu do fermentoru (Johansen a kol., 2013). Snadno rozložitelné látky jako celulóza nebo mastné kyseliny jsou odbourány při anaerobní digesci a v digestátu zůstávají látky na bázi ligninu vhodné pro tvorbu humusu (Dimitru, 2014). Pro růst a aktivitu půdního mikrobiálního společenství je k dispozici méně organického uhlíku, což může vést až k poklesu zásoby půdní organické hmoty její zvýšenou mineralizací po aplikaci těchto hnojiv (Arthurson, 2009). Při aplikaci digestátu je proto vhodné současně dodávat organickou hmotu z jiných zdrojů, zejména zapravením posklizňových zbytků a slámy. Snadno mineralizovatelný dusík z digestátu podporuje degradaci slámy a zvyšuje mikrobiální biomasu a půdní mikrobiální aktivitu. Alburquerque a kol. (2012) nezaznamenali po přidání digestátu do půdy žádný významný účinek na celkový organický uhlík, pouze zvýšení uhlíku a dusíku mikrobiální biomasy ve srovnání s kontrolní půdou. Šimon a kol. (2015) po zaorávce digestátu (20 t/ha) zjistili jen neprůkazné zvýšení obsahu celkového uhlíku (z 1,671 na 1,704 % C_{tot}). Zaorání 2,5 t/ha slámy spolu s digestátem se neprojevilo dalším zvýšením obsahu C_{tot}, ale nejvyšším obsahem hydrolyzovatelného uhlíku a uhlíku mikrobiální biomasy ze všech sledovaných variant. Kejda skotu v dávce 30 t/ha měla na obsah různých frakcí uhlíku ještě menší vliv než samotný digestát. Pro sledování vlivu aplikace digestátu na obsah uhlíku v půdě je třeba víceletá aplikace.

II.1.1.6. Respirace půdy po aplikaci statkových a organických hnojiv, emise CO_2

Emise CO_2 po aplikaci těchto hnojiv nejsou příliš sledovány, ačkoli je zřejmé, že aplikace se zapravením je spojená s rozrušením a provzdušněním půdy aplikačními nástroji, což vyvolává zvýšenou mineralizaci organické hmoty v půdě, a tedy uvolňování CO_2. Následně se projevuje také vliv dodaného dusíku. Severin a kol. (2016) sledovali vyšší ztráty CO_2 z půdy hnojené digestátem než u nehnojené kontroly po dobu 48 hodin po aplikaci. Rosace a kol. (2020) sledovali emise kumulativně po dobu 64 dnů na půdách s různým hnojením (minerální, zelené, hnůj) do nichž byl navíc zapraven digestát. Aplikace digestátu vyvolala několikanásobné zvýšení ztrát uhlíku ve formě CO_2, přičemž největší nárůst byl zjištěn v prvních deseti dnech. Při porovnání digestátu a surovin (využitelných jako hnojiva) před digescí bývají zjištěny nižší emise po aplikaci digestátu, což lze vysvětlit nepřítomností labilních frakcí organických látek po anaerobní digesci (Maucieri a kol., 2017; Möller a Stinner, 2009 in Rosace a kol., 2020). Naopak Kusá a kol. (2019) zjistili v prvních čtyřech dnech po zapravení hnojiv disky o třetinu až polovinu vyšší emise CO_2 u digestátu než u kejdy skotu, kde po této době klesly na úroveň půdy zpracované bez hnojení.

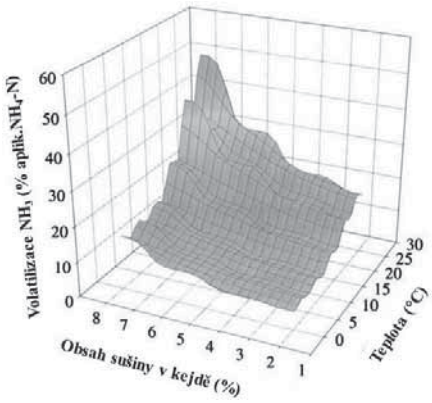
II.1.1.7. Plynné ztráty dusíku (NH_3 a NO_x)

Pro účinné využití aplikovaného dusíku je nutné minimalizovat ztráty N volatilizací NH_3. Není vhodné aplikovat tekutá hnojiva před očekávanými intenzivními srážkami, ale mírný déšť po aplikaci snižuje úniky amoniaku do ovzduší. Vhodné je rovněž chladnější počasí, bezvětří, bez přímého slunečního svitu. Záleží i na půdních podmínkách (zejména pH, sorpční schopnost, vlhkost, teplota) a vlastnostech hnojiva (sušina, pH, podíl amonného dusíku), způsobu aplikace, době a způsobu zapravení (obr. 1). Dokonce i při teplotách blízkých nule dochází k nízké, ale setrvalé volatilizaci, jež vede ke značným kumulativním ztrátám dusíku (obr. 2). Za těchto podmínek je to způsobeno převážně pomalým vsakováním hnojiva do půdy (Sommer a Hutchings, 2001).



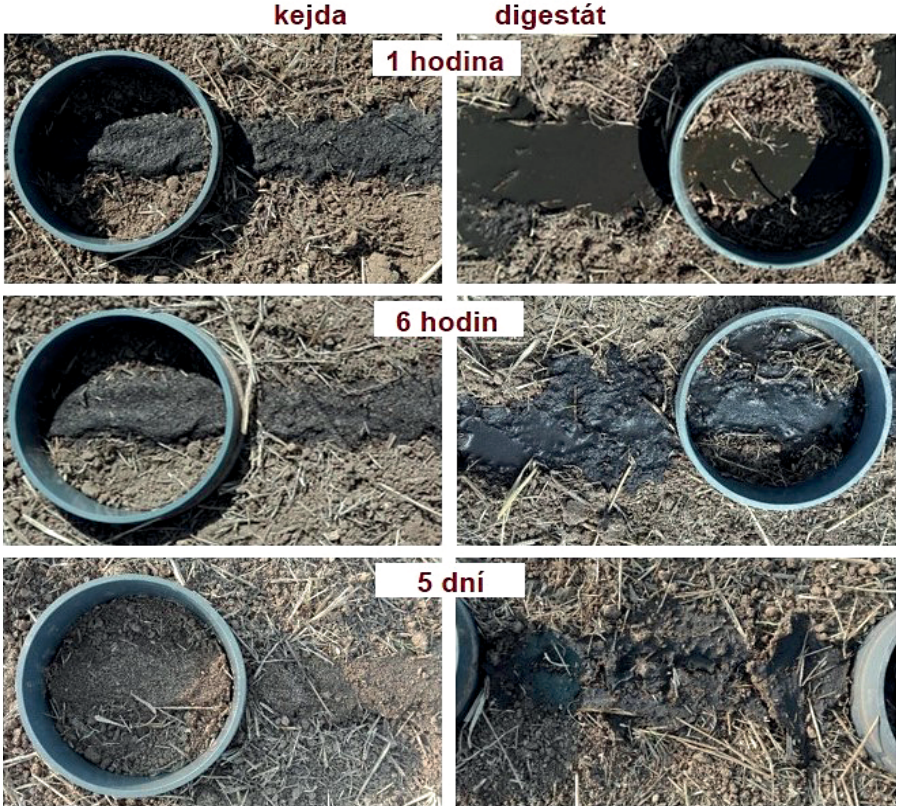
Obr. 1: Faktory ovlivňující volatilizaci amoniaku z aplikovaných statkových hnojiv (Sommer a Hutchings, 2001).

Dešťové srážky při aplikaci či ihned po ní ředí naaplikované hnojivo, snižují koncentraci NH_4-N a zpomalují volatilizaci. Zároveň mohou usnadnit vsakování hnojiva do půdy. Je zde však riziko opětovného zvýšení emisí NH_3 při následném vypařování vody (Gordon a Schuepp, 1994). Při opakovaných srážkách a prosychání půdy během několika dnů po aplikaci mohou vzrůst ztráty amoniaku i v důsledku opakovaného ovlhčení hnojiva a zintenzivnění mineralizace (Chambers a kol., 1997).



Obr. 2: Volatilizace amoniaku ve vztahu k obsahu sušiny v kejdě a teplotě (Sommer a Hutchings, 2001).

Úniky amoniaku omezuje snížení kontaktní plochy mezi hnojivem a ovzduším (obr. 1). Při lokální aplikaci kejdy vlečenými hadicemi jsou ztráty amoniaku podstatně nižší (méně než 1 % aplikovaného NH_4-N) než při aplikaci postřikem (více než 10 % aplikovaného NH_4-N; Sommer a Hutchings, 2001). Důležitá je i doba kontaktu hnojiva s ovzduším, a tedy rychlost jeho vsakování či zapravení. Dimitru (2014) zjistil u digestátu rychlejší vsakování do půdy než u původní kejdy před digescí, což vysvětluje jeho lepší homogenitou a tokovými charakteristikami. Vlastnosti digestátů jsou však velmi proměnlivé dle složení vstupních surovin, teploty, doby zdržení



Obr. 3: Infiltrace kejdy a digestátu do půdy po lokální povrchové aplikaci (foto Kusá).

ve fermentoru a následném skladování v jímce, takže i při srovnatelném obsahu sušiny může být infiltrace do půdy pomalejší než u kejdy (obr. 3, Kusá a kol., 2019). Kultivace půdy před aplikací kapalných hnojiv snižuje ztráty amoniaku v důsledku rychlejší infiltrace do kypré půdy a nerovností povrchu půdy (Sommer a Hutchings, 2001).

K největším ztrátám amoniaku dochází během první hodiny po aplikaci hnojiv na povrch půdy (Sommer a Hutchings, 2001). Časový odstup větší než 12 hodin mezi aplikací a zapravením do půdy podporuje ztráty amoniaku, kdy dle Severina a kol. (2016) může dojít ke ztrátě 20–90 % N nejen ve formě amoniaku, ale především oxidů dusíku NO_x. Dle Webba a kol. (2010) je nejdůležitějších prvních 4–6 hodin po aplikaci. Dle naší platné legislativy je nutné zapravit tato hnojiva do půdy nejpozději do 24 hodin po aplikaci. Pokud je aplikován digestát na povrch půdy hadicovými aplikátory do porostu, není v současné době zapravení vyžadováno. Z toho vyplývá zvýšené riziko volatilizace amoniaku při dělení dávek tekutých organických hnojiv.

Zpracování půdy převlhčené po aplikaci tekutých a kapalných hnojiv má však negativní dopad na její vlastnosti (zhutnění, zhoršení vsakování srážkové vody aj.). Nejúčinnější z hlediska omezení volatilizace amoniaku (až o 90 %, Huijsmans a kol., 2003) a zároveň šetrný k půdě je způsob podpovrchové aplikace - injektáž tekutých hnojiv do půdy. Míra volatilizace amoniaku klesá s hloubkou uložení hnojiva. Pokud je však půda vlhká a zhutněná, brázdy/rýhy po aplikátorech se zcela neuzavřou a účinnost injektáže z hlediska omezení ztrát NH_3 klesá (Sommer a Hutchings, 2001). Injektáží hnojiv do půdy dochází k výraznému omezení ztrát dusíku ve formě amoniaku, ale naopak mohou významně stoupnout ztráty dusíku ve formě oxidů NO_x. Aplikací kejdy/digestátu do hloubky 15–20 cm může být zvýšena denitrifikace v důsledku tvorby anaerobních zón. Omezením volatilizace amoniaku se zvyšuje koncentrace NH_4-N v půdě, který je oxidován na dusík nitrátový. Proces nitrifikace je však inhibován v kyselých nebo anaerobních podmínkách. Při procesu denitrifikace probíhá redukce nitrátového dusíku na N_2 přes mezistupeň N_2O, který uniká z půdy (Richardson a kol., 2009). Tento proces lze omezit přídavkem inhibitoru nitrifikace do injektovaných hnojiv. Severin a kol. (2016) dosáhli po injektáži digestátu s inhibitorem DMPP (3,4-dimethyl pyrazol fosfát) do hloubky 15 nebo 20 cm poklesu ztrát N_2O o 17–70 % v závislosti na půdním typu, vlhkosti a obsahu organické hmoty v půdě. Dle Webba a kol. (2010) je třeba kejdu/digestát injektovat jen do takové hloubky, z níž se denitrifikovaný dusík dostane na povrch difúzní cestou jako N_2, aby nedocházelo ke zvýšení emisí N_2O.

II.1.1.8. Vyplavení nitrátů

Vyplavení dusičnanů do vod je ovlivněno množstvím a rozdělením srážek, teplotou, půdním typem, odběrem živin porostem, obsahem půdního minerálního dusíku, dávkou, uložením a formou N hnojiv včetně přídavku inhibitoru nitrifikace. Z hlediska rizika vyplavení dusičnanů do vod jsou vhodnější dělené dávky hnojiv, které sníží riziko ztráty dusíku v období nízkého odběru živin porostem. Případné ztráty nitrátů lze také snížit přídavkem

inhibitoru nitrifikace do tekutých a kapalných hnojiv. Naopak při nedostatku srážek může aplikovaný dusík zůstat v amonné formě sorbován ve vyšší koncentraci v místě uložení hnojiva s nižší dostupností pro rostliny, což může snížit výnos pěstovaných plodin a zvýšit obsah residuálního N_{min} v půdě po sklizni. Tomu lze částečně předejít injektáží do půdy, kde je vyšší vlhkost než na povrchu, a navíc je hnojivo aplikováno ke kořenům rostlin, což zvyšuje využití živin rostlinami.

V našich podmínkách je největší riziko vyplavení nitrátů při podzimní aplikaci tekutých a kapalných hnojiv (říjen až polovina listopadu), kdy již nemůže být zaseta meziplodina. K tvorbě nitrátů v půdě v mimovegetačním období přispívají v posledních letech také teplejší podzimy a zimy. Na základě monitoringu obsahu nitrátů v půdách před zimou jsme zjistili v zemědělských podnicích, zejména po aplikaci digestátu, velké množství nitrátového dusíku v půdní vrstvě 0–0,6 m, které v některých letech přesahovalo 200 kg N/ha. To představuje značné riziko znečištění povrchových i podzemních vod. Naopak při aplikaci digestátu k meziplodině nebo ozimé řepce byl obsah nitrátů v půdě nízký (do 40 kg N/ha).

II.1.1.9. Vliv hnojení digestátem a kejdou na příjem živin rostlinami a výnos plodin

Vliv digestátu na výnos plodin je často obdobný nebo mírně nižší než u původní kejdy a srovnatelný s účinkem minerálních hnojiv. Účinnost hnojení je většinou vyšší při větším obsahu amonného dusíku v digestátu a při omezení ztrát amoniaku při jeho aplikaci. Například Abubaker a kol. (2012) zjistili po hnojení kejdou prasat významně vyšší nárůst nadzemní hmoty i kořenů pšenice než po aplikaci stejné dávky dusíku v digestátu nebo v minerálním hnojivu NPK, u nichž byly dosaženy téměř shodné výnosy. Nižší hmotnost nadzemní biomasy byla u digestátu částečně kompenzována vyšším podílem klasů na celkové biomase. Obě organická hnojiva zvýšila potenciální mineralizační a nitrifikační schopnost půdy. Šimon a kol. (2015) dosáhl po různém organickém a minerálním hnojení výnosu zrna ozimé pšenice 9,88–9,35 t/ha klesajícího v pořadí: digestát > NPK > kejda skotu > digestát+sláma, což přisuzuje vyššímu podílu přístupných živin v digestátu a na druhou stranu zvýšením poměru C : N a zpomalením mineralizace a příjmu dusíku rostlinami při přídavku slámy. Aplikovaný digestát byl téměř shodný s kejdou z hlediska obsahu sušiny a celkového dusíku, z hlediska formy dusíku a jeho příjmu rostlinami se však přiblížil minerálnímu hnojivu NPK. Účinky digestátu přirovnali k minerálnímu hnojivu i Alburquerque a kol. (2012): digestát se projevil jako krátkodobý zdroj rychle přístupných živin a měl příznivý vliv na biologické vlastnosti půdy. Zvýšil výnos jen u plodin s krátkou vegetační dobou. Koszel a kol. (2020) využili digestát k přihnojení porostu ozimé řepky ve dvou dělených dávkách. Aplikace se stoupající celkovou dávkou digestátu (25–50 t/ha) vedla ke statisticky průkaznému zvýšení výnosu semen, hmotnosti tisíce semen i obsahu mastných kyselin v semenech. Dle poznatků z literatury vliv digestátu na výnos plodin silně závisí na ročníku (povětrnostní podmínky), předplodině, zásobě minerálního dusíku v půdě, vlastnostech půdy, způsobu a načasování aplikace (Webb a kol., 2010). Tuto skutečnost potvrzují i výsledky získané v našich podmínkách. Smatanová (2014) na různých

stanovištích v ČR dosáhla po hnojení digestátem výnosy silážní kukuřice na úrovni nehnojené kontroly nebo naopak na úrovni minerálního hnojení, kde byly většinou nejvyšší. Vliv kejdy na výnos byl srovnatelný s minerálním hnojením, v jednom případě o 5 % vyšší. U brambor a pšenice byly významně nejvyšší výnosy dosaženy po hnojení kejdou, následovalo minerální hnojení a digestát. Obdobně Duffková a Mühlbachová (2015) dosáhly nižších výnosů kukuřice po hnojení samotným digestátem či fugátem, než při jejich kombinaci s minerálními hnojivy či samotným minerálním hnojením. Kasal a kol. (2016) doporučují digestát jako alternativu minerálního hnojení brambor před výsadbou. Při shodných dávkách dusíku dosáhli v jednom roce ze tří nejvyšší výnosy hlíz po aplikaci digestátu, jednou po močovině a jedenkrát se osvědčila kombinace digestátu před sázením a minerálního přihnojení za vegetace. Rozdíly ve výnosech hlíz nebyly statisticky významné, stejně jako sledované kvalitativní ukazatele. Zvýšení dávky digestátu o polovinu způsobilo snížení výnosu hlíz, zřejmě z důvodu luxusního zásobení dusíkem na začátku vegetace. Rostliny využily veškerý přístupný dusík k tvorbě listového aparátu a založení velkého počtu hlíz, které následně nenarostly vlivem sucha a malé dostupnosti živin. To potvrzuje velikostní rozdělení hlíz: u této varianty byl zjištěn významně vyšší podíl nejmenších hlíz ve třídě do 35 mm, nejnižší naopak ve třídě nad 55 mm.

II.1.2. Stávající technická řešení aplikace

Aplikace kejdy, digestátu a fugátu, jako tekutých organických a statkových hnojiv, na zemědělskou půdu je stále diskutovanou otázkou zejména z hlediska ekologických, ekonomických a energetických aspektů. V souvislosti s eliminací ekologických rizik dochází k modifikaci stávajících aplikačních systémů a k vývoji nových. Primárně se z ekologického hlediska jedná o snižování ztrát amoniaku do ovzduší. Omezení jeho ztrát vytěkáním (volatizací) přináší z ekonomického hlediska zvýšení obsahu dusíku v půdě, a tím i zvýšení ekonomické efektivity technologického postupu. Samotný způsob aplikace samozřejmě není jediným z faktorů, který ztráty amoniaku ovlivňuje. Významnou roli zde hrají půdní podmínky, především obsah vody v půdě, půdní typ, stabilita půdních agregátů, utužení půdy apod. Zapomenout nelze ani na povětrnostní podmínky při aplikaci, svažitost pozemku a další.

Ostatní případné negativní vlivy aplikací (ekologické, energetické a ekonomické) tekutých hnojiv na zemědělskou půdu vyplývající ze způsobů jejich provedení jsou však obecně vnímány méně negativně. Už možná proto, že na rozdíl od amoniaku nevykazují přímý toxický účinek na živé organismy, včetně člověka.

Technické a technologické systémy aplikací tekutých hnojiv jsou však spojeny s následujícími riziky (Brant a kol., 2017):

- Zhutňování zemědělských půd s následným negativním vlivem na vodní, vzdušný a biologický režim půdy a zvýšením rizika vzniku erozních procesů.
- Rizika ztráty nitrátů v důsledku vyplavení do spodních vrstev orničního profilu a podzemních vod.

- Zvyšování rizika zasolení půdy a akumulace obtížněji degradovatelné organické hmoty v orničním profilu.
- Vysoká energetická náročnost vycházející z potřeby transportu a aplikace velkých objemů látek s malým obsahem sušiny a živin.
- Z hlediska rovnosti s konvenční automobilovou dopravou nelze zapomínat ani na produkci oxidu uhličitého a dalších látek vznikajících při provozu, zejména dieselových motorů, při transportu a aplikaci hnojiv.
- Vysoké pořizovací náklady na nákup strojů pro aplikaci tekutých statkových a organických hnojiv do půdy, zejména v souvislosti s produkcí bioplynu u podniků bez živočišné výroby.
- Možný negativní vliv na vývoj porostů polních plodin, včetně rizika kontaminace škodlivými organismy pro hospodářská zvířata a člověka. Nadměrná hmotnostní zátěž komunikací při jejich přepravě a výrazné poškození půdy při transportu a plnění zásobníků aplikátorů na okrajích pozemků.
- Omezení termínů aplikace a úzká struktura plodin na orné půdě snižuje možnosti jejich použití v rámci pěstebních systémů.

II.1.2.1 Eliminace zhutnění půdy

Zásadním problémem je vliv na půdu. Neustále diskutovanou problematikou je riziko zhutnění půdy v důsledku přejezdů aplikační techniky. Z hlediska omezení utužení půdy při aplikaci spojené s jízdou pracovní soupravy po pozemku se jedná o několik systémů, které vycházejí z omezení tlaku pneumatik (obr. 4) či pásů na půdu (obr. 5), ze zvýšení celkové kontaktní plochy pneumatik či pásů s půdou, z omezení hmotnosti aplikační soupravy pomocí transportu kapalných hnojiv hadicovým systémem k aplikátoru (obr. 6) a ze zvýšení pracovního záběru z důvodu zvýšení rozteče stop souprav. Obrázek 7 dokládá technické možnosti eliminace utužení půdy při aplikaci tekutých hnojiv.

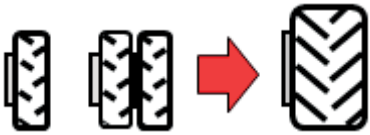
Obr. 4: Snížení tlaku v pneumatikách a využití krabího chodu je jednou z možností eliminace utužení půdy (foto Brant).

Döll (2012) však poukazuje na skutečnost, že využití širokých pneumatik není uspokojivým řešením. Dle zahraničních výsledků byl při využití pneumatik o rozměru 1050/50R32 a při tlaku 240 kPa v pneumatice stanoven nejvyšší tlak v půdě ve středu stopy v hloubce přibližně 0,3 m odpovídající hodnotě 275–300 kPa. Van den Akker (2017) uvádí, že pásy snižují tlak v půdě ve srovnání s pneumatikou především v horní vrstvě půdy, ale jeho přenosu do podorničí nezabrání. Rovněž poukazuje na skutečnost, že osazení strojů pásovými podvozky výrazně zvyšuje jejich hmotnost vůči použití pneumatik.

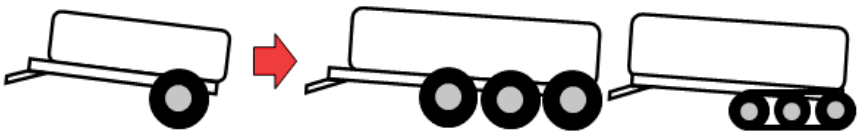
Obr. 5: Náhrada pneumatik u tažných prostředků a zásobníků tekutých hnojiv pásy (foto Kroulík).

Obr. 6: Systémy vlečných transportních hadic lze využít u samochodných, tak tažených strojů (foto Brant).

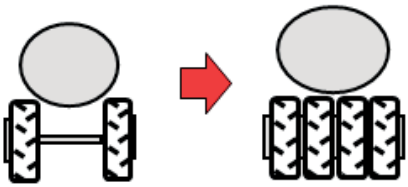
1. Zvyšování šířky pneumatik a snižování tlaku v pneumatikách u zásobníků tekutých hnojiv pohybujících se po pozemku a u tažných prostředků, či nosičů nástaveb.



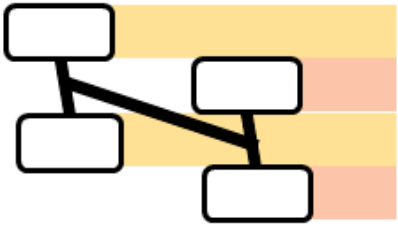
2. Využití vyššího počtu náprav nebo pásových podvozků u zásobníků tekutých hnojiv pohybujících se po pozemku.



3. Zvýšení počtu kol na nápravě u zásobníků tekutých hnojiv pohybujících se po pozemku.



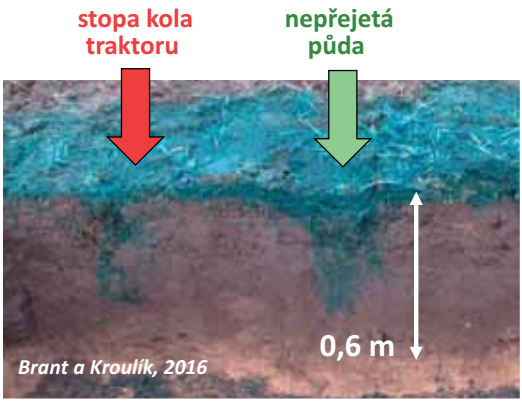
4. Využití krabího chodu u nosičů nástaveb.



5. Použití hadicového transportu tekutých hnojiv ze zásobníku umístěného na okraji pozemku k aplikátoru pomocí systémů automatického odvíjení a navíjení hadic (pracovní délka hadic dosahuje max. 700 m).

Obr. 7: Technické možnosti eliminace utužení půdy při aplikaci tekutých hnojiv (Brant a kol., 2017).

Vliv stopy kola traktoru na infiltraci vody do půdy při kypření (strukturní a neutužená půda)

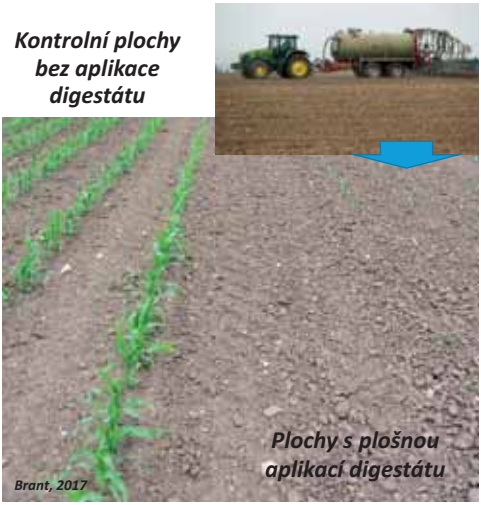


Vliv utužení půdního profilu na infiltraci vody do půdy při kypření

Obr. 8: Vliv stavu půdy na práci kypřících nástrojů.

Výše uvedené možnosti snížení vlivu přejezdů na utužení, mnohdy spíše zhutnění, půdy, však nezajišťují dostatečnou eliminaci těchto rizik. Při vyšší vlhkosti půdy vždy dochází k jejímu utužení, či vzniku kolejí. Na suché a slehlé půdě, např. po sklizni obilniny, je tento efekt výrazně redukován. Dochází-li souběžně s aplikací kejdy k jejímu zapravení do půdy, jsou vzniklé stopy a utužení půdy redukovány jen částečně. V místě kolejových stop může při použití kypřících radlic docházet pouze k prořízntutí rýhy, která vytvoří menší prostor pro aplikované hnojivo, včetně jeho omezeného uložení do spodních vrstev půdy, ale v důsledku bočního utužení či umáznutí stěn rýhy i k omezené infiltraci tekuté frakce do půdního profilu (obr. 8). Při použití talířových kypřičů pro zapravení může dojít na utužené půdě k tvorbě větších půdních částic, většinou vykazujících polyedrickou až kostkovou strukturu, mezi kterými je

Stav porostů kukuřice na plochách s jarní plošnou aplikací digestátu s následným zapravením do půdy a na kontrolní ploše (29.5.2012)

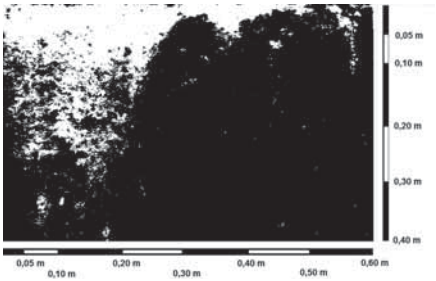


Obr. 9: Stav porostů kukuřice na plochách s plošnou aplikací digestátu a bez aplikace. Utužení půdy vedlo k tvorbě velkých půdních agregátů, a tím ke snížení množství vody v horní vrstvě půdy, což výrazně zpomalilo i růst rostlin.

sice dostatek prostoru, ale opět je omezena infiltrace kapalné části hnojiv do agregátů vzniklých hrubým rozmělněním utužené půdy. Mnohdy je polyedrický stav půdní struktury dobře patrný na povrchu půdy a ovlivňuje i vývoj porostů (obr. 9). Otázkou je rovněž využití krabího chodu u samochodných prostředků pro aplikaci tekutých hnojiv. Omezením druhého přejezdu pneumatiky sice dochází ke snížení utužení půdy, ale stále platí, že nejvyšší kompresi půdy vyvolává vždy přejezd první.

Ještě větší význam však hraje utužení půdy a tvorba kolejí při aplikaci tekutých hnojiv do porostů polních plodin, při přihnojení za vegetace, nebo u trvalých travních porostů. Zvýšení kontaktní plochy a snížení tlaku v pneumatikách jednoznačně omezují tlak na půdu, ale i tak k ovlivnění vývoje porostů dochází. Podle zahraničních údajů vedla povrchová aplikace kejdy na suchou půdu do porostů obilniny ke snížení výnosu v místech kolejí o 11,6 % vůči nepřejeté ploše. Na základě systému aplikace činila celkově přejetá plocha 22 % z plochy pozemku, čím v konečném důsledku klesl průměrný výnos na pozemku o 2,5 až 3 % (Döll, 2012). Únosnost půdy z hlediska přejezdů mechanizace však může být limitující pro funkci samotných aplikátorů tekutých hnojiv do půdy. Suchá půda snižuje infiltraci u systémů využívajících princip tvorby mělkých aplikačních rýh s následnou aplikací hnojiva hadicí ukončenou aplikační botkou. U suchých půd hrozí rovněž rychlá změna struktury půdy v důsledku nabobtnání a následného rozpadu půdních agregátů v okolí aplikace hnojiva, čím se následně opět omezí infiltrační procesy.

Při aplikaci tekutých hnojiv do porostů širokořádkových plodin (zejména kukuřice) může rovněž docházet k poškození rostlin při průjezdu porostem, nebo jejich zničení. I zde je nutné následně počítat s redukcí výnosu, protože u kukuřice je počet rostlin na jednotku plochy výnosotvorným prvkem. Kolejové stopy výrazně zvyšují riziko eroze v jejich trajektoriích z důvodu poklesu infiltračních schopností půdy (obr. 10). Povrchové a podpovrchové utužení půdy, včetně vymáčknutí kolejových stop, dává vhodné podmínky pro odtok.



Obr. 10: Vliv přejezdu kola traktoru na infiltraci vody do půdy v porostech kukuřice před sklizní (pravá část obrázku). Bílá barva znázorňuje infiltraci vody a černá půdu.

II.1.2.2. Pohyb souprav po pozemku a transport

Zásadním problémem je otázka plánování pohybu aplikátorů tekutých hnojiv po pozemku. K výraznému zatížení pozemků stopami techniky přispívají aplikace spojené s návratem prázdných cisteren zpět

Obr. 11: Záznam přejezdů při aplikaci digestátu. Některé části pozemku jsou vystaveny vysoké zátěži od kol.

Obr. 12: Mezizásobníky tekutých hnojiv zvyšují nejen výkonnost pracovních linek, ale mohou přispět ke snížení počtu nepracovních jízd po pozemku (foto Farmet a.s.).

Obr. 13: Automobilové návěsy umožňují transport velkých objemů tekutých hnojiv a umožňují plnění nádrží aplikátorů z komunikace. Problémy však může činit jejich stání na komunikaci při přečerpávání hnojiv (foto Brant).

na souvrať za účelem doplnění hnojiva (obr. 11). Nejproblematičtější jsou případy, kdy délka pozemku několikrát převyšuje kapacitu nádrže při dané aplikační dávce a soupravy se vrací k naplnění a zpětně najíždějí přes již vyjeté koleje k dokončení aplikace. Primárním požadavkem je volba systému přejezdů, který zajistí přejetí pozemku bez potřeby doplnění hnojiva. Zde je nutné uvažovat o optimalizaci velikosti zásobníku a pracovního záběru ve vztahu k aplikovaným plochám.

Další možností je i variabilita dávkování nejen ve vztahu k vlastnostem půdy či potřebám porostu, ale i optimalizace dojezdové vzdálenosti. Výhodnou optimalizací pro efektivitu jízd je zajištění plnění souprav na obou stranách pozemku. Tu lze řešit přítomností přepravních cisteren, nebo pomocí mezizásobníků (obr. 12). Z důvodu omezení zatížení souvratí přejezdy aplikační a transportní techniky je vhodné hnojiva přečerpávat z transportních prostředků stojících mimo pozemek (obr. 13) do mezizásobníků nebo přímo do zásobníků s aplikátorem. V současné době se jedná o následující systémy transportu kapalných organických hnojiv na půdní blok či jeho díl:

1. Přímý transport aplikační cisternou z jímky na půdní blok. Systém se vyznačuje nízkou efektivitou práce v důsledku nepracovních transportních jízd soupravy, časem potřebným pro přípravu aplikátoru do pracovní polohy a jejím opětovným složením do transportní polohy. Dále lze u systému očekávat vyšší procento pojezdů soupravy po pozemku při opětovném najíždění a vyjíždění z naaplikované plochy. Výrazné bezpečnostní riziko představuje i znečištění komunikací.
2. Transport kyvadlovou dopravou na pole. Zde se jedná o systém s rozdílnou možností využití transportních prostředků. Jedná se o návěsné traktorové cisterny, samojízdné automobilové cisterny, které mohou být doplněny přívěsnými cisternami, až o využití velkoobjemových návěsů agregovaných za nákladní tahače. Systém zvyšuje efektivitu práce. Ve srovnání s předchozí variantou však vyžaduje nejen vyšší úroveň vybavení podniku transportní technikou, ale i pracovníky. Tyto systémy jsou mnohdy spojovány s možností plnění aplikátoru z transportního prostředku, který stojí mimo hranice pozemku. Zásadním problémem pro plnění aplikátoru z dopravního prostředku stojícího mimo pozemek jsou bezpečnostní rizika při zastavení přepravního prostředku na dopravní komunikaci. Krajinné zásahy většinou s obdobnými technogenními systémy využití nepočítají a technická obslužnost půdních bloků je státem dlouhodobě opomíjena.
3. Opomenout nelze ani systémy využívající mezizásobníky organických kapalných hnojiv zajišťující optimalizaci dostupnosti hnojiv pro aplikátory. Mezizásobníky jsou kontinuálně doplňovány transportními prostředky. Využití mezizásobníků umožňuje zvýšení kontinuity práce aplikátorů a přepravníků, ale opět se setkáváme s potřebou optimalizace jeho umístění a efektivitou přepravy.

Na základě literárních údajů, lze považovat transportní systém kapalných hnojiv využívajících nákladní vozidla s cisternou o kapacitě 27 m^3 z hlediska provozních nákladů za efektivnější ve srovnání se systémem traktorových cisteren o objemu 21 m^3. Při dopravní vzdálenosti do 5 km se přepravní náklady pohybují u obou systémů přibližně do 2,5 €/m^3. Při dopravní vzdálenosti 50 km se u přepravy nákladními automobily pohybují náklady do 6 €/m^3 a u traktorových souprav poté téměř 15 €/m^3. S narůstající přepravní vzdáleností poté rozdíly dále narůstají (AG 4, 2015).

Z hlediska vlivu aplikací na půdu lze očekávat rozdílný vliv aplikací v závislosti na systému zpracování půdy. Půda v systémech redukovaného zpracování vykazuje vyšší odolnost vůči zatížení, přibližně v rozmezí 50 až 160 kPa. Na oraných pozemcích jsou hodnoty zatížení nižší 18 až 65 kPa (Rücknagel, 2014). Z tohoto důvodu lze u systémů s dlouhodobě prováděným kypřením očekávat při tlaku 100 kPa hloubku kolejí přibližně do hloubky 20 mm, u orby 50 mm. Při překročení tlaku 100 kPa však u obou systémů dochází k poklesu objemové hmotnosti půdy na stejnou hodnotu. Transport materiálů po pozemku vykazuje nejvyšší vliv na snížení vzdušné kapacity půdy z důvodu jejího vysokého zatížení.

II.1.2.3. Aplikace a agrotechnické požadavky

Aplikace tekutých hnojiv na povrch půdy rozstřikem je v dnešní době považována za téměř nepřijatelnou, i když se změnily systémy tvorby rozstřikového kužele a následného dopadu hnojiva na půdu, včetně aplikací pomocí menšího počtu rozstřikových koncovek umístěných na rámu za cisternou. Tyto způsoby zvyšují rovnoměrnost aplikace hnojiv.

Hadicové aplikátory s pouhým uložením hnojiva na povrch půdy během vegetace narážejí při vyšších obsazích sušiny (především u kejdy) na problém rychlého odpaření vody při suchém počasí a suché půdě, čímž vzniká na povrchu půdy krusta tvořená rostlinným materiálem (Grunert, 2015), jehož degradace je velmi pomalá. K obdobným problémům může docházet i při aplikaci hustějších hnojiv pomocí hadicových systémů s aplikační botkou a u systémů s tvorbou mělké aplikační rýhy a následnou aplikací pomocí aplikačních botek do rýhy. Využití aplikačních botek zvyšuje riziko ucpávání aplikačních koncovek a hadic (Neser a kol., 2010).

Diskutabilní je stále otázka vlivu stavu půdy a jeho modifikace při aplikaci ohledně následných ztrát živin. Obdobně jako při každém zpracování půdy dochází i při zapravování tekutých hnojiv k ovlivnění prostorového uspořádání půdní hmoty. Tím se mění fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Při zapravení tekutých hnojiv vstupuje do procesu další faktor, a to je vnos vody. Významným faktorem z hlediska kvality práce je samotná vlhkost půdy ve vztahu k retenční schopnosti (Hermann a kol., 2012). Od toho stavu se odvíjí dávka aplikovaného tekutého hnojiva tak, aby nedošlo k překročení zádržné schopnosti půdy. V rámci aplikací se rovněž příliš nepočítá s vlivem pevné frakce na ucpání infiltračních cest v půdě.

Při nedostatečné infiltrační a retenční schopnosti půdy pro tekutá hnojiva nebo nedostatečném prokypření půdy dochází k vytékání hnojiva na povrch půdy, či k jeho podpovrchovému odtoku v rámci pozemku. Tím dochází ke zvyšování rizik ztrát amoniaku do ovzduší. Způsob aplikace hnojiv ve vztahu ke způsobu zapravení je považován za jeden z hlavních faktorů ovlivňujících ztráty amoniaku. U plošných aplikací se uvádí ztráty amoniaku až do výše 80 % vneseného dusíku při teplotách vzduchu 25 °C. S poklesem teploty vzduchu (pod 15 °C) a s nižší rychlostí větru pod 1 m/s klesají ztráty přibližně na hodnotu 55–75 % (Neser a kol., 2010). Vyšší teploty vzduchu a vítr obecně zvyšují ztráty amoniaku u všech aplikací. Nižší ztráty ve srovnání s povrchovou aplikací jsou u hadicových aplikátorů a následně u hadicových aplikátorů vytvářejících mělkou aplikační rýhu s následným transportem hadicí s aplikační botkou do půdy. U povrchových či mělkých injektážních aplikací je rozdíl i z hlediska ztrát nitrátového dusíku. Při povrchové aplikaci s následným zapravením má na ztráty vliv jak hloubka a kvalita zapravení, tak vodní režim půdy ve vztahu ke srážkám a samozřejmě vývoj porostů.

Obecně nižší ztráty amoniaku jsou uváděny při zapravení hnojiv do půdy přímo při aplikaci, nebo při injektáži. I zde však může docházet k situacím, že systémy mohou vykazovat opačné vlivy na omezení ztrát dusíku do ovzduší či do spodních vrstev, než jsou obecně uváděné informace. Zásadní vliv na ztráty amoniaku má samozřejmě kvalitativní

složení, u kejdy např. původ (kejda prasat, skotu, drůbeže apod.). Bischoff a Tauchnitz (2015) uvádějí, že při injektážní aplikaci kejdy pomocí strip till bylo v horní vrstvě ornice (0–0,3 m) stanoveno větší množství nitrátového a amoniakálního dusíku ve srovnání s povrchovou aplikací s následným zapravením do půdy. Otázky ztrát nitrátového dusíku ve vztahu k systému aplikace tekutých hnojiv jsou spíše diskutabilní, protože převažují práce hodnotící vliv dávky, či rozdílných hnojiv, při jednom způsobu aplikace.

Každý z doposud využívaných systémů aplikace vykazuje odlišné vlastnosti z hlediska omezení ztrát živin, požadavků na stav půdy, vlivu na utužení půdy, plošného výkonu apod. Dosavadní systémy lze rozlišit zejména z hlediska hloubky uložení hnojiv a intenzity jejich promíchání s půdou. V kejdě, digestátu nebo fugátu je obsah nitrátového dusíku podstatně nižší než obsah amoniakálního dusíku a nitráty se v půdě tvoří až následně, což lze regulovat termínem a způsobem aplikace nebo použitím inhibitorů nitrifikace (např. Piadin, N-lock apod.).

II.1.2.4. Cílená povrchová aplikace pomocí hadicového aplikátoru

Systémy hadicových aplikátorů výrazně nahradily v dřívější době dlouhodobě využívané systémy plošného rozstřiku, které jsou však na trhu stále dostupné. Zásadní výhodou systémů, vůči původnímu plošnému rozstřiku, byla vyšší rovnoměrnost aplikace a cílená aplikace do meziřádků plodiny (obr. 14). Jednoznačnou výhodou tohoto technického řešení je možnost dosažení vysokého pracovního záběru. Z hlediska pouze povrchové aplikace a možnosti využití připojených nosných konstrukcí hadicových systémů lze dosáhnou pracovního záběru až na hranici 34 m. Limitujícím faktorem pro uplatnění rámů s velkým pracovním záběrem je však velikost a tvar pozemků a potřeba vysoké kapacity zásobníků, a tím i nárůstu hmotnosti souprav. S poklesem rozteče hadicových aplikátorů klesá množství aplikované suspenze, čímž se snižuje riziko rozplavení povrchu půdy a není přetěžován infiltrační potenciál půdy. Z hlediska nově vznikající legislativy však tyto systémy narážejí na omezení z hlediska ztrát amoniaku volatilizací. Dalším faktorem je zvýšené riziko smyvu při srážkových událostech ve srovnání s technologiemi zapravení hnojiv do půdy. Hadicové aplikátory vykazují dobou průchodnost i pro hnojiva s vyšším obsahem sušiny.

Při plošné aplikaci na půdu bez vegetačního krytu je nutné provést následné zapravení daných hnojiv do půdy. Okamžité zapravení může být však limitováno rozplavením horní vrstvy půdy, které vede k pozdějšímu provedení zpracování půdy, čímž dochází ke ztrátám amoniaku. Z důvodu omezení kontaktu tekutých hnojiv s rostlinami při aplikaci během vegetace, ale i z důvodu cílenější aplikace na půdu jsou hadice osazovány rozdílnými aplikačními botkami, které nejsou vybaveny rýhovači (obr. 15).

Obr. 14: Cílená povrchová aplikace pomocí hadicového aplikátoru (foto Brant).

Obr. 15: Rozdílné způsoby zakončení hadicových aplikátorů pro povrchovou aplikaci tekutých hnojiv (foto Brant).

Obr. 16: Využití systémů cílené povrchové aplikace je zásadním způsobem omezeno na půdě s předchozím hlubším kypřením, či na půdě se sníženou únosností v důsledku zvýšené vlhkosti, kde dochází ke zhutnění půdy v kolejových stopách a k následnému omezení infiltrace organických hnojiv do půdy (foto Brant).

Využití systémů cílené povrchové aplikace je zásadním způsobem omezeno na půdě s předchozím hlubším kypřením, či na půdě se sníženou únosností v důsledku zvýšené vlhkosti, kde dochází ke zhutnění půdy v kolejových stopách a k následnému omezení infiltrace organických hnojiv do půdy (obr. 16). Obecně lze u systémů povrchové aplikace doporučit omezení aplikace kapalných organických hnojiv do míst kolejových stop.

II.1.2.5. Cílená velmi mělká aplikace do povrchové vrstvy s částečným zapravením do půdy pomocí hadicového aplikátoru s rýhovači

Výše uvedená rizika povrchové aplikace hadicovými aplikátory (emise, ohrožení vodních zdrojů a ztráty amoniaku do ovzduší, lepší využití hnojiv rostlinami apod.) vedla k technologickým změnám. Jejich cílem bylo podpořit částečné zapravení, či podpoření infiltrace, organických a statkových tekutých hnojiv do půdy. Dalším důvodem byl vývoj technologií, které umožní efektivní aplikaci tekutých hnojiv do travních porostů, tedy tam, kde je potřebné minimalizovat kontakt rostlin s hnojivem a zajistit jeho rychlejší vsáknutí do půdy. Z tohoto důvodu byly konce hadicových aplikátorů osazeny rýhovači vytvářejícími primární vstup hnojiv, nebo alespoň kapalné složky suspenze do půdy. Rýhovače však nemusí vytvářet dostatečný prostor pro zadržení a následnou infiltraci hnojiva. Rýhovače umístěné přímo na aplikačních

Obr. 17: Rýhovače umístěné přímo na aplikačních hadicích zakončených aplikační botkou (foto Brant).

Obr. 18: Systém rýhovačů lze využít nejen pro přihnojení do vzešlých porostů obilnin, ale také k aplikaci na strniště (foto Brant).

botkách se vyznačují menším přítlakem a tím i tvorbou mělčí rýhy (obr. 17). Systém rýhovačů lze využít i pro aplikaci do strniště po sklizni obilnin, což přispívá k lepšímu umístění organických kapalných hnojiv pod rozdrcenou slámu ponechanou na strništi (obr. 18).

Pro zajištění tvorby hlubší infiltrační rýhy jsou dnes využívány tzv. tuhé konstrukce, které využívají většinou řezných disků pro prořízntutí či vymáčknutí aplikační rýhy. Většinou se z hlediska konstrukce objevují řezné disky vytvářející rýhu s příčným průřezem ve tvaru „v" nebo dvojice řezných rozevíracích talířů. Na disky navazuje aplikační botka usměrňující tok hnojiva do rýhy (obr. 19).

Obr. 19: Rýhovače pro tvorbu infiltrační rýhy pomocí disků nebo talířů (foto Brant).

II.1.2.6. Cílená mělká aplikace do povrchové vrstvy s částečným zapravením do půdy s využitím šikmých talířů

Prostor pro aplikaci hnojiva zde vytvářejí šikmo umístěné talíře, které bočně nadzvedávají půdu a ukládají do ní hnojivo (obr. 20). Využitelné jsou pro aplikace po sklizni plodiny na strništi, případně do zpracované půdy, především však do travních porostů. U travních porostů bývají za disky umísťovány ještě přítlačné válečky, které umačkávají nadzvednutou půdu.

Obr. 20: Systémy otevření půdy pomocí šikmo postavených talířů (foto Brant).

II.1.2.7. Aplikace se souběžným celoplošným mělkým zapravením do půdy s hadicovým transportem ke kypřícím talířům

Cílem těchto systémů je celoplošné zapravení tekutých hnojiv do půdy na základě jejich okamžitého zapravení pomocí talířových kypřičů (obr. 21). Systém omezuje emise amoniaku a zvyšuje efektivitu využití živin. Principem mělčího zapravení hnojiva do půdy je zpracování půdy pomocí talířů, za které je aplikována kejda či digestát. Disky kypří půdu a proud zeminy rozmělněný diskem přispívá k zapravení hnojiva. Rozložení hnojiva v půdním profilu a infiltrace tekuté složky do půdy jsou ovlivněny parametry rýhy vytvořené diskem. Intenzita zapravení kejdy či digestátu je výrazně ovlivněna půdními vlastnostmi (vlhkost půdy, utužení, výška strniště apod.). Retenční prostor pro kapalnou složku se vytváří zejména ve zpracované vrstvě půdy.

Obr. 21: Souběžné celoplošné mělké zapravení do půdy s hadicovým transportem ke kypřícím talířům (foto Brant).

II.1.2.8. Mělké či hlubší zapravení do půdy pomocí aplikačních radlic či dlát

Omezená hloubka kypření půdy, a tím i hloubka uložení kejdy či digestátu, snižuje možnost jejich uložení do spodních vrstev, která přispívá k poklesu ztrát amoniaku do ovzduší a zároveň využití vnesených živin v pozdější době vývoje porostů. Aplikace hnojiv za dláta vykazuje menší rovnoměrnost rozložení v půdě, neboť jsou hnojiva ukládána do rýh vytvořených dlátem. S hloubkou kypření narůstá samozřejmě tahový odpor stroje a narůstají požadavky na tahovou sílu, tato skutečnost vyvolává i snížení pracovního

Obr. 22: Mělké či hlubší zapravení do půdy pomocí aplikačních dlát (foto Brant).

záběru aplikátorů. Snižování pracovního záběru aplikátorů je spojeno se zvýšeným rizikem utužení půdy a nárůstem počtu přejezdů. O infiltračních podmínkách a retenční schopnosti půdy zadržet tekutý podíl hnojiv rozhoduje míra utužení dna a stěn trajektorie rýhy po kypřícím nástroji. S hloubkou kypření se rovněž zvyšuje rozteč mezi pracovními nástroji. Při utužení půdy při průchodu pracovního nástroje vytváří retenční prostor nakypřená část zpracované půdy v kypřené rýze. Tvar a geometrie pracovních nástrojů a slupic může být velmi variabilní. Dominantní zastoupení na strojích této konstrukce mají jednoduchá dláta umístěná na odpružených slupicích (obr. 22).

II.1.2.9. Injektážní podpovrchová aplikace do hlubších vrstev s celoplošným zpracováním povrchu pozemku

Jednou z technologických možností je provádění hlubšího zapravení kejdy a digestátu do mělce či hlouběji zpracované půdy. Injektážní aplikace se obecně vyznačuje zvýšením potřeby tahové síly a nižšími záběry injektážních aplikátorů. S poklesem pracovního záběru však značně narůstá počet přejezdů po pozemku a tím i zhutnění půdy. Na omezení začíná injektážní aplikace narážet při použití na středně těžkých až těžkých půdách, kde dochází k utužování půdy pod injektážní radlicí, které snižuje možnost infiltrace kapalné složky do půdy a v místě aplikace poté nastává výrazné rozplavení půdy. S rozvojem pásového zpracování půdy (strip till) začíná být injektážní aplikace využívána především v těchto systémech.

II.1.2.10. Injektážní podpovrchová aplikace při pásovém zpracování půdy

Technologie injektáže do půdy při pásovém zpracování půdy jsou v současné době považovány za jedny z nejperspektivnějších, proto je jim věnována největší pozornost. Technologie pásového zpracování půdy jsou vhodné pro injektážní aplikaci kejdy nebo digestátu do půdy, především při pěstování kukuřice. Podpovrchová aplikace kejdy

a digestátu přispívá zejména k eliminaci uvolňování emisí amoniaku do atmosféry (Bopp, 2013) a zároveň omezuje její pachové znečištění (Hermann a kol., 2012). Bopp (2013) uvádí, že dosavadní výsledky pokusů v Německu potvrzují pozitivní vliv použití stabilizátorů dusíku u organických hnojiv, které zpomalují mikrobiologickou přeměnu amonného dusíku na dusík nitrátový. Amonná forma dusíku se rovněž pozitivně projevuje na vývoji kořenového systému v hloubce aplikace kejdy (Bischoff, 2012; Bischoff a Tauchnitz, 2015). Bischoff (2012) stanovil 90. a 125. den po injektážní aplikaci kejdy vyšší obsah amonné formy dusíku ve vrstvě půdy 0–0,3 m ve srovnání nitrátovou při využití stabilizátorů dusíku. Bez jejich použití byla v půdě dominantní forma nitrátová. Kombinace pásového zpracování půdy a injektážní aplikace rovněž nevyžaduje další zpracování půdy, což je obecně vnímáno jako výhoda této technologie. Bednorz a kol. (2015) poukazují na snížení ztrát dusíku do spodních vrstev půdy při aplikaci kejdy při strip till ve srovnání s její plošnou aplikací a s následným zapravením do půdy v porostech kukuřice. Tuto skutečnost spojují s lepším prokořeněním půdy a vyšším využitím dusíku rostlinami kukuřice. Zejména v suchých oblastech nebo při vlhkém průběhu počasí může aplikace kejdy při pásovém zpracování půdy, v kombinaci se stabilizátorem dusíku, zvýšit výnos kukuřice až o 10 % ve srovnání s konvenčními postupy (Reckleben, 2013).

Dávka kejdy či digestátu by při aplikaci do nezpracované půdy neměla vést k rozplavení půdy v okolí depa a tím k poškození půdní struktury (obr. 23). Reckleben (2013) uvádí, že při strip till by dávka digestátu neměla překročit 40 m^3 na ha, v praxi se však jedná o hodnoty nižší. Hermann a kol. (2012) doporučují dávky v rozmezí 10–30 m^3 na ha. S vyšší dávkou kejdy, nad 30 m^3 na ha, rovněž narůstá riziko možného negativního ovlivnění klíčivosti semen a vzcházivosti rostlin v důsledku vzlínání hnojiva do blízkého okolí osiva, a to zejména v případech, kdy vzdálenost mezi uloženým osivem a vrchem depa s kejdou je menší než 70 mm. Vzdálenost 70–80 mm mezi uloženým osivem a vrchní částí depa je považována za optimální i z hlediska vývoje rostlin, protože tuto vzdálenost překonávají kořeny v době, kdy jsou již schopny živiny z kejdy nebo digestátu využít. Laurenz (2014) poukazuje na skutečnost, že při aplikaci organických hnojiv injektáží nesmí docházet k tvorbě tunelu s utuženými stěnami v místě ukládání hnojiva při průchodu kypřící radlice s aplikátorem půdou. Vznik těchto „drenáží" může vést k podpovrchovému odtoku kejdy či digestátu a k následnému vyplnění tohoto prostoru vzduchem. Po aplikaci hnojiva je totiž potřebné zajistit jeho infiltraci do okolní půdy a neomezit její následné slehnutí. Utužené stěny okolo depa vytváří pevnou klenbu, ta může omezovat dokonalé slehnutí půdy a rozvoj kořenů do spodních vrstev půdy. Přítomnost vzduchu v prostoru depa s pevnými stěnami omezuje vzlínání vody v profilu kypřeného pásu. Důsledkem je opět nižší klíčivost semen a vzcházivost rostlin.

Obr. 23: Vznik půdního „tunelu" po aplikaci kejdy skotu (dávka 35 m^3/ha) v důsledku negativního vlivu kejdy na půdní vlastnosti ve spodní vrstvě ornice (foto Brant).

Obr. 24: Většina strojů pro aplikaci tekutých hnojiv vychází z koncepce aplikace hnojiva za kypřící radlici (foto Brant).

Obr. 25: Kypřiče s bočně zahnutou deskovou slupicí zakončenou dlátem (foto Brant).

Jarní aplikace kejdy či digestátu při pásovém kypření je samozřejmě spojena s rizikem utužení půdy. Základem eliminace zhutnění půdy je vstup na pozemek za vhodné půdní vlhkosti. Při podzimních aplikacích tekutých organických a statkových hnojiv injektáží je jednoznačně doporučeno použít stabilizátory dusíku. Jarní aplikaci kapalných hnojiv injektáží lze doporučit na lehkých půdách, na půdách s vyšším obsahem prachu a jílu je však potřebné ji provést na podzim. Aplikace tekutých hnojiv pomocí strip till na těžkých půdách je dnes obecně považována za nevhodnou.

Pro injektážní aplikaci kejdy či digestátu v systémech pásového zpracování jsou využívány běžné kypřiče pro provedení strip till osazené aplikátory hnojiva (obr. 24). Využívány jsou i systémy s dvojí hloubkou ukládání tekutých hnojiv (Brant a kol., 2016). Odlišný způsob uložení kejdy či digestátu nabízejí kypřiče s bočně zahnutou deskovou slupicí zakončenou dlátem (obr. 25). Tímto způsobem je zajištěno rovnoměrnější rozmístění hnojiva v půdě a zvyšuje se také plocha pro čerpání živin kořeny. Systém eliminuje vznik kanálků, zlepšuje podmínky pro vsáknutí hnojiva a zamezuje vytékání hnojiva k povrchu půdy.

II.1.2.11. Další vývoj v aplikačních postupech

V souvislosti s rozvojem a rozšiřováním postupů separace tekutých hnojiv jsou řešeny především u fugátu možnosti jeho dalšího čištění a následného využití jako závlahové vody. Následný způsob aplikace je poté možný systémy plošné polní závlahy. Druhou možností je aplikace vyčištěného fugátu pomocí rozstřikových trysek umístěných na rámu čelně neseném na traktoru, do něhož je závlahová kapalina čerpána z taženého zásobníku za tažným prostředkem.

II.1.2.12. Systémy pro okyselení, aplikaci stabilizátorů dusíku a dalších látek

V kapalných organických hnojivech je převážně dostupný dusík v amonné formě. Z tohoto důvodu jsou uplatňovány postupy, které vedou k omezení ztrát této formy dusíku do ovzduší.

Jednou z možností je snižování hodnoty pH kapalných organických hnojiv, jejichž hodnota pH se pohybuje v rozmezí 8–8,5. Snížení hodnoty pH pod 6 pomocí kyseliny sírové, umožní snížení ztrát amoniaku až o 80 % při povrchové aplikaci hadicovým aplikátorem (AG 4, 2015). Aplikace takto upravených hnojiv je možná pouze při časných jarních aplikací do ozimých plodin či do travních porostů.

Druhou možností je využití stabilizátorů dusíku, které zpomalují mikrobiální přeměnu amonného dusíku na dusík nitrátový. Následně tedy v závislosti na dávce daného stabilizátoru, teplotě půdy a na půdních podmínkách, včetně hodnoty pH půdy, dochází k delší stabilizaci amonného dusíku v půdě.

Zásadní otázkou z hlediska použití těchto látek je volba vhodného systému jejich přimíchání do kapalných organických hnojiv. V praxi se jedná o přimíchávání těchto látek přímo do nádrží, či do aplikačních cisteren. Z ekonomického a z ekologického hlediska lze však za efektivnější považovat systémy automatického přimíchávání výše uvedených látek v závislosti na aktuální dávce hnojiva či obsahu živin. Opomenout nelze ani kontinuální přimíchávání látek omezujících zápach organických kapalných hnojiv, přidávání dusíkatých hnojiv za účelem dodržení stabilní dávky dusíku při změně jeho obsahu v hnojivu, či při změně dávky hnojiva. Většinou se jedná o rozdílné systémy čelních nádrží

Obr. 26: Vliv rozdílné dávky digestátu při strip till před výsevem ozimé řepky s roztečí řádků 0,75 m v důsledku změny pracovní rychlosti či omezeného průtoku jednotlivými sekcemi na vývoj rostlin (foto Brant).

vybavených systémem přimíchávání do hnojiva vedoucího již k aplikátorům v závislosti na výsledcích měření senzorů monitorujících dávku, případně obsah živin. Čelně nesené zásobníky přidávaných látek jsou konstrukčně řešeny jako jednokomorové, až po systémy mající tři nezávislé zásobníky pro kontinuální dávkování tří rozdílných látek.

Velmi podceňovanou skutečností je dodržení aplikované dávky dusíku na jednotku plochy při změně obsahu dusíku v kapalném organickém hnojivu, nebo při změně dávky během pracovní jízdy při injektážních aplikací. Změna dávky může souviset s dojezdovou vzdáleností soupravy ve vztahu k jednotlivým pracovním jízdám na půdním bloku, omezenou průchodností aplikátorů na sekcích apod. Změna dávky při injektážních aplikacích se může zásadním způsobem projevit i na dynamice růstu rostlin a negativně i na nárůstu heterogenity porostu (obr. 26).

Velmi zajímavou otázkou je obohacení kapalných organických hnojiv živinami, především dusíkem. Naše polní experimenty prokázaly pozitivní vliv aplikace kejdy skotu v dávce 20 m^3/ha s přidáním 100 l DAMu na ha při strip till při pěstování kukuřice seté. Cílem experimentu bylo zvýšit efekt hnojení a rozprostřít hnojivo v půdním profilu pro příjem rostlinou během růstu na základě lepšího transportu přidaného dusíku v kapalné fázi organického hnojiva. Na variantě s přidáním hnojiva DAM vykazovaly rostliny sytější zelenou barvu a kořeny byly přítomny především v kypřeném a hnojeném pásu, rovněž byl na základě analýz rostlin stanoven lepší výživný stav dusíkem ve srovnání s plochami s aplikací kejdy bez přídavku hnojiva DAM. Průměrná suchá hmotnost rostliny kukuřice seté byla na ploše s přidáním hnojiva DAM do kejdy o 11 % vyšší, než na kontrolních variantách.

II.1.2.13. Principy precizního zemědělství

Zásadním posunem z hlediska vývoje aplikačních technologií kapalných organických hnojiv je využití principů precizního zemědělství. Primárně se jedná o variabilní aplikaci kapalných organických hnojiv na základě aplikačních map (obr. 27). Základem systémů

Obr. 27: Variabilní aplikace prasečí kejdy na základě aplikační mapy odběru dusíku (vlevo), vpravo je patné umístění NIR senzoru na aplikační cisterně (foto Brant).

variabilní aplikace je kontinuální detekce obsahu živin v hnojivu pomocí NIR-senzoru. Tyto senzory jsou ve většině případů standardně kalibrovány na stanovení obsahu dusíku, fosforu a draslíku a umožňují i stanovení obsahu sušiny v kapalném organickém hnojivu. Jistým omezením je mnohdy volba pouze jednoho parametru pro stanovení aplikační dávky.

Systém variabilní aplikace dávky organického hnojiva je velmi důležitý i z hlediska případné variability obsahu živin a sušiny v organickém hnojivu ve skladovacích zásobnících, která je mnohdy obtížně odstranitelná i s použitím systémů jejich homogenizace ve skladovacím zásobníku před aplikací.

II.2. Princip technologie cílené tvorby infiltračních zón

Důvodů vedoucích k vývoji nových způsobů aplikace a zapravení organických kapalných hnojiv do půdy je značná řada. Primárně se jedná o omezení ztrát amoniaku do ovzduší, zejména při povrchových aplikacích s následným zapravením do půdy, omezení poškození půdní struktury v důsledku nadměrného provlhčení půdy tekutou frakcí hnojiv a působení jednomocných kationtů. Dalším důvodem je problematické rovnoměrné uložení pevné a kapalné frakce hnojiva v půdním profilu při jednotlivých způsobech jeho zapravení a zajištění kvalitního hlubšího zapravení hnojiv i na těžších půdách, kde je omezeno použití injektážní aplikace.

Zpracování půdy po předchozí plošné aplikaci hnojiva hadicovými aplikátory či hadicovými aplikátory s rýhovači dochází mnohdy k nadměrnému provlhčení, až zkašovatění, horní vrstvy půdy. Tato skutečnost snižuje drobení mokré půdy a její rovnoměrné zapravení do půdního profilu. Jednoznačně opomíjenou skutečností je, že tlak pracovních nástrojů kypřičů na mokrou půdu ještě zvyšuje riziko poškození půdní struktury. Přejezdy tažných prostředků po výrazně provlhčené půdě následkem překročení její retenční kapacity přispívají zásadním způsobem nejen k poškození půdní struktury v místě trajektorií kol, ale také ke vzniku technogenního zhutnění.

U systémů aplikace se současným částečným (aplikace k rovným šikmým talířům) či plným (mělké a hlubší kypření) zapravením hnojiv do půdy může rovněž docházet ke zpracování nadměrně vlhké půdy v místě aplikace hnojiv a k tvorbě utužení půdy v místě přechodu kypřené a nezpracované půdy. Injektážní podpovrchová aplikace je spojena s riziky uzavření hnojiva do aplikační rýhy v důsledku zhutnění půdy jejích stěn. To snižuje infiltraci tekuté frakce z rýhy do půdního profilu a vede ke vzniku dutého kanálu v půdním profilu. Injektážní aplikace při pásovém zpracování půdy na těžších půdách je spojena s možností vytékání hnojiva k půdnímu povrchu rýhou po slupici radlice, či s jeho odtokem aplikační rýhou do nižších částí pozemku.

Rozložení kapalné a pevné frakce hnojiva v půdním profilu s velkou pravděpodobností zásadním způsobem ovlivňuje efektivitu využití hnojiv rostlinami, včetně procesů jejich pohybu v půdním profilu a vznik případných negativních rizik spojených s aplikací

těchto hnojiv na půdu a rostliny. Problematika vlivu aplikace na primární rozložení hnojiva v půdním profilu ve vztahu k výše uvedeným faktorům, včetně ekologických rizik, nebyla na základě dosavadních dostupných informací podrobně sledována.

Na základě výše uvedených skutečností byla členy autorského kolektivu vyvinuta technologie cílené tvorby infiltračních zón. Primárně vychází z principu cílené tvorby infiltračních zón vertikálního či horizontálního směru v půdním profilu, které zvýší infiltrační kapacitu půdy pro aplikovaná organická kapalná hnojiva a směr jejich pohybu v půdě na základě zvýšení pórovitosti půdy v důsledku cíleného zonálního kypření. Cílené zonální kypření v místech budoucího ukládání hnojiv zajišťuje tvorbu nekapilárních pórů umožňujících rychlou infiltraci kapalné složky hnojiv a omezení snížení infiltrace v důsledku eliminace rizika poklesu průchodnosti kapilárních a nekapilárních pórů pevnou frakcí kapalných organických hnojiv. Výhodou technologie je rovněž tvorba hrubších půdních agregátů v kypřené zóně, které vykazují vyšší stabilitu vůči rozplavení při kontaktu s kapalnou frakcí aplikovaných hnojiv.

Tvorba vertikálních zón před provedením následné samostatné cílené aplikace kapalných organických hnojiv do infiltračních zón, nebo přímo při jejich tvorbě za kypřící radlici zajišťuje nejen rychlou infiltraci organického kapalného hnojiva do profilu zóny. Rovněž však umožňuje jeho rozptyl v této zóně, což omezuje rizika akumulace kapalné a pevné frakce hnojiva v malém objemu půdy, a s tím spojená rizika poškození půdní struktury, negativního působení na vývoj kořenových systémů apod. Při tvorbě vertikálních infiltračních rýh dochází ke vzniku zpracovaných zón půdy pro infiltraci hnojiv a méně zpracovaných zón mezi trajektoriemi pracovních nástrojů, včetně částečného vyhrnutí půdy z kypřených pásů do prostoru mezi rýhy. Nezpracovaná, či méně intenzivně zpracovaná, půda mezi trajektoriemi radlic zvyšuje únosnost půdy pro pohyb aplikačních souprav se systémy gravitačního transportu hnojiv pomocí hadicových aplikátorů umožňujících využití větších pracovních záběrů. Tato půda zůstává po aplikaci hnojiva suchá a umožňuje kvalitní zahrnutí povrchu aplikačních rýh při jednofázové aplikaci, či při následném mělkém zpracování povrchu pozemku po aplikaci. Rychlá infiltrace hnojiv do půdy omezuje rovněž rizika ztráty živin a snižuje i rizika zápachu.

Při tvorbě horizontálních infiltračních rýh se využívá principu kypření půdy radlicemi s bočními křídly, kdy za radlicí je umístěna rozptylová aplikační koncovka zajišťující plošné směřování toku hnojiva do kypřené zóny se současným promísením pevné a kapalné frakce se zeminou uzavírající rýhu vytvářenou kypřícím nástrojem. Technologie přispívá k rovnoměrnějšímu horizontálnímu rozptýlení hnojiva v půdním profilu s možností zonálního ukládání, či ukládání celoplošnému. Tyto skutečnosti jsou dány použitým kypřícím nástrojem a roztečí kypřících nástrojů na rámu aplikátoru. Intenzivní míchání hnojiva s proudem zeminy omezuje degradaci půdy rozplavením v důsledku jeho vysoké koncentrace v malém objemu půdy, či v místech se sníženou infiltrační schopností. Zároveň systém eliminuje riziko zpracování půdy, která již přišla do kontaktu s kapalným organickým hnojivem. Systém jednoznačně omezuje ztráty živin v důsledku zapravení hnojiv do půdy a omezení zápachu při aplikaci. Opomenout nelze ani skutečnost, že tyto systémy lze využít i pro souběžné odstraňování zhutnění půdy přímo při aplikaci kapalných organických hnojiv.

II.2.1. Technologie tvorby vertikálních infiltračních rýh pro dvoufázovou aplikaci

Princip cílené zonální aplikace organických hnojiv

Příprava infiltračních zón pro kapalná organická hnojiva s hrubší strukturou půdy v místě kypřené rýhy a souběžná tvorba hrůbků půdy pro zakrytí infiltračních rýh po aplikaci hnojiv.

Provedení cílené aplikace kapalných organických hnojiv do středu infiltračních rýh, které vytvářejí dostatek prostoru pro zajištění příjmu kapalného podílu bez překročení retenční schopnosti půdního profilu

Zakrytí infiltračních rýh suchou zeminou uloženou v hrůbcích mezi infiltračními rýhami, které lze provést přímo při aplikaci hnojiv nebo následně po jejím provedení.

Obr. 28: Princip cílené zonální aplikace organických kapalných hnojiv do půdy.

Principem technologie je tvorba širších infiltračních rýh s vyšším podílem makropórů na základě tvorby hrubší struktury půdních agregátů v rýze. Makropóry zajišťují optimální podmínky pro infiltraci kapalné frakce do půdy, která je mnohdy omezena nejen bobtnáním či rozpadem půdních agregátů, ale i v důsledku ucpání mikropórů částicemi pevné frakce (obr. 28).

Část zeminy je při tvorbě infiltrační rýhy vynášena na povrch půdy, čímž mezi rýhami vznikají hrůbky kypré zeminy, kterou je povrch infiltrační rýhy po infiltraci hnojiva následně zahrnut. Soustředný tok hnojiva do středu infiltrační rýhy vede k cílené infiltraci hnojiva do půdy a minimalizuje velikost plochy povrchu půdy kontaminované hnojivem. Čím menší je šíře pásu hnojivem kontaminované horní vrstvy půdy, tím jednodušší je zakrytí povrchu infiltrační zóny půdou z hrůbku. Při zahrnutí povrchu infiltrační rýhy suchou půdou z meziřádku nedochází k manipulaci s mokrou půdou. Rozteč středů infiltračních rýh se z hlediska optimální tvorby hrůbků zeminy může pohybovat od 0,35 do 0,75 m. Technologie je využitelná jako jedno- a dvoufázový proces. Při jednofázovém procesu dochází k tvorbě infiltračních rýh přímo při aplikaci hnojiv a zároveň je provedeno zahrnutí. Druhou možností je provedení infiltračních rýh před aplikací hnojiv. Aplikace hnojiv a zahrnutí rýh jsou poté provedeny jako samostatná pracovní operace. Při dvoufázové technologii lze pro tvorbu infiltračních zón využít rýhovače o větším záběru a rýhování může zároveň nahradit pracovní operaci zpracování půdy (podmítku, kypření apod.). Rýhování lze provést s časovým předstihem před aplikací. Za vlhka dojde po rýhování rovněž k rychlejšímu vysychání půdy, čímž se zvyšuje retenční kapacita půdy. Aplikace se následně provede modifikovanými hadicovými aplikátory s větším záběrem. Nenakypřená půda mezi infiltračními zónami zvyšuje únosnost půdy pro aplikační techniku při dvoufázovém postupu. Cílené zonální ukládání hnojiva do širokého profilu infiltrační rýhy umožňuje i cílené zakládání porostů plodin vysévaných do širších řádků. Jednou z možností je následný výsev do infiltrační zóny, nebo mezi ně.

II.2.1.1. Hodnocení parametrů pracovních nástrojů

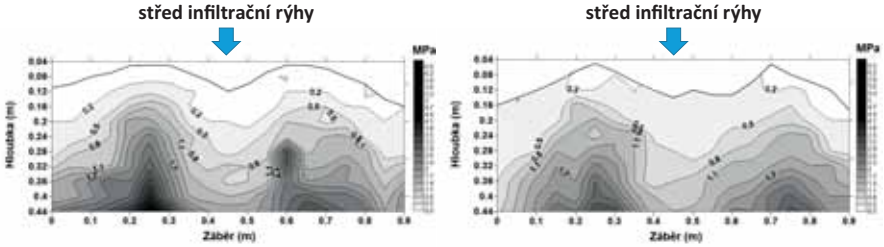
V rámci ověřování technologických postupů byl sledován vliv rozdílných pracovních nástrojů na intenzitu nakypření půdy v infiltračních zónách. Primárně byla testována rozdílná dláta obdélníkového a lichoběžníkovitého tvaru s rozdílnou šířkou (obr. 29).

Obr. 29: Primárně byla pro tvorbu infiltračních rýh testována rozdílná dlátka obdélníkového a lichoběžníkovitého tvaru s rozdílnou šířkou (foto Brant).

Obrázek 30 dokumentuje hodnoty penetračního odporu na pozemku po provedení infiltračních rýh při rozdílné šířce obdélníkového dlátka. Při tvorbě rýh je nutné eliminovat utužení a umáznutí stěn a dna infiltrační rýhy z důvodu zajištění infiltrace kapalné frakce do okolní půdy. Vyšší tvorba nekapilárních pórů a hrubší struktury snižuje riziko ucpání jemných pórů pevnou frakcí, zvyšuje rychlost infiltrace a větší půdní agregáty jsou odolnější vůči rozplavení. Vliv tvaru kypřícího dlátka lichoběžníkového a obdelníkového tvaru na hodnoty penetračního odporu půdy (rozteč dlát činil 0,6 m) dokumetují obrázky 31 a 32.

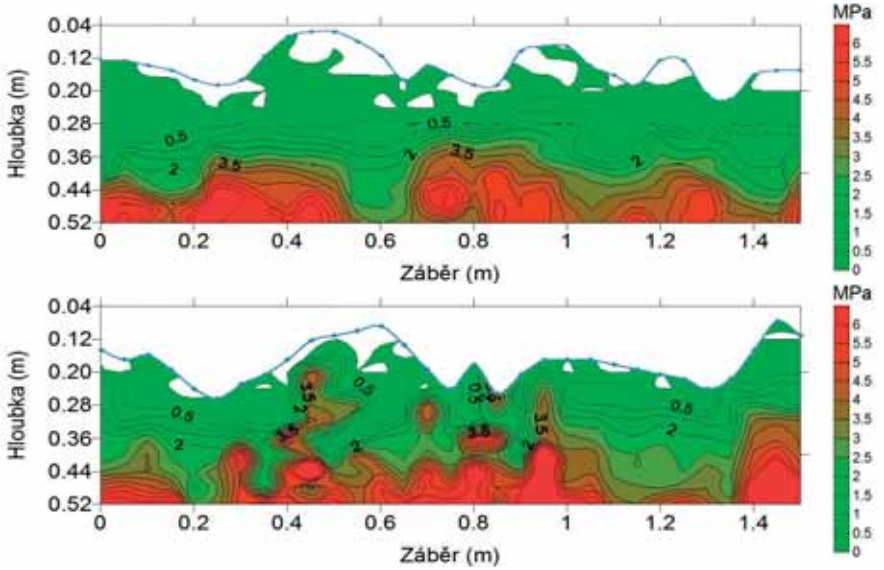
Tvorba hrůbků půdy určených pro zahrnutí rýhy po aplikaci hnojiv byla hodnocena na základě měření výšky povrchu půdy kolmo na směr pracovní jízdy. Obrázek 33 dokumentuje hodnoty kolmého průmětu povrchu půdy vůči směru pracovní jízdy v závislosti na použitém pracovním nástroji - dláta lichoběžníkového a obdélníkového tvaru.

Hodnoty penetračního odporu půdy (MPa) po provedení tvorby infiltračních rýh s dlátky o šířce 50 mm (vlevo) a 80 mm (vpravo), rozteč rýh činila 0,45 m

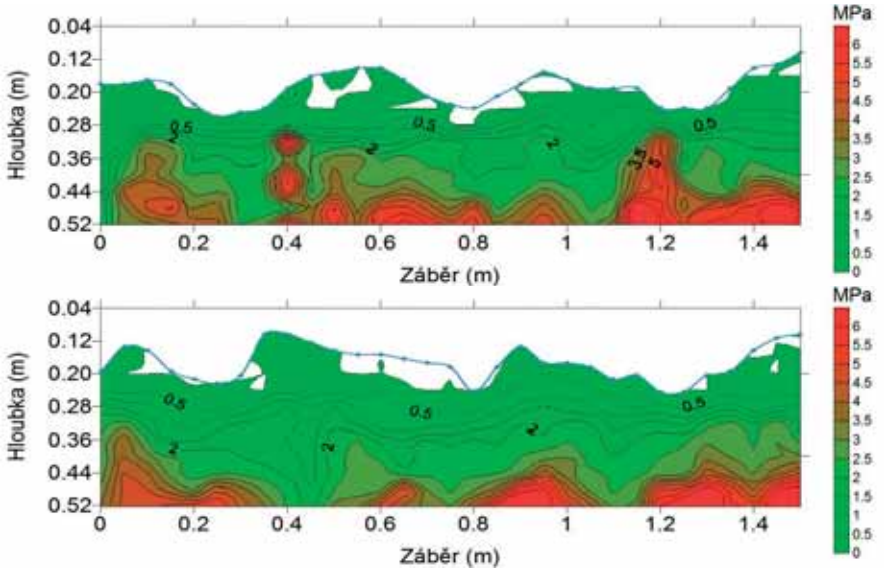


Kroulík a Brant, 2018

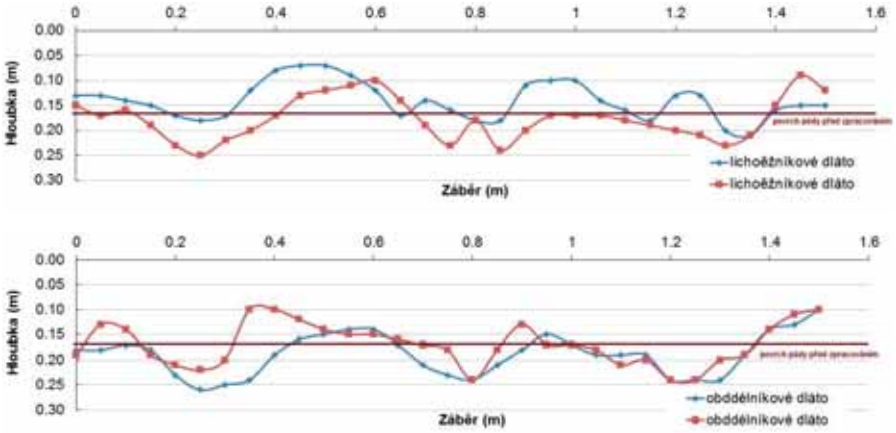
Obr. 30: Hodnoty penetračního odporu půdy v závislosti na šířce kypřicího dláta.



Obr. 31: Vliv kypřícího dláta lichoběžníkového tvaru na hodnoty penetračního odporu půdy.



Obr. 32: Vliv kypřícího dláta obdélníkového tvaru na hodnoty penetračního odporu půdy.

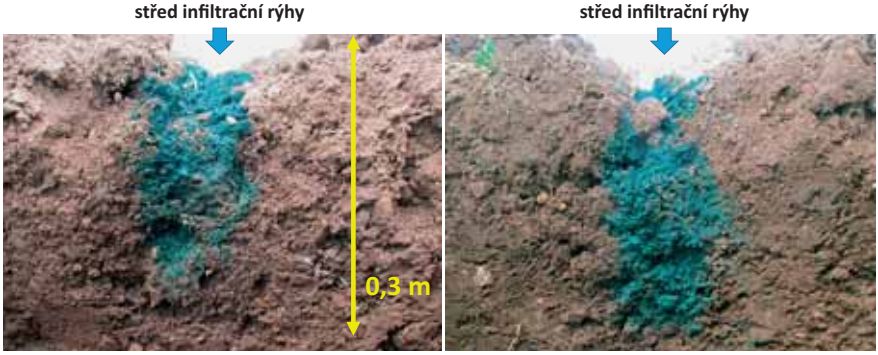


Obr. 33: Hodnoty kolmého průmětu povrchu půdy vůči směru pracovní jízdy v závislosti na použitém pracovním nástroji - dláta lichoběžníkového (nahoře) a obdélníkového tvaru (dole).

II.2.1.2. Infiltrace kapalných organických hnojiv do půdy

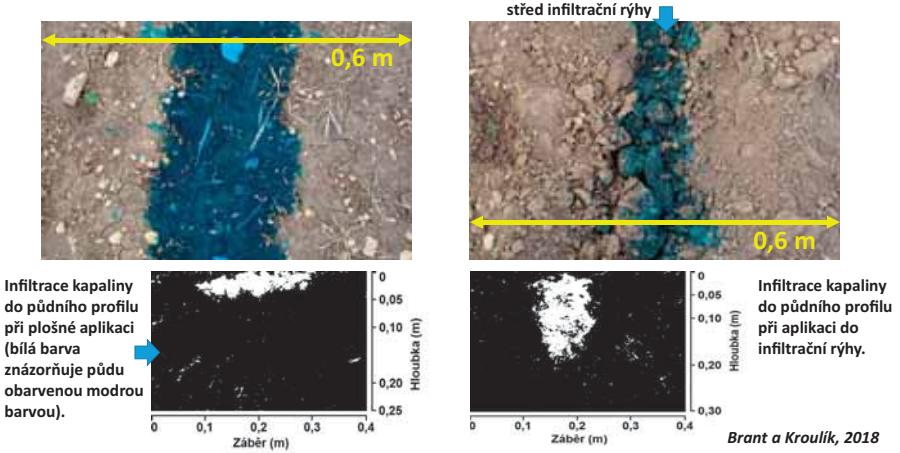
Na základě metody modré infiltrace byla hodnocena infiltrační schopnost půdy v infiltrační rýze a následně i proces rozptylu kapaliny v půdním profilu. Obrázek 34 dokumentuje rozptyl kapaliny v infiltrační rýze 30 minut po aplikaci při dávce 30 a 60 m^3/ha. Infiltrační proces a rozptyl hnojiva v půdním profilu je zásadním způsobem ovlivněn nastavením úhlu, pod kterým kapalina dopadá na povrch půdy a šířkou profilu proudící kapaliny. Ve srovnání s aplikací na povrch půdy dochází při aplikaci do infiltrační rýhy k menšímu pokrytí povrchu půdy hnojivem a k lepší infiltraci (obr. 35).

Infiltrace kapaliny (modrá infiltrace) do středu infiltrační rýhy (šířka dlátka 50 mm) při dávce 30 m^3/ha (vlevo) a 60 m^3/ha (vpravo), rozteč rýh činila 0,45 m.



Obr. 34: Rozptyl kapaliny v infiltrační rýze 30 minut po aplikaci při dávce 30 a 60 m^3/ha.

Simulace pokrytí povrchu půdy hnojivem při aplikaci na povrch půdy (vlevo) a do infiltrační rýhy (vpravo) při dávce kapaliny 30 m³/ha.



Obr. 35: Rozptyl kapaliny na povrchu půdy při aplikaci na povrch a do infiltrační rýhy.

Správnost teoretických předpokladů a modelových měření potvrdila ověřování technologie v polních podmínkách. Obrázek 36 dokumentuje stav pozemku po provedení tvorby infiltračních rýh. To proběhlo na pozemku s dříve provedenou podmítkou, kde předplodinou byla obilnina. Rozteč rýh činila 0,5 m a hloubka kypření při jejich vytvoření byla 0,2 m. Tvorba rýh byla provedena na dlouhodobě jen mělce zpracovávaném pozemku. Při uplatnění technologie na pozemcích s absencí orby, či hlubšího kypření přispívá tvorba rýh i k narušení mnohdy nadměrně utužené přechodové vrstvy mezi kypřenou a nezpracovávanou vrstvou půdy. Na obrázku 36 je zdokumentován rovněž aktuální stav povrchu infiltrační rýhy přímo po aplikaci prasečí kejdy, jejíž dávka činila 45 m³/ha.

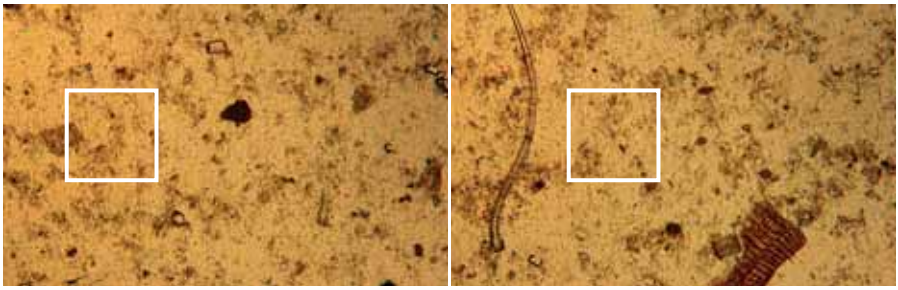
Obr. 36: Stav pozemku po provedení tvorby infiltračních rýh, po aplikaci kejdy prasat a po zahrnutí infiltračních rýh.

Obr. 37: Následně se vývoj zaměřil na technické možnosti tvarování hrůbků mezi infiltračními rýhami a na možnost porušení zhutněných vrstev ornice přímo při tvorbě infiltračních rýh (foto Brant).

Rychlost infiltrace dokumentuje fotografie znázorňující stav povrchu infiltrační rýhy 10 min. po aplikaci. Množství vyhrnuté půdy mezi rýhami zcela dostačovalo pro zakrytí povrchu infiltračních rýh (obr. 36).

Následně se vývoj zaměřil na technické možnosti tvarování hrůbků mezi infiltračními rýhami a na možnost porušení zhutněných vrstev ornice přímo při tvorbě infiltračních rýh (obr. 37).

Při analýze velikosti částic pevné frakce u prasečí kejdy byl potvrzen především značný výskyt pevných částí, většinou organické povahy, které rozměrově spadají do kategorie o velikosti 0,01–0,0002 mm (obr. 38). Toto velikostní rozmezí odpovídá průměru pórů, které zajišťují nejen vzlínání vody, ale podílejí se i na zajištění využitelné vody pro rostliny.



Obr. 38: Mikroskopické snímky prasečí kejdy, velikost rámečku je 0,05× 0,05 mm (foto Brant).

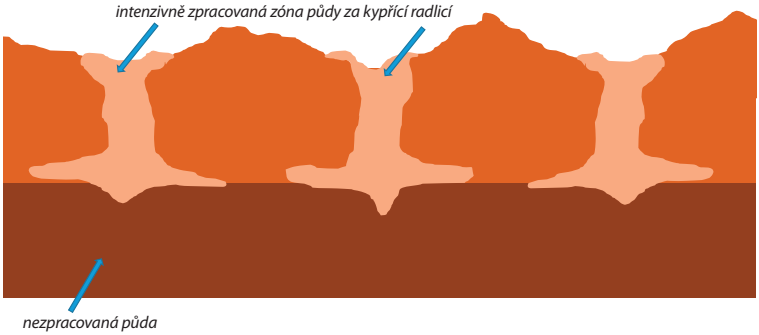
II.2.2. Technologie pro horizontální a vertikální tvorbu infiltračních zón při jednofázové aplikaci

Princip technologie vychází z tvorby infiltračních rýh umožňujících horizontální rozptýlení kapalných organických hnojiv v půdním profilu. Cílem je tvorba cílených zón uložení hnojiva s eliminací rizika rozplavení půdy v místě aplikace hnojiv ve spodnějších vrstvách ornice v kombinaci s celoplošným, či zonálním, zpracování půdy. Aplikace hnojiv je prováděna přímo při zpracování půdy za kypřící radlicí. Kypřící radlice tvoří nakypření půdy v místě uložení hnojiva a v kombinaci s kypřícími postranními křídly vytvoří podmínky pro horizontální rozptýlení hnojiva (obr. 39). Dále technologie pracuje s efektem

Tvorba horizontálních infiltračních zón a aplikace kapalných organických hnojiv do proudu zeminy

1

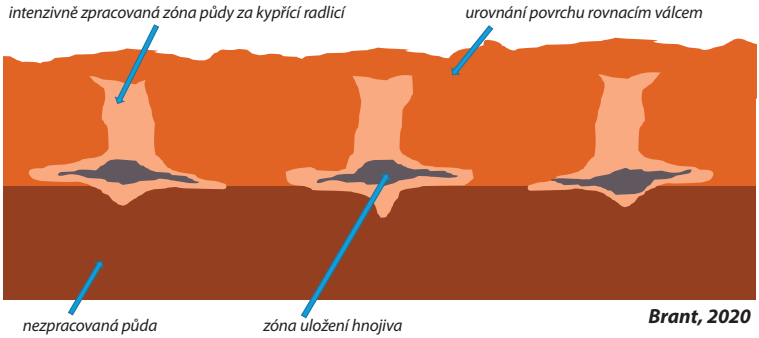
Při jízdě aplikátoru dochází v důsledku kypřící funkce pracovních nástrojů ke zpracování celého povrchu půdy. Kypřící radlice intenzivně zpracovávají půdu v místě trajektorií a v místě umístění postranních křídel. V těchto místech vznikají horizontální infiltrační rýhy pro hnojiva aplikovaná za radlicí pomocí rozptylovací koncovky. Koncovka je umístěna ve spodní části radlice. Při kypření dochází ke smešování rozptylovaného hnojiva s proudem zeminy za radlicí.



Tvorba horizontálních infiltračních zón a aplikace kapalných organických hnojiv do proudu zeminy

2

V důsledku rozptýlení hnojiva aplikační koncovku dochází k jeho smešování s proudem zeminy obtékajícím radlici a postranní křídla. Hnojivo poté zůstává ve spodní části profilu horizontálně rozložené. S nárůstem aplikační dávky se hnojivo intenzivněji dostává i do boků intenzivně kypřené části půdního profilu. Za kypřícími radlicemi s aplikátory dochází k částečnému urovnání a zpětnému utužení půdy rovnacími válci.



Obr. 39: Princip technologie pro horizontální tvorbu infiltračních zón s využitím aplikace do proudu zeminy.

promísení aplikovaného hnojiva s proudem zeminy vznikajícím za kypřící radlicí. Tento efekt je zajištěn použitím rozptylové koncovky umístěné za radlicí na aplikátoru, která umožňuje plošný rozptyl hnojiva. Plošně rozptýlené hnojivo se následně mísí s proudem zeminy obtékajícím kypřící radlici, a tím je zajištěna eliminace vzniku malé zóny s vysokou koncentrací hnojiva.

II.2.2.1. Tvorba horizontálních infiltračních rýh pro jednofázovou aplikaci

Testování práce pracovních nástrojů bylo zaměřeno na kvalitu kypření půdy a na rozptýlení kapalných organických hnojiv v půdním profilu. V rámci ověřování byla testována pracovní hloubka radlic od 0,18 do 0,24 m. Pro aplikaci byly použity prototypové radlice s bočními postranními křídly osazené aplikátorem kejdy s plošnou rozptylovou koncovkou (obr. 40).

Obr. 40: Kypřící radlice s aplikátorem kapalných hnojiv s širokou koncovkou rozptylovače se šíří dláta 75 mm pro systém zapravení do proudu zeminy (foto Brant).

Obrázek 41 dokumentuje kvalitu zapravení kejdy (prasečí kejda, testovací dávka 60 m^3 na ha, důvodem výše dávky bylo posouzení příjmové kapacity půd) do půdního profilu. V půdním profilu nebyla

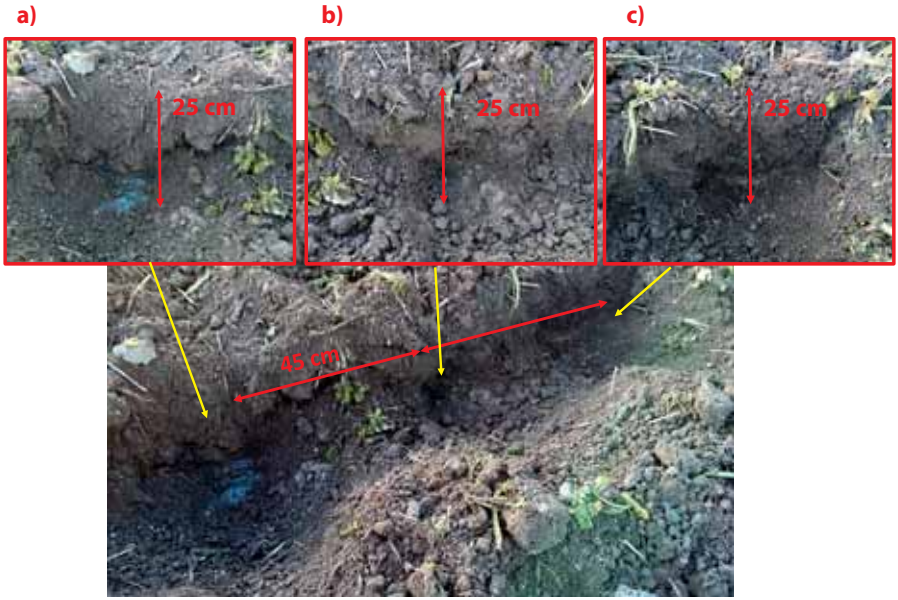
Obr. 41: Po zapravení kejdy se v půdním profilu nenacházela ohniska neinfiltrované, či nevsáknuté kejdy do půdy (foto Brant).

přítomna ohniska neinfiltrované, či nevsáknuté kejdy (obr. 41). Zásadní vliv na kvalitu rozptýlení, zejména z důvodu omezení pronikání kejdy na dno kypřené rýhy radlicí, je minimální rozestup mezi spodní částí kypřícího dlátka a spodní strany rozptylovače. Tato nastavení zajistí dostatečnou tvorbu kypré půdy nad dnem rýhy před aplikací kejdy rozptylovačem. V rámci vývoje tohoto typu aplikace byla i možnost porušení zhutněné vrstvy půdy pod pravidelně zpracovanou vrstvou ornice (obr. 42). Nastavení větší pracovní hloubky kypřícího dlátka o 0,12 m vůči kypřícím křídlům umožnilo efektivní porušení zhutněné vrstvy půdy na pokusné lokalitě. Zhutněná vrstvy půdy se zda nachází v hloubce 0,16 až 0,2 m.

V rámci ověřování technických řešení probíhalo i testování rozdílného umístění kypřících křídel na kypřící radlici a sledován byl i vliv šířky kypřícího dláta. Cílem experimentů bylo zajistit maximální promísení kejdy s proudem půdy za kypřícími radlicemi s kejdou, které zajistí největší nasátí kapalné fáze hnojiva do půdního profilu a nepovede ke vzniku zóny s kumulativním efektem, která se neprojeví tokem organického hnojiva v kypřené zóně trajektorie aplikační a kypřící radlice. Hodnoceny byly dva typy radlic se širokými aplikačními koncovkami, šíře kypřících dlát činila 25 a 50 mm (obr. 43). Hodnocen byl zároveň vliv nastavení kypřících křídel radlic a aplikačních koncovek. Na obrázku 44 je patrný půdní profil po provedení kypření a aplikace kejdy za kypřící radlici: a) aplikační koncovka je umístěna na bázi slupice a náběhová hrana kypřících křídel koresponduje se středem

Obr. 42: Vliv aplikace kejdy na souběžné porušení zhutnělé vrstvy půdy (foto Brant).

Obr. 43: Hodnoceny byly radlice se šířkou slupic 25 mm (vlevo) a 50 mm (vpravo) v kombinaci se širokými koncovkami (foto Brant).



Obr. 44: Rozmístění kejdy v půdním profilu v závislosti na způsobu nastavení hloubky křídel (foto Brant).

kypřícího dláta, b) aplikační koncovka je umístěna 50 mm nad bázi slupice a náběhová hrana kypřících křídel je ve výšce horní 1/3 kypřícího dláta, c) aplikační koncovka je umístěna 50 mm nad bázi slupice a náběhová hrana kypřících křídel koresponduje se středem kypřícího dláta. Variantu c) lze považovat za vhodnou jak pro úzkořádkové plodiny, tak pro porosty zakládané do širších řádků. Pracovní rychlost při aplikaci činila 5 km/ha (průměrná rychlost i při práci do svahu, dávka 60 m^3/ha - dávka pro ověření, kejda prasat). Rozteč aplikačních radlic 45 cm. Při aplikaci rovněž docházelo k porušení zhutnění půdy na pozemku. To vzniklo v důsledku dlouhodobého uplatňování redukovaného zpracování

Obr. 45: Použití radlic s menší šíří slupic (25 a 50 mm ve srovnání se šířkou 75 mm) snížilo hřebenitost pozemku po provedení aplikace (foto Brant).

půdy. Na snímku je vždy použita shodná radlice, pouze se pracovalo s nastavením pomocných kypřících nástrojů na slupici a s nastavením aplikační koncovky. Použití radlic s menší šíří slupic (25 a 50 mm ve srovnání se šířkou 75 mm) snížilo hřebenitost pozemku po provedení aplikace (obr. 45).

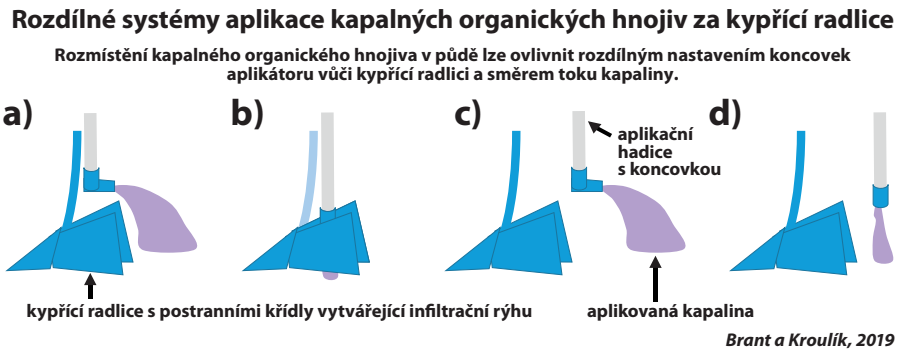
II.2.2.2. Tvorba vertikálních infiltračních rýh pro jednofázovou aplikaci

V rámci testování technologie byl ověřován rovněž systém tvorby vertikálních infiltračních rýh se souběžnou aplikací kapalných hnojiv do kypřené zóny shora. Principem technologie je tvorba infiltračních rýh, do kterých byl rozptylovací koncovkou umístěnou nad povrchem půdy aplikován roztok s následným uzavřením infiltračních rýh (obr. 46).

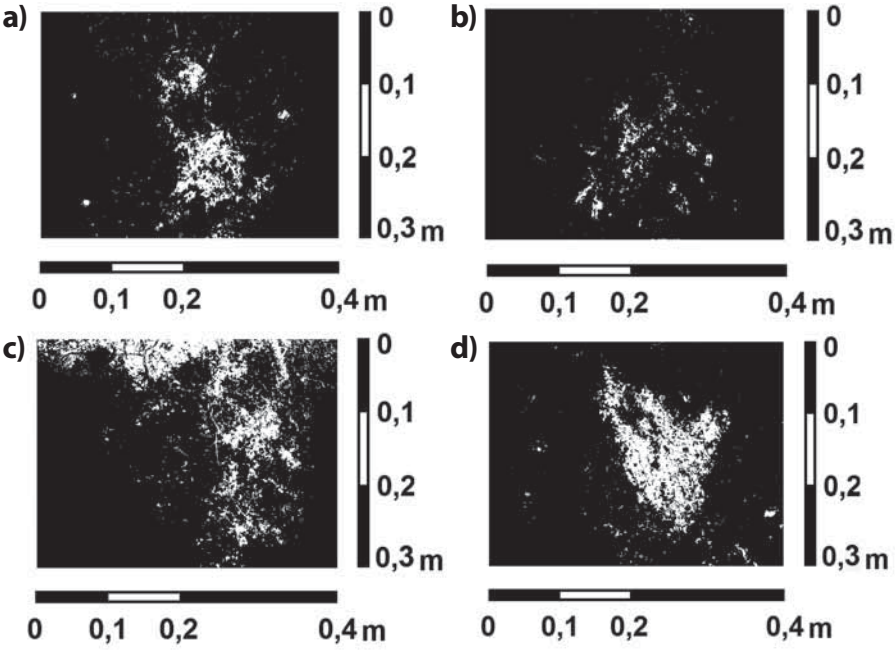
Obr. 46: Systém tvorby infiltračních rýh se souběžnou aplikací kapalných hnojiv a souběžným zavřením infiltrační rýhy (foto Brant).

Obr. 47: Testovací stroj byl vybaven nádrží s roztokem obarvené vody (foto Brant).

Směr proudu kapaliny a vzdálenost koncovky aplikátoru za kypřící radlicí zásadním způsobem ovlivňuje hloubku uložení kapaliny a míru intenzity promísení s půdou. Kapalné hnojivo bylo simulováno vodou obarvenou modrou barvou. Testovací stroj byl vybaven nádrží s roztokem obarvené vody (obr. 47). V rámci experimentu byly tedy testovány rozdílné způsoby směřování toku kapaliny do kypřené zóny. Jednalo se o použití koncovek zajišťujících primární vyústění toku kapaliny souběžně s povrchem půdy a díky zúžení dna

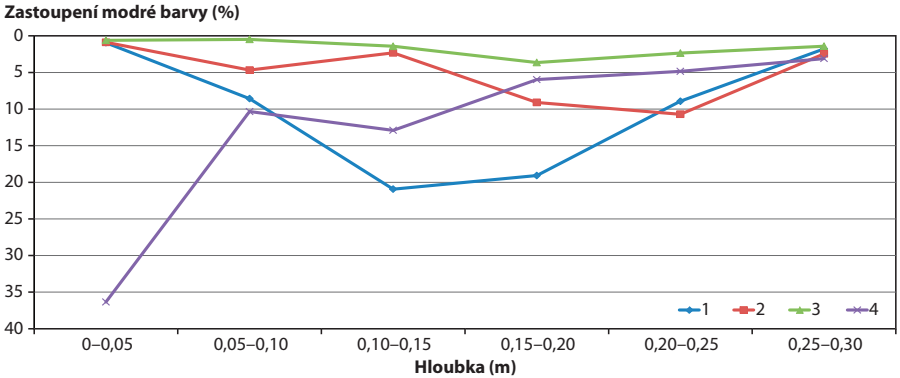


Obr. 48: Rozdílné systémy aplikace kapalných organických hnojiv za kypřící radlice.

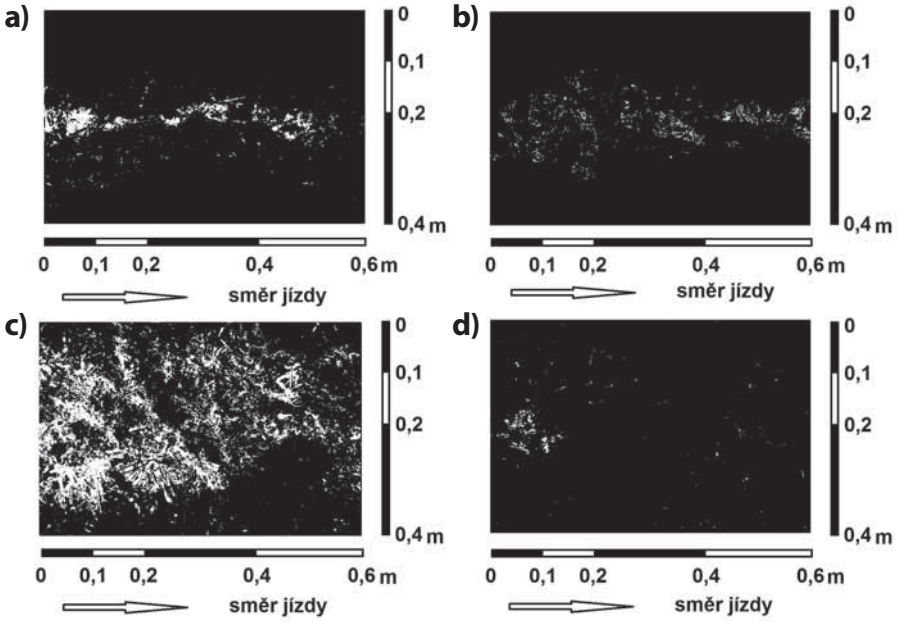


Obr. 49: Profil půdy, který byl odkryt kolmo na směr jízdy, dokládá vliv umístění koncovek aplikátorů na rozptyl obarvené vody v profilu půdy, označení a)–d) vychází z údajů uvedených na obrázku 48. Bílá barva dokumentuje přítomnost modré barvy.

koncovky o tvorbu vertikálně plochého vějíře rozptylu kapaliny (obr. 48 a, c). Dále o kolmý směr toku kapaliny směrem do infiltrační rýhy (obr. 48 b, d). Hodnocena byla intenzita infiltrace v profilu a rovněž zaklopení a zapravení kejdy z povrchu půdy. Po aplikaci byly odkryty půdní profily a tyto profily byly nafoceny. Rovněž byl snímkován povrch půdy po přejezdu soupravy.



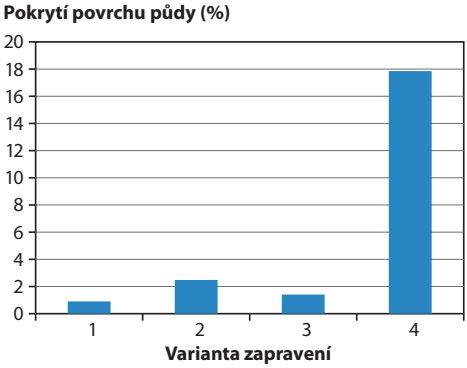
Obr. 50: Vliv technického řešení aplikace kapaliny na intenzitu infiltrace a zapravení modré barvy do půdy. Číslo 1 odpovídá technickému řešení a), 2 – b); 3 – d) a 4 – c) – viz. obrázek 48.



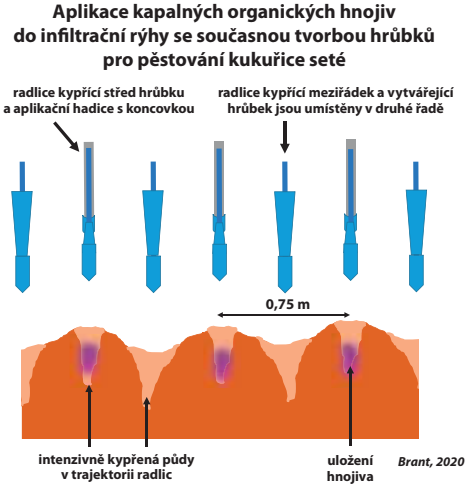
Obr. 51: Zejména u varianty 4 (vpravo dole), je patrné, že větší vzdálenost od pracovních nástrojů a zakončení hadice usměrňovací deskou vedlo k výraznému omezení zaklopení hnojiva. Bílá barva dokumentuje přítomnost modré barvy.

Na profilu půdy (obr. 49), který byl odkryt kolmo na směr jízdy, je patrný vliv umístění koncovky s přímým tokem do proudu zeminy (vpravo, řešení „b“ podle obr. 48) a zakončení koncovky na rozptyl obarvené vody v profilu půdy (vlevo, řešení „a“ podle obr. 48). Obrázek 50 následně dokládá vliv technického řešení na intenzitu infiltrace a zapravení do půdy.

Z hlediska eliminace ztrát živin a omezení šíření zápachu a uvolňování skleníkových plynů je důležité zapravení aplikovaného hnojiva. Na snímcích pořízených z povrchu půdy je patrný vliv technického řešení na přítomnost hnojiva na povrchu (Obr. 51). Pro názornost jsou data vynesena do grafu na obrázku 52. U variant a), b) a d) se pohybovalo pokrytí povrchu půdy na úrovni od 0,9 do 2,5 %.



Obr. 52: Pokrytí povrchu půdy modrou barvou po aplikaci. Číslo 1 odpovídá technickému řešení a), 2 - b); 3 - d) a 4 - c) - viz. obrázek 48.



Obr. 53: Systémy aplikace kapalných organických hnojiv do vertikálních infiltračních rýh lze uplatnit i v systémech pěstování širokořádkových plodin v hrůbcích.

II.2.2.3. Využití principů pro hrůbkové zpracování půdy

Systémy aplikace kapalných organických hnojiv do vertikálních infiltračních rýh lze uplatnit i v systémech pěstování širokořádkových plodin v hrůbcích. Zde se jedná o aplikaci hnojiv do infiltrační rýhy vytvářené kypřící radlicí či dlátem v budoucím středu hrůbku, tedy v místě, řádku výsevu kulturní rostliny. Infiltrační rýha s uloženým hnojivem rozprostřeným v kypřené zóně je následně zahrnuta druhou řadou radlic či dlát vytvářejících hrůbek, jejichž trajektorie se nacházejí v místě budoucího středu mezi hrůbky. Tyto systémy jsou vhodné především při rozteči řádků kulturní rostliny 0,75 m. Princip technologie dokládá schéma na obrázku 53. Systém pěstování širokořádkových plodin v hrůbcích dokumentuje obrázek 54.

Obr. 54: Systém pěstování širokořádkových plodin na hrůbcích (foto Farmet a.s.).

II.3. Konstrukční řešení strojů

V rámci projektu TH02010706 v programu Technologické agentury ČR Epsilon byla firmou Farmet a.s. ve spolupráci s Českou zemědělskou univerzitou v Praze a Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze Ruzyni, v.v.i. vyvinuta zcela nová řada strojů pro jednofázovou podpovrchovou aplikaci organických kapalných hnojiv jako jsou kejda nebo digestát.

Pro potřeby reálné praxe, avšak splňující přísná kritéria stávající i připravované legislativy v oblasti ochrany ovzduší a ochrany půd proti erozi, se jednoznačně ukázalo jako jediné a široce prakticky využitelné řešení právě jednofázová podpovrchová aplikace spojená s kvalitním zpracováním půdy v rámci jediného přejezdu.

Nová unikátní řada strojů se vyznačuje mnoha inovativními prvky, kdy byly zúročeny nejen mnohaleté zkušenosti řešitelského týmu, ale i zcela nové poznatky získané v rámci řešení výzkumného úkolu v programu Epsilon.

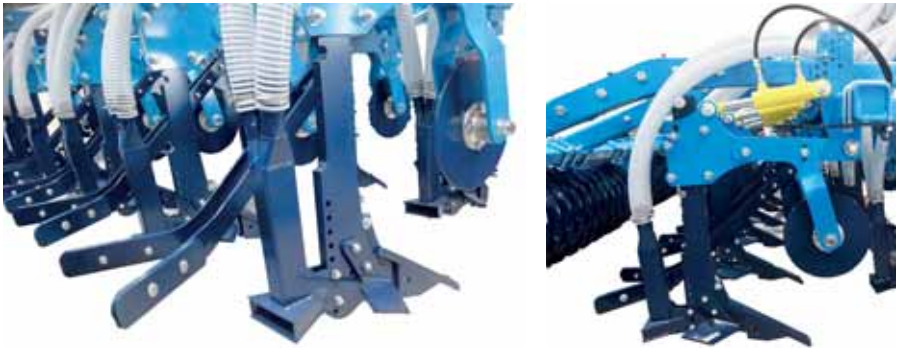
Inovativní aplikátory Farmet (obr. 55 a 56) mají tyto klíčové technologické přednosti:
- lehké nesené provedení s velmi kompaktním sklápěním pro přepravu, které lze snadno agregovat se samochodnými i taženými cisternami s tříbodovým závěsem,
- speciální aplikační radlice vybavené nastavitelnými kotoučovými krojidly zajišťují velmi kvalitní nakypření s nízkým tahovým odporem,

- půda se před radlicemi rozevírá a za radlicemi se opět uzavírá, takže hnojivo je ihned zakryto, nešíří se zápach a jsou výrazně eliminovány emise CO_2, NH_3 a NO_x,
- speciální dláta s velmi ostrým úhlem vnikání do půdy mají nízký tahový odpor a díky trhání půdy směrem nahoru zajišťují porézní zóny pro vsakování hnojiva,
- speciální křidélka zajišťují široké prokypřené pásy pro vynikající rozptýlení hnojiva,
- hnojivo je rozptylováno speciálními rozstřikovými koncovkami do širokých pásů do nastavitelné hloubky 15–30 cm, přičemž při rozteči dlát 37,5 cm je hnojivo rozptýleno na více než 70 % plochy,
- díky výbornému rozptýlení hnojiva a jeho promísení s kyprou půdou jsou výrazně eliminovány nežádoucí chemické reakce hnojiv v půdě, a to i v extrémně suchém nebo extrémně mokrém počasí,
- zahrnovače a zadní segmentový válec zajišťují rychlé uzavření půdy a optimální zpětné utužení,
- povrch půdy je výborně urovnaný a snižuje výpar vody,
- stroj je koncipován tak, aby mohl spolehlivě pracovat jak za extrémně suchého, tak za extrémně mokrého počasí,
- jsou účinně kypřeny stopy kol traktoru,
- půda je velmi kvalitně zpracována a umožňuje přímo setí následných plodin,
- díky kvalitnímu rozptýlení hnojiva lze aplikovat i vyšší dávky.

Obr. 55: Nová řada inovativních aplikátorů pro jednofázovou podpovrchovou aplikaci organických kapalných hnojiv se vyznačuje velmi kompaktní a lehkou konstrukcí (foto Farmet a.s.).

Obr. 56: Kromě výborného podpovrchového rozptýlení hnojiv nabízí nová řada aplikátorů také vysoce kvalitní zpracování půdy, a to i v podmínkách extrémního sucha nebo mokra (foto Farmet a.s.).

Z klíčových technických předností inovativních aplikátorů Farmet (obr. 57 a 58) lze jmenovat:
- použití vysokopevnostních ocelí zajišťujících vysokou pevnost konstrukce a pracovních nástrojů při celkově nízké hmotnosti,
- hydraulické sklápění na přepravní šířku 2,6 m,
- hydraulické jištění kypřících radlic s vysokou odjišťovací silou,
- radlice ve dvou řadách, výsledná rozteč radlic 37,5 cm, maximální hloubka zpracování půdy 35 cm,
- dláta jsou osazena plátky ze slinutých karbidů,
- lze volit i jiné typy válců,
- stroj má stavebnicové řešení a lze snadno přestavět i na verzi pro meziřádkovou aplikaci pro širokořádkové plodiny s roztečí 75 cm.



Obr. 57: Speciální kypřící radlice s dláty s velmi ostrým úhlem vnikání do půdy mají nízký tahový odpor a díky trhání půdy směrem nahoru zajišťují porézní zóny pro vsakování hnojiva. Hnojivo je rozptylováno speciálními rozstřikovými koncovkami do širokých pásů do hloubky 15–20 cm, přičemž při rozteči dlát 37,5 cm je hnojivo rozptýleno na více než 70 % plochy (foto Farmet a.s.).

Obr. 58: Půda se před radlicemi rozevírá a za radlicemi se opět uzavírá, takže hnojivo je ihned zakryto, nešíří se zápach a jsou výrazně eliminovány emise CO_2, NH_3 a NO_x (foto Farmet a.s.).

II.4. Výsledky ověřování technologií

Nová konstrukční řešení strojů byla v rámci projektu ověřována jako součást pěstebních technologií. Jednalo se jak o testování dvoufázové aplikace spočívající v tvorbě infiltračních rýh a následné aplikaci kapalných organických hnojiv do připravených zón, tak o hodnocení jednofázové aplikace se souběžným ukládáním kapalných organických hnojiv.

II.4.1. Dvoufázová aplikace před výsevem pšenice ozimé

Dvoufázová aplikace kejdy prasat byla ověřována před výsevem ozimé pšenice. V rámci experimentu byly 14. 10. 2019 založeny pokusné varianty s tvorbou infiltračních rýh kypřičem firmy Farmet a.s. (obr. 59) a kontrolní plochy bez provedení rýhování. Tyto plochy byly následně rozděleny na dvě varianty se zonálním kypřením, tedy varianta s aplikací kejdy prasat v dávce 60 m^3/ha do infiltračních rýh a rýhování bez aplikace kejdy (výše dávky představovala dávku testovací, která měla prokázat infiltrační potenciál půdy po kypření). Dále byly založeny varianty s plošnou aplikací kejdy (40 m^3/ha) a bez aplikace. Za 24 hodin po aplikaci bylo provedeno mělké zpracování půdy na všech variantách (hloubka kypření 0,12 m) a okamžitě po kypření následoval výsev pšenice ozimé. Při tvorbě infiltračních rýh pro kejdu bylo rovněž souběžně shodným strojem provedeno porušení zhutnění půdy, které se na pozemku vyskytovalo v hloubce 0,12–0,18 m (obr. 60). Obrázky 61 a 62 dokumentují způsob aplikace hadicovým aplikátorem do rýh a aktuální stav povrchu pozemku po aplikaci.

25. 11. 2019 byl hodnocen vliv zpracování půdy před aplikací kejdy na hodnoty penetračního odporu půdy a na infiltraci - metoda modré infiltrace. Aktuální stav po provedení modré infiltrace na plochách s aplikací do infiltračních rýh dokumentuje obrázek 63.

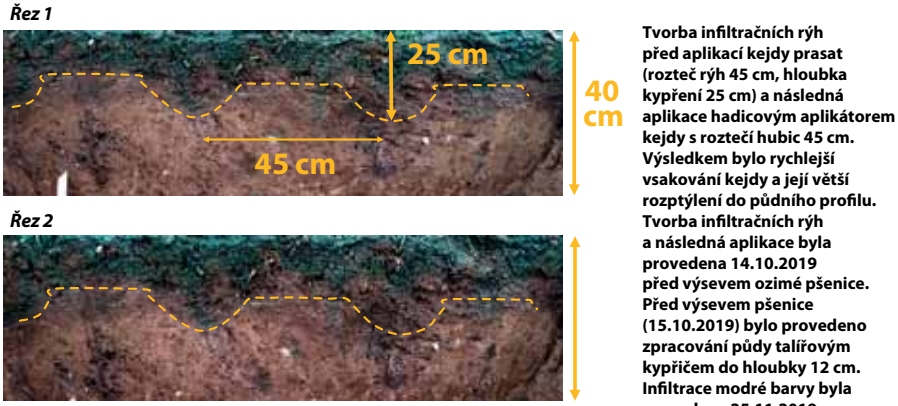
Na následujících obrázcích je možné porovnat intenzitu infiltrace. Jednotlivé profily ukazují rozdíly mezi infiltrací modrou barvou obarvené vody do půdy na ploše s aplikací kejdy a standardně zpracovaném a osetém pozemku. Porovnávány byly varianty, kdy byl profil odkryt ihned po zalití barvou a profil, který byl odkryt 24 hodin po zalití (obrázky 64 a 65). Pokud si vyneseme hodnoty zastoupení barvy po vrstvách půdy, získáme představu o intenzitě infiltrace mezi jednotlivými variantami (obr. 66). Statisticky významné rozdíly pro jednotlivé varianty byly hodnoceny pomocí analýzy rozptylu. Z obrázku 66 je patrné, že mezi termíny odkrytí profilu pro danou variantu není rozdíl. To potvrdila také analýza rozptylu. Na druhou stranu lze říci, že připravený infiltrační profil zajistil rychlou infiltraci do profilu. U všech variant docházelo s hloubkou profilu k poklesu zastoupení přítomnosti modré barvy. Statisticky významný rozdíl na hladině významnosti 0,05 byl pozorován u hodnot do hloubky 0,15 m. Významný rozdíl byl shledán v hloubce 0,05 až 0,10 m.

Obr. 59: Tvorba infiltračních rýh na strništi ozimé řepky před budoucím výsevem ozimé pšenice (foto Brant).

Obr. 60: Profil půdy po provedení rýhování s patrným efektem porušení zhutnění půdy, které se na pozemku vyskytuje v hloubce 12–18 cm (foto Brant).

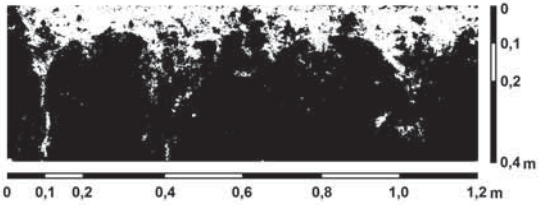
Obr. 61: Způsob aplikace kejdy hadicovým aplikátorem do rýh (foto Brant).

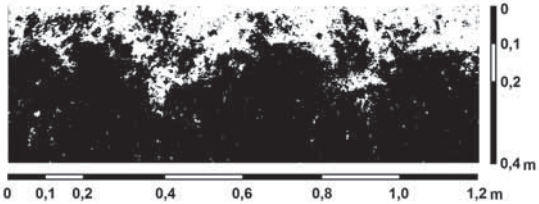
Obr. 62: Aktuální stav povrchu pozemku po aplikaci (foto Brant).



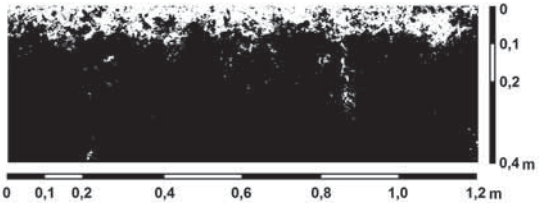
Tvorba infiltračních rýh před aplikací kejdy prasat (rozteč rýh 45 cm, hloubka kypření 25 cm) a následná aplikace hadicovým aplikátorem kejdy s roztečí hubic 45 cm. Výsledkem bylo rychlejší vsakování kejdy a její větší rozptýlení do půdního profilu. Tvorba infiltračních rýh a následná aplikace byla provedena 14.10.2019 před výsevem ozimé pšenice. Před výsevem pšenice (15.10.2019) bylo provedeno zpracování půdy talířovým kypřičem do hloubky 12 cm. Infiltrace modré barvy byla provedena 25.11.2019.

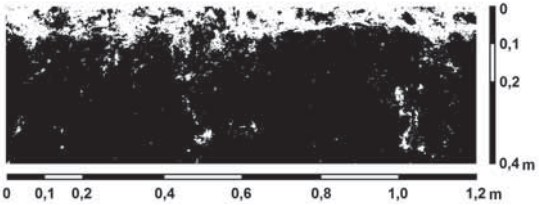
Obr. 63: Hodnocení infiltrace modré barvy na plochách s tvorbou infiltračních rýh.



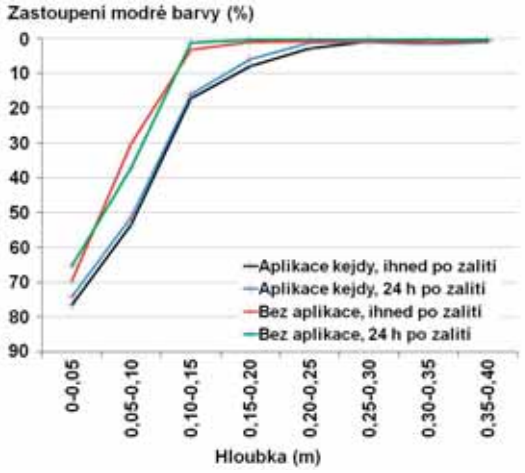


Obr. 64: Profil na pozemku s vytvořenými infiltračními rýhami, odkrytý ihned po zalití 25.11.2019 (nahoře) s dobře patrnými infiltračními rýhami. Dole je znázorněn profil na pozemku s vytvořenými infiltračními rýhami, odkrytý 24 hodin po zalití. Na prezentovaných řezech je rovněž patrná přítomnost infiltračních rýh.





Obr. 65: Profily na obrázcích přinášejí pohled na variantu s plošnou aplikací kejdy. Horní obrázek dokumentuje infiltraci po zalití modrou barvou 25. 11. 2019. Z obrázku je patrná nižší intenzita infiltrace do půdy. Na profilu jsou patrné stopy po hlubším kypření, které bylo provedeno v předchozích letech. Nicméně pro infiltraci byla limitující utužená vrstvě v hloubce zpracování půdy. Dole je stav infiltrace 24 hodin po zalití modrou barvou.



Obr. 66: Rozdíly v intenzitě infiltrace mezi jednotlivými variantami. Statisticky významné rozdíly pro jednotlivé varianty byly hledány pomocí analýzy rozptylu.

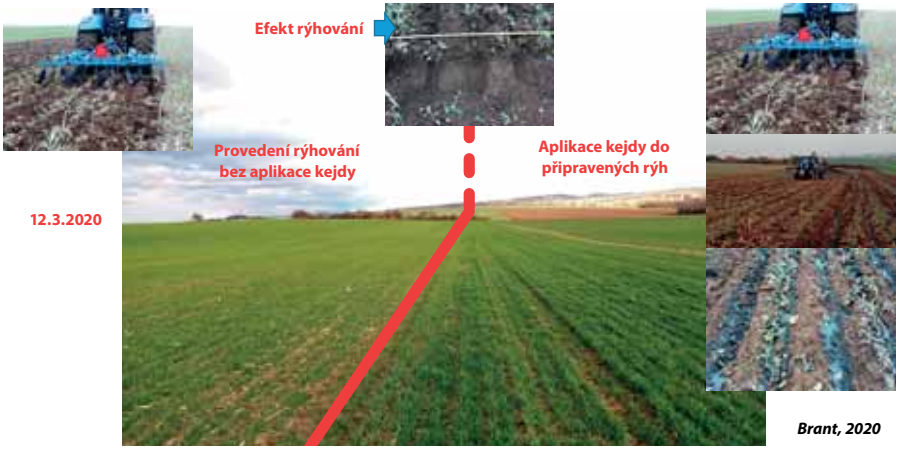
Obr. 67: Plošná aplikace, profil s hodnotami penetračního odporu do hloubky 0,2 m s krokem měření 0,04 m.

Obr. 68: Profil s vytvořenými infiltračními rýhami, profil s hodnotami penetračního odporu do hloubky 0,2 m s krokem měření 0,04 m.

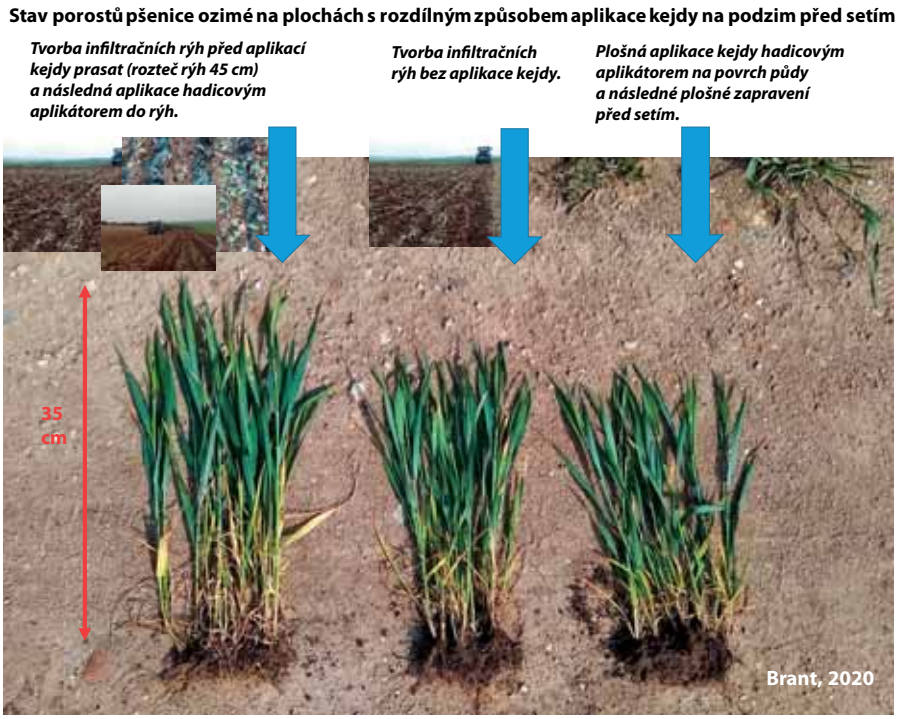
Přítomnost infiltračních rýh prokázalo i penetrometrické měření (obrázky 67 a 68). Pro každou variantu byly naměřeny 3 půdní profily. Měření bylo vedeno kolmo na směr jízdy. Barevná škála vyjadřuje hodnoty penetračního odporu. Zelená barva patří nižším hodnotám.

Optické hodnocení vývoje porostů provedené 13. 3. 2020 potvrdilo pozitivní vliv aplikace kejdy do infiltračních rýh na vývoj pšenice ozimé ve srovnání s porosty bez aplikace kejdy (obr. 69).

Další agrotechnická kontrola porostů proběhla 15. 5. 2020. Hodnocen byl stav porostů na plochách s provedeným rýhováním - varianta s a bez aplikace kejdy a stav porostů bez rýhování (plošná aplikace kejdy). Na plochách s provedeným rýhováním a s aplikací kejdy byla zaznamenána nejvyšší výška rostlin pšenice ozimé (obr. 70). Nižší rostliny byly zaznamenány na plochách s rýhováním bez aplikace kejdy a nejnižší na plochách s plošnou aplikací kejdy na povrch půdy hadicovým aplikátorem.



Obr. 69: Stav porostů ozimé pšenice 13. 3. 2020 na plochách s tvorbou infiltračních rýh s aplikací a bez aplikace kejdy.



Obr. 70: Stav porostů na hodnocených plochách 15. 5. 2020.

V rámci hodnocení provedených 15. 5. 2020 byla hodnocena produkce suché nadzemní biomasy porostů (tab. 4) a kvalitativní analýzy biomasy (tab. 5). Statisticky průkazně vyšší hodnoty produkce nadzemní biomasy vůči ostatním variantám byly stanoveny na plochách s provedením infiltračních rýh. Mezi ostatními variantami nebyly shledány statisticky průkazné rozdíly (tab. 4). Nejvyšší obsahy sledovaných živin v nadzemní biomase pšenice ozimé (mimo obsahu vápníku) byly stanoveny na plochách s aplikací kejdy do předem připravených infiltračních rýh (tab. 5).

Tab. 4: Průměrná produkce suché nadzemní biomasy pšenice ozimé (t/ha) na hodnocených plochách 15. 5. 2020. Odlišné indexy mezi průměry v rámci sloupce dokládají statisticky průkaznou diferenci se spolehlivostí 95 % (ANOVA, Tukey).

varianta	suchá nadzemní biomasa pšenice (t/ha)
aplikace do infiltračních rýh	6,400 b
infiltrační rýhy bez aplikace kejdy	5,261 a
kejda na povrch půdy	5,375 a

Tab. 5: Výsledky obsahu živin v nadzemní biomase pšenice ozimé stanovené 15. 5. 2020.

varianta	tot. N (%)	fosfor (%)	draslík (%)	vápník (%)	hořčík (%)
kejda na povrch půdy	2,28	0,15	2,05	0,36	0,11
aplikace do infiltračních rýh	2,10	0,13	1,95	0,26	0,11
infiltrační rýhy bez aplikace kejdy	2,71	0,22	2,17	0,35	0,15

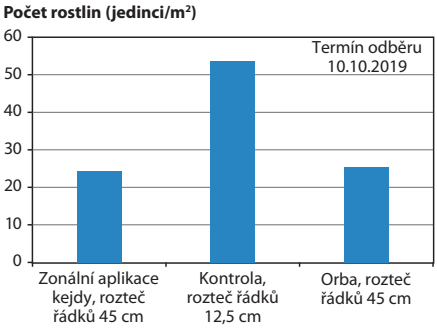
II.4.2. Dvoufázová aplikace před cíleným výsevem ozimé řepky

Aplikace kejdy na pozemcích zemědělského podniku ZAS Mžany byla provedena po vytvoření rýh kypřičem v dávce 18 m^3/ha. Obrázek 71 pořízený během aplikace dokládá úpravu rozteče hadic na šířku řádků 0,45 m. S uvedenou úpravou byla umožněna aplikace do připravených řádků mezi hrůbky. Po aplikaci bylo provedeno mělké kypření půdy do hloubky 0,1 m (obr. 72). Mělké kypření zajistilo kvalitní zakrytí aplikovaných zón půdou. Na uvedené variantě byl založen porost řepky přesným secím strojem Väderstad Tempo s roztečí řádků 0,45 m. Do hodnocení jsou dále zahrnuty varianty založené na klasickém zpracování půdy s orbou, předseťovou přípravou a setím do řádků s roztečí 0,45 m (Väderstad Tempo) a s roztečí řádků 0,125 m (Väderstad Pronto). První kontrola porostu proběhla 10. 10. 2019, kdy byly stanoveny počty rostlin, pravidelnost rozmístění rostlin v řádku a na jednotlivých variantách byly odebrány rostliny pro stanovení biometrických ukazatelů (tab. 6). Počty rostlin a rozteče rostlin v řádku byly stanoveny na dvou metrech délky řádku, vždy pro 5 náhodně vybraných zón na dané variantě. Pro hodnocení biometrických ukazatelů se odebralo náhodně 20 rostlin.

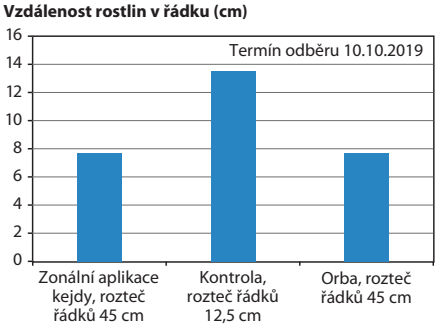
Obr. 71: způsob aplikace kejdy do rýh (foto Kroulík).

Obr. 72: Po aplikaci byla provedena podmítka do hloubky 0,1 m (foto Kroulík).

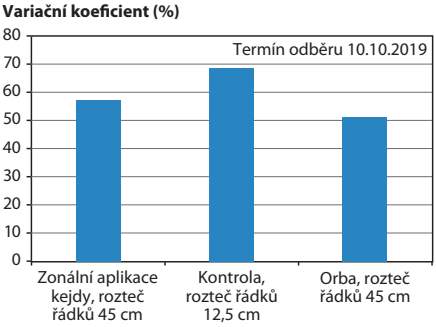
Obrázek 73 přináší výsledky hodnocení počtu rostlin. Počet rostlin na m^2 odpovídal stanovenému výsevku pro varianty seté na meziřádkovou vzdálenost 0,45 m, kdy byl výsevek nastaven na 300 000 jedinců/ha. Pro variantu setou s roztečí řádků 0,125 m byl výsevek nastaven na 500 000 jedinců na ha. Počet jedinců však vykazoval vyšší počty. Širší řádky následně vykazovaly menší rozestupy rostlin v řádku (obr. 74). Tato skutečnost samozřejmě vychází, přes nižší výsevek, z vyššího počtu jedinců v řádcích.



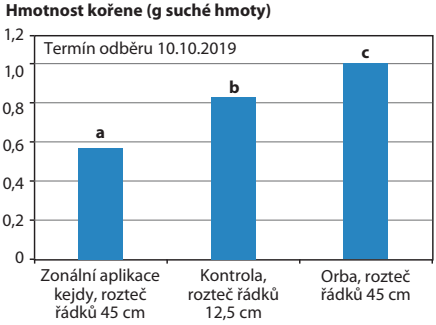
Obr. 73: Počet rostlin na m^2 pro jednotlivé varianty.



Obr. 74: Rozteče rostlin v řádcích pro jednotlivé varianty.



Obr. 75: Pravidelnost rozmístění rostlin v řádku, vyjádřená variačním koeficientem.



Obr. 76: Průměrné hmotnosti kořenů pro jednotlivé varianty. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) jsou vyznačeny rozdílnými indexy.

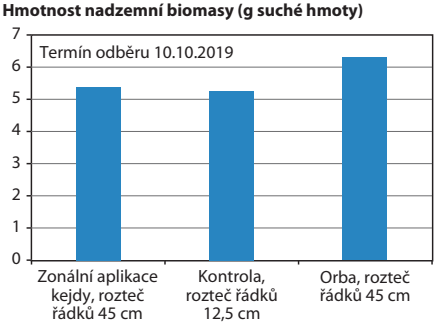
Přestože počet rostlin odpovídal výsevku, bylo možné pozorovat u jednotlivých variant nepravidelnost v rozteči rostlin (obr. 75). Pro vyjádření byl zvolen variační koeficient. Nejvyšší hodnota variačního koeficientu, a tedy největší variabilita roztečí, byla shledána u varianty s řádky 125 mm. Toto lze přičíst charakteru dopravy osiva od výsevních mechanismů po secí botky.

Biometrické ukazatele porostu, jak dokládá tabulka 6, vykazovaly statisticky neprůkazné rozdíly. Jediné významnější rozdíly byly shledány u hmotnosti suché hmoty kořene. Graficky tyto rozdíly přináší obrázek 76.

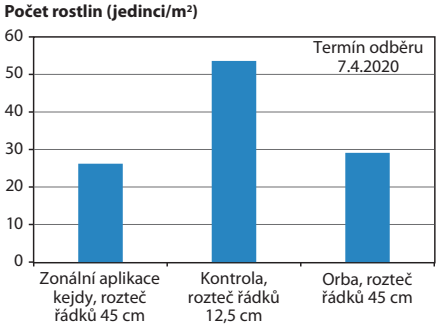
Tab. 6: Tabulka uvádí přehled hodnot pro jednotlivé sledované parametry. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) byly shledány pouze u hmotnosti suché kořenové hmoty.

varianta	výška rostlin (mm)	počet listů	průměr kořenového krčku (mm)	kořen - suchá hmotnost (g)	nadzemní biomasa - suchá hmotnost (g)
infiltrační rýhy, aplikace kejdy, rozteč řádků 0,45 m	291 a	6,6 a	7,35 a	0,61 a	5,38 a
orba, příprava, rozteč řádků 0,125 m	293 a	6,0 a	8,05 a	0,88 b	5,22 a
orba, příprava, rozteč řádků 0,45 m	301 a	7,6 a	8,45 a	1,06 c	6,31 a

Hmotnosti suché nadzemní biomasy, jak uvádí také tabulka 6, již statisticky významné rozdíly nevykazovaly (obr. 77).



Obr. 77: Průměrné hmotnosti nadzemních částí rostlin pro jednotlivé varianty. Statisticky významné rozdíly nebyly nalezeny.

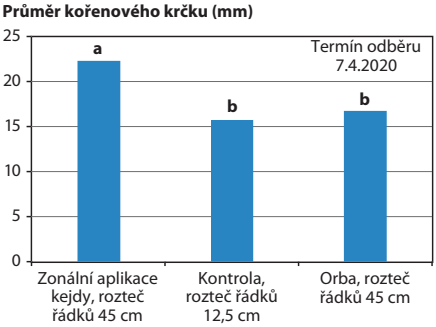


Obr. 78: Počet rostlin na m² pro jednotlivé varianty v druhém termínu odběrů.

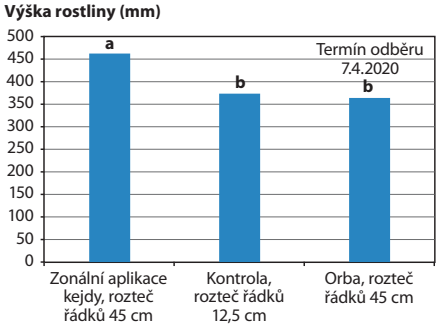
Dne 7. 4. 2020 byl proveden druhý odběr rostlin, opět pro kontrolu počtu rostlin, především pro hodnocení přezimování rostlin a shodnou metodikou byly odebrány rostliny pro opětovné stanovení biometrických ukazatelů.

Na základě odpočtu rostlin lze konstatovat, že došlo k mírnému poklesu počtu jedinců oproti podzimnímu odběru, nicméně pokles to nebyl významný (obr. 78). Hodnoty poklesly rovnoměrně pro všechny varianty a počet jedinců stále odpovídal požadovanému výsevku.

Výraznější rozdíly byly patrné u biometrických ukazatelů porostu. Průměry kořenového krčku a hodnoty výšky nadzemních částí rostlin přináší obrázky 79 a 80. V obou případech byly shledány statisticky významnější hodnoty pro variantu se zonální aplikací kejdy.



Obr. 79: Průměrné hodnoty průměrů kořenového krčku. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) jsou vyznačeny rozdílnými indexy.



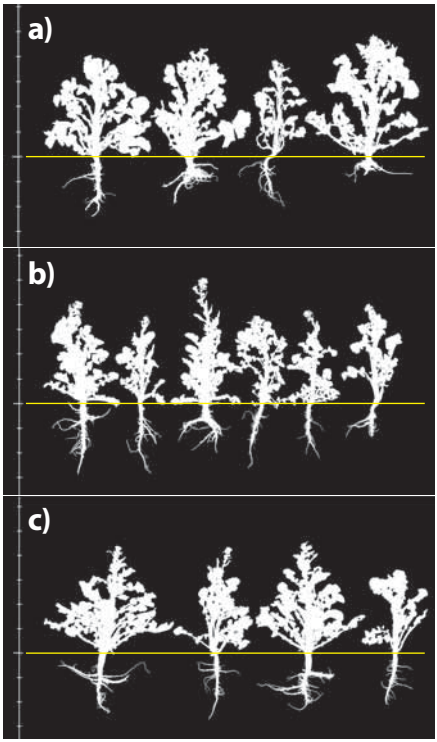
Obr. 80: Průměrné hodnoty výšek nadzemních částí rostlin. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) jsou vyznačeny rozdílnými indexy.

Detailní hodnoty včetně hodnot hmotností sušiny nadzemních částí rostlin a kořene uvádí tabulka 7. Rozdíly následně dokládají ilustrační fotografie rostlin (obr. 81).

Tab. 7: Tabulka uvádí přehled hodnot pro jednotlivé sledované parametry v termínu 7. 4. 2020 Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) jsou vyznačeny rozdílnými indexy.

varianta	výška rostlin (mm)	průměr kořenového krčku (mm)	kořen - suchá hmotnost (g)	nadzemní biomasa - suchá hmotnost (g)
infiltrační rýhy, aplikace kejdy, rozteč řádků 0,45 m	462 a	22,35 a	7,38 a	34,98 a
orba, příprava, rozteč řádků 0,125 m	373 b	15,80 b	4,39 ab	12,71 b
orba, příprava, rozteč řádků 0,45 m	363 b	16,83 b	6,17 bc	17,84 b

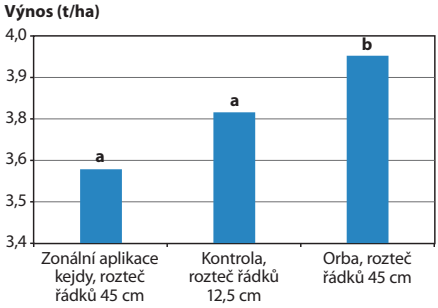
Na přiložených fotografiích můžeme dobře stanovit rozdíly v habitu rostlin, případně mohutnosti a tvaru kořenového systému, které se promítly do hodnot v tabulce 7. Na druhou stranu je potřeba upozornit na deformace kořenů, které jsou patrné na variantě s aplikací kejdy. Lze předpokládat, že na hloubce prokořenění se projevila pravděpodobně intenzita zpracování. Jednou z příčin může být také nepřesnost při navazování jízd, daná úrovní navigace, kdy na sebe přesně nenavazovaly, resp. se nepřekrývaly jednotlivé trajektorie. Na základě těchto poznatků je zapotřebí zdůraznit nutnost technologické kázně, podpořené technickým vybavením strojů.



Obr. 81: Obrázky rostlin odebraných z jednotlivých variant. Varianty: a) zonální aplikace kejdy a rozteč řádků 0,45 m; b) kontrolní varianta s roztečí 0,125 m; c) varianta s orbou a s roztečí řádků 0,45 m.

Hodnocení výnosů semene řepky vycházelo ze záznamu, který byl pořízen během sklizně výnosovým monitorem sklízecí mlátičky. Data ze záznamu byla ošetřena tak, aby byly vyloučeny extrémní hodnoty a chyby ze záznamu. Následně byly stanoveny průměrné hodnoty výnosu semene pro jednotlivé varianty (obr. 82). Statisticky významný nárůst výnosu byl shledán na variantě s orbou a setím na meziřádkovou vzdálenost 0,45 m.

Výnosová ztráta u varianty se zonální aplikací kejdy může být rovněž spojena s charakterem kořenového systému, který byl pravděpodobně ovlivněn technologií zpracování půdy. Rovněž to opět podtrhuje potřebu vysokého stupně kázně při zakládání porostů s omezeným zpracováním půdy. Na druhou stranu se do ekonomického výsledku promítne nižší energetická potřeba během základního zpracování půdy a předseťové přípravy. Úsporu představuje také nižší výsevek.



Obr. 82: Výnos semene řepky pro jednotlivé varianty. Statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) jsou vyznačeny rozdílnými indexy.

II.4.3. Jednofázová aplikace před výsevem kukuřice seté

Ověření jednofázové aplikace kapalných organických hnojiv probíhalo na lokalitě Dubenec. Založení pokusných variant proběhlo 17. 5. 2020 okamžitě po sklizni žita setého sklizeného na produkci biomasy. V rámci přesných polních experimentů byly založeny následující varianty:

1. Kontrola, zpracování strojem pro aplikaci kapalných hnojiv do proudu zeminy bez použití hnojiva. Při aplikaci docházelo k intenzivnějšímu zpracování půdy v místě trajektorií aplikačních radlic (rozteč 45 cm). Hloubka kypření 25 cm.
2. Aplikace digestátu do proudu zeminy (dávka, 30 m^3/ha). Při aplikaci docházelo k intenzivnějšímu zpracování půdy v místě trajektorií aplikačních radlic, za které bylo do proudu zeminy ukládáno kapalné hnojivo (rozteč 0,45 m). Hloubka kypření 0,25 m.
3. Aplikace hovězí kejdy do proudu zeminy (dávka, 30 m^3/ha). Při aplikaci docházelo k intenzivnějšímu zpracování půdy v místě trajektorií aplikačních radlic, za které bylo do proudu zeminy ukládáno kapalné hnojivo (rozteč 0,45 cm). Hloubka kypření 0,25 m.
4. Přímé setí do strniště žita.
5. Strip till - při kypření byla aplikována močovina do hloubky 0,13 a 0,2 m do kypřeného řádku (dávka hnojiva činila 120 kg/ha).

V rámci testování byl ověřován prototyp stroje firmy Farmet a.s. pro aplikaci kapalných hnojiv do proudu zeminy (obr. 83) agregovaný se samochodným zásobníkem organických kapalných hnojiv.

Cílem práce testovaného aplikátoru bylo hlubší uložení a rozmístění kejdy a digestátu do spodních vrstev půdy pro pozdější vývoj kukuřice seté. Na základě půdních odkopů provedených přímo po aplikaci byla patrná lepší schopnost digestátu rozptýlit se v půdním profilu. Dále se jednalo o intenzivnější poškození drnu žita setého, aby byla omezena regenerace rostlin. Organická kapalná hnojiva byla při aplikaci rozptýlena do půdního profilu a nedocházelo ke vzniku zón s výrazným přemokřením půdy (obr. 84).

Obr. 83: V rámci testování byl ověřován prototyp stroje firmy Farmet a.s. pro aplikaci kapalných hnojiv do proudu zeminy (foto Brant).

Obr. 84: Organická kapalná hnojiva byla při aplikaci rozptýlena do půdního profilu a nedocházelo ke vzniku zón s výrazným přemokřením půdy (foto Brant).

Při setí kukuřice seté bylo pod patu ukládáno hnojivo Amofos v dávce 100 kg/ha. Po zasetí byla provedena aplikace přípravku Roundup v dávce 2 l/ha s přidáním smáčedla, dávka jíchy 150 l/ha. Výsevek 96 000 semen kukuřice seté na ha, rozteč řádků 0,75 m.

Dne 18. 6. 2020 proběhlo hodnocení porostů kukuřice seté. Na kontrolní variantě bylo pozorováno dobré prokořenění půdy rostlinami, kořeny se vytvářely ve všech směrech od středu rostliny. Dobře byly rozložené zbytky žita v půdě v důsledku zapravení, na povrchu půdy byla stanovena menší přítomnost zbytků. V důsledku dostatku srážek došlo na variantě k výskytu jednoletých plevelů (zástupci rodů merlík, rdesno apod.). Počet rostlin na ha činil v termínu hodnocení 94 286 kusů.

Varianta s aplikací digestátu rovněž vykazovala dobrý vliv na rozvoj kořenového systému rostlin. Kořeny se u rostlin vyvíjely ve všech směrech od středu rostliny a vykazovaly

hlubší prokořenění vůči kontrolní variantě. I na této variantě byl zaznamenán výskyt jednoděložných plevelných druhů. Počet rostlin na ha činil v termínu hodnocení 86 666 kusů.

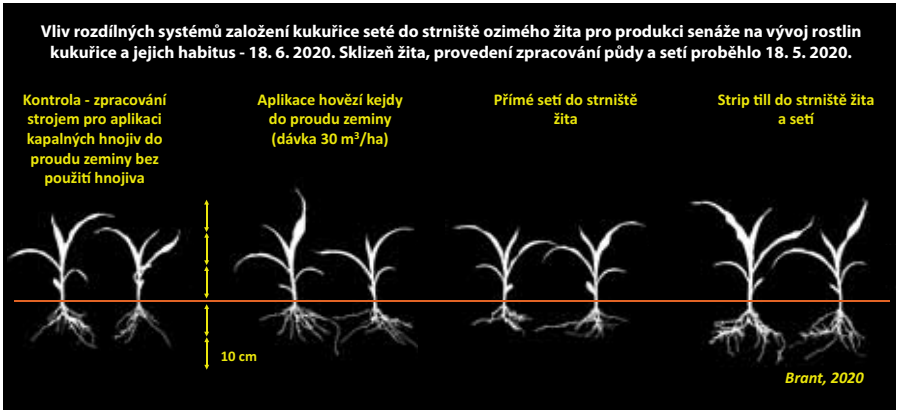
Na plochách s aplikací kejdy bylo stanoveno velmi dobré prokořenění půdy rostlinami, které opět vykazovaly hlubší prokořenění orničního profilu vůči kontrolní variantě. Jako u předchozích variant bylo celoplošné zpracování půdy spojeno s rozvojem plevelů. Počet rostlin na ha činil v termínu hodnocení 94 286 kusů.

U přímého setí byla stanovena vysoká pokryvnost povrchu půdy. Rostliny zde dosahovaly nejnižšího vzrůstu a zaznamenáno bylo omezené pronikání kořenů do spodních vrstev půdy. Ty do značné míry kopírovaly dno výsevní rýhy. Na variantě byl výrazně menší rozvoj jednoděložných plevelů. Počet rostlin na ha činil v termínu hodnocení 94 286 kusů.

Na plochách s provedením strip till byla v meziřádku stanovena pokryvnost půdy, v kypřeném pásu byly rozložené zbytky. Rostliny vykazovaly velmi dobré prokořenění, v době hodnocení jen v kypřeném pásu. Opět zde došlo k nízkému rozvoji jednoděložných plevelů. Počet rostlin na ha činil v termínu hodnocení 95 238 kusů.

Habitus rostlin, včetně kořenového systému, na hodnocených variantách 18. 6. 2020 dokumentuje obrázek 85. Z obrázku je dobře patrný pomalý vývoj rostlin na plochách s přímým setím.

Konečné hodnocení porostů proběhlo 14. 9. 2020. Cílem hodnocení bylo stanovení vlivu technologií na biometrické parametry rostlin a na produkci nadzemní biomasy pro silážní využití. Nejvyšší výnosy suché nadzemní biomasy byly stanoveny na plochách s technologií strip till a s aplikací kejdy do proudu zeminy. Nejnižší poté na plochách s přímým setím a na kontrolní variantě. Sledované parametry dokládá tabulka 8.



Obr. 85: Habitus rostlin na hodnocených variantách 18. 6. 2020.

Tab. 8: Biometrické charakteristiky rostlin kukuřice seté v závislosti na technologii založení porostů po sklizni ozimého žita (14. 9. 2020). Při setí bylo pod patu ukládáno hnojivo Amofos v dávce 100 kg/ha. Po zasetí byla provedena aplikace přípravku Roundup v dávce 2 l/ha s přidáním smáčedla, dávka jíchy 150 l/ha. Výsevek 96 000 semen na ha, rozteč řádků 0,75 m. Odlišné indexy v rámci sloupců dokumentují statisticky průkaznou diferenci mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey).

varianta	výška rostliny (m)	hmotnost palice v čerstvém (kg)	hmotnost rostliny bez palice v čerstvém (kg)	hmotnost celé rostliny v čerstvém (kg)	sušina palice (%)	sušina rostliny bez palice (%)	sušina celé rostliny (%)	výnos čerstvé biomasy (t/ha)	výnos suché biomasy (t/ha)
digestát do proudu zeminy (30 m^3/ha)	2,220 cd	0,160 bc	0,299 b	0,459 c	37,6 ab	22,1 a	27,5 a	39,3 bc	10,9 abc
kejda do proudu zeminy (30 m^3/ha)	2,162 bc	0,149 abc	0,280 b	0,429 bc	36,0 a	24,1 b	28,3 a	41,3 bc	11,7 bc
kontrola - zpracování bez aplikace organických hnojiv	1,935 a	0,104 a	0,202 a	0,305 a	34,9 a	22,2 a	26,5 a	27,9 a	7,4 a
přímé setí	2,062 ab	0,134 ab	0,210 a	0,344 ab	36,6 ab	22,0 a	27,6 a	33,0 ab	9,2 ab
strip till (hnojení při strip till -120 kg/ha močovina)	2,309 d	0,190 c	0,284 b	0,474 c	40,9 b	25,3 b	31,5 b	45,1 c	14,3 c

II.5. Využití tekutých statkových a kapalných organických hnojiv při pěstování rostlin a ekologická rizika

Vyvíjené technologické postupy pro aplikaci a zapravení tekutých statkových a kapalných organických hnojiv byly ověřovány ve výživářských pokusech na stanovišti v Praze-Ruzyni (řepařská výrobní oblast; 340 m n. m.; roční úhrn srážek 472 mm; průměrná roční teplota 7,9 °C; hnědozem na spraši) v letech 2018–2020. Byl sledován vliv různého uložení a zapravení hnojiv na případná ekologická rizika jako znečištění ovzduší emisemi amoniaku a oxidu uhličitého nebo znečištění vod vyplavením nitrátů. Distribuce živin v půdě a jejich dostupnost pro rostliny a vliv na výnos byl sledován v polním pokusu s kukuřicí na zrno.

II.5.1. Vliv uložení hnojiv na emise NH_3 a CO_2

Tekutá statková a kapalná organická hnojiva jsou aplikována na zemědělskou půdu během roku v pěti hlavních obdobích (kap.II.1.1.4). Z hlediska plynných emisí jsou nejvíce rizikové aplikace v pozdním jaru a především v letním období, kdy je půda prohřátá a mikrobiálně aktivní. Zaměřili jsme se proto na sledování plynných emisí v období přihnojování do porostů a po aplikaci na slámu po sklizni obilnin.

Obr. 86: Měření volatilizace amoniaku (foto Kusá).

Pro měření volatilizace amoniaku byl vzduch z definované plochy odsávaný pomocí přístroje LI-COR 8100 zachycen v 2% roztoku kyseliny borité, kde byla následně stanovena koncentrace NH_4-N kolorimetricky na průtokovém analyzátoru SAN^{PLUS} System (SKALAR) (obr. 86).

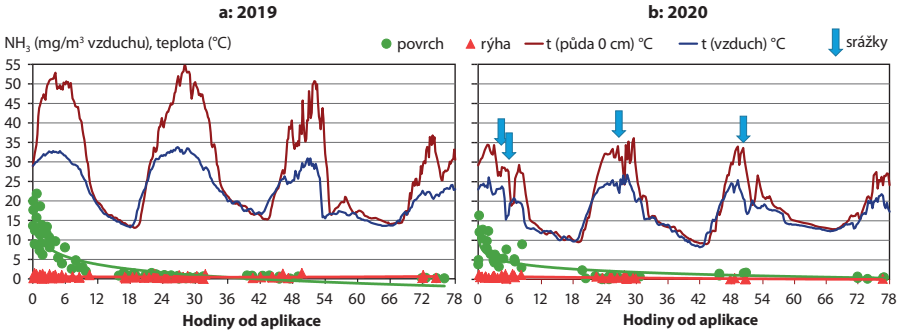
II.5.1.1. Emise amoniaku po přihnojení digestátem do porostu

Během měsíce června byly sledovány emise NH_3 po přihnojení porostu kukuřice ve fázi 6. listu digestátem aplikovaným hadicemi na povrch půdy bez dalšího zapravení nebo do předem připravené 10 cm hluboké horizontální rýhy, kde při aplikaci došlo k jeho překrytí zeminou. Digestát byl aplikován v dávce 80 kg N_{tot}/ha, což v jednotlivých letech představovalo objem 16–20 m^3/ha, dle obsahu dusíku (tab. 9).

Tab. 9: Vlastnosti digestátů použitých pro přihnojení kukuřice.

rok	N_{tot} (g/l)	NH_4-N (g/l)	Podíl NH_4-N (%)	sušina (g/l)	pH
2018	4,42	3,13	70,81	52,5	8,0
2019	4,99	3,56	71,34	45,5	7,8
2020	3,93	2,42	61,58	44,1	7,8

Intenzita volatilizace záleží především na půdních a povětrnostních podmínkách, vlastnostech hnojiva a způsobu aplikace. Měření probíhalo ve všech letech na jednom stanovišti po stejné předplodině, na půdě s neutrální reakcí, čímž byl částečně omezen vliv vlastností půdy. Všechny testované digestáty měly srovnatelné pH a v podílu amonného dusíku na celkovém obsahu se lišily nejvýše o 10 % (tab. 9). Převažující byl tedy vliv povětrnostních podmínek ročníku a především způsobu aplikace digestátu. Podmínky prvních dvou let podporovaly emise amoniaku: půda byla proschlá (vlhkost 10–12 %, digestát se pomalu vsakoval, teploty vzduchu a především půdy byly vysoké, na povrhu půdy přesahovaly v odpoledních hodinách roku 2019 i 50 °C (obr. 87a). Podmínky roku



Obr. 87: Koncentrace amoniaku ve vzduchu po přihnojení kukuřice digestátem.

2020 byly zcela opačné a měly omezit ztráty amoniaku: do vlhčí půdy (18 %) se digestát lépe vsakoval, půda byla až o 20 °C chladnější a v průběhu třídenního měření několikrát přišly srážky (3–7 mm) následované ochlazením vzduchu i půdy o několik stupňů Celsia.

Bez ohledu na podmínky ročníku byly vždy pozorovány stejné tendence. Jak vyplývá z obrázku 87 dokumentujícího dva nejvíce odlišné ročníky, aplikace digestátu do horizontální rýhy s překrytím zeminou téměř eliminovala úniky amoniaku (zjištěné koncentrace v ovzduší nepřesahovaly 2 mg NH_3/m^3). Při aplikaci hadicemi na povrch do porostu byly vždy úniky amoniaku nejvyšší bezprostředně po aplikaci a během následujících 12 hodin rychle klesaly až na měřitelnou mez. Nebylo zjištěno významné zvýšení emisí amoniaku při zahřívání půdy další dny, ani opětovné zvýšení emisí NH_3 při následném vypařování vody po srážkách. K nižším ztrátám amoniaku v roce 2020 kromě příznivých povětrnostních podmínek přispěl i nižší obsah amonného dusíku v aplikovaném digestátu.

II.5.1.2. Emise amoniaku po aplikaci digestátu a kejdy na slámu

V letním období byly porovnávány emise amoniaku po aplikaci digestátu a kejdy na strniště (a slámu) po ozimé pšenici třemi různými způsoby:

- povrchová aplikace hadicemi bez zapravení
- povrchová aplikace hadicemi s následným zapravením podmítkou (disky)
- aplikace do předem připravené horizontální rýhy, kde při aplikaci došlo k překrytí zeminou.

V roce 2018 byla zvolena běžná dávka 30 m^3/ha digestátu, jíž v přepočtu na celkový obsah dusíku odpovídalo 28 m^3 kejdy. V dalších letech byla hnojiva aplikována ve stejné dávce celkového dusíku, což odpovídalo objemu 19–23 m^3/ha. Byla používána hnojiva z různých zemědělských podniků a BPS, aby mezi porovnávanou kejdou a digestátem byly co nejmenší rozdíly v obsahu sušiny ovlivňující vsakování i dalších faktorů rozhodujících o volatilizaci amoniaku (obsah N_{tot} a NH_4-N, pH; tab. 10).

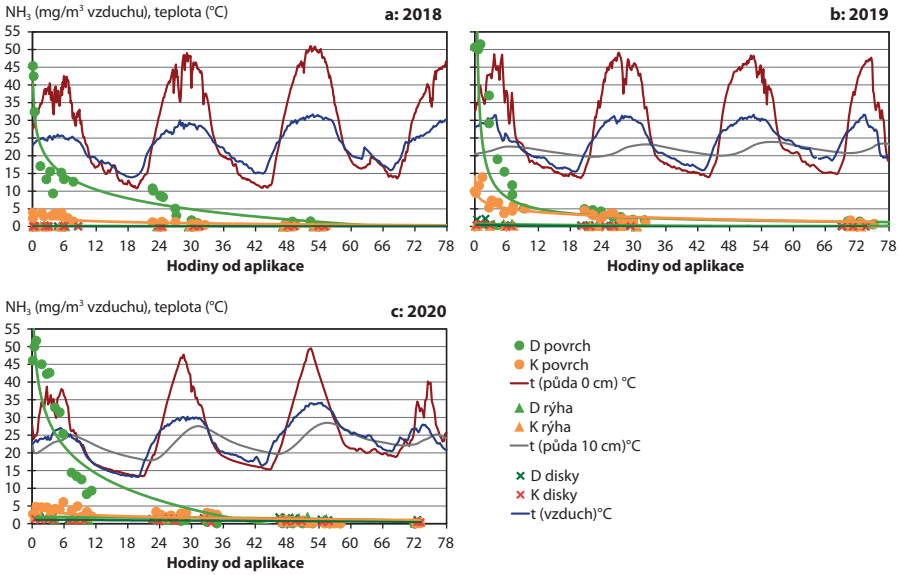
Tab. 10: Vlastnosti hnojiv aplikovaných na slámu.

rok	hnojivo	N_{tot} (g/l)	NH_4-N (g/l)	podíl NH_4-N (%)	sušina (g/l)	pH
2018	digestát	4,14	3,23	77,83	59,0	7,7
	kejda	5,06	3,80	75,10	64,6	6,9
2019	digestát	6,42	4,02	62,62	78,9	8,4
	kejda	6,67	4,49	67,32	65,9	7,1
2020	digestát	5,31	4,10	77,21	46,2	8,1
	kejda	5,77	4,06	70,36	54,2	6,9

Z hlediska povětrnostních podmínek nebyly mezi jednotlivými ročníky rozdíly, jež by mohly významněji ovlivnit emise amoniaku po aplikaci hnojiv. V průběhu měření bylo vždy slunečné počasí s denními teplotami kolem 30 °C a beze srážek. V roce 2018 byla sláma sebraná, v následujících letech byla ponechána, ale její množství se lišilo podle výnosu předplodiny (obr. 88). Tuhé frakce hnojiv ulpěly na posklizňových zbytcích a nebyly v kontaktu s půdou, ale tento jev nebyl významný vzhledem k jejich malému podílu v hnojivech a mezi jednotlivými ročníky nebyly zjištěny podstatné rozdíly v emisích amoniaku (obr. 89). V roce 2020 měla půda před aplikací hnojiv vyšší vlhkost a hnojiva se lépe (rychleji) vsakovala, což by mělo vést ke snížení emisí amoniaku. Vyšší vlhkost znamenala i vyšší mikrobiální aktivitu, jež se naopak projevila zvýšením emisí, nejen amoniaku.

Porovnání různých způsobů aplikace opět potvrdilo, že překrytí zeminou výrazně eliminuje úniky amoniaku, neboť je omezen kontakt hnojiva s ovzduším. Mezi aplikací do připravené rýhy a hadicemi s následným zapravením podmítkou (zadiskováním) byl z hlediska emisí amoniaku minimální rozdíl. Velice významný dopad však mají tyto dva odlišné postupy na fyzikální vlastnosti půdy. Následné zapravení povrchově aplikovaných hnojiv je spojeno s přejezdy zemědělské techniky po provlhčené až zkašovatělé půdě, což vede např. k poškození půdní struktury, vzniku technogenního zhutnění a dalším efektům popsaným v předchozích kapitolách této metodiky. Významnější koncentrace amoniaku v ovzduší byly ve všech letech zjištěny pouze v případě povrchové aplikace bez zapravení, jenž by v praxi neměl nastat, neboť dle platné legislativy musejí být hnojiva s poměrem C : N < 10 zapravena do půdy nejpozději do 24 hodin, pokud na pozemku není porost. V případě porostu se počítá s alespoň částečným zachycením amoniaku v ovzduší nadzemní hmotou rostlin, což sníží výsledné emise z hnojené plochy.

Obr. 88: Aplikace digestátu a kejdy po sklizni obilnin (foto Kusá).



Obr. 89: Koncentrace amoniaku ve vzduchu po různé aplikaci digestátu a kejdy na slámu.

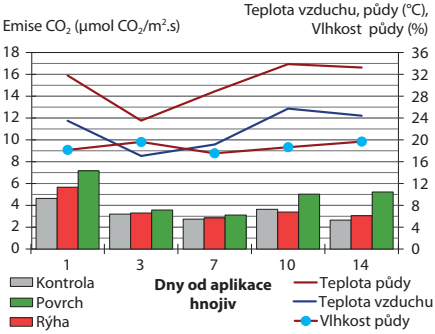
Ze srovnání obou hnojiv vyšla lépe, dle teoretických předpokladů, kejda s nižší hodnotou pH a menším podílem dusíku v amonné formě, která se do suché půdy (2018 a 2019) vsakovala mnohem rychleji než digestát, ve vlhčím roce 2020 nebyl rozdíl ve vsakování podstatný. Koncentrace amoniaku v ovzduší po aplikaci kejdy v letech 2018 a 2020 byly 9–10× nižší než po aplikaci digestátu, v roce 2019 pouze pětkrát, pravděpodobně kvůli podílu amonného dusíku, který byl tentokrát v kejdě vyšší než v digestátu.

II.5.1.3. Emise CO_2 po aplikaci digestátu a kejdy

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, posklizňové zbytky včetně kořenů a v ostatních případech organické látky v půdě. Mineralizační procesy v půdě jsou doprovázeny emisemi CO_2, které byly sledovány po přihnojení porostu kukuřice v červnu i po různých způsobech aplikace hnojiv na slámu.

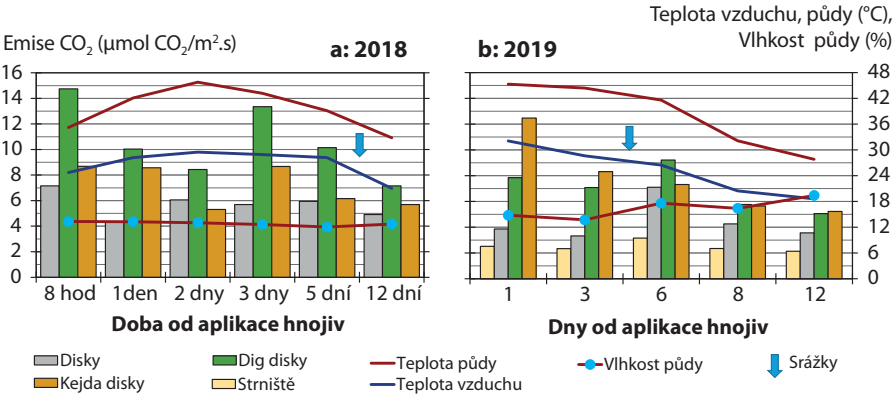
V roce 2020 přišly 6–8 hodin po přihnojení kukuřice digestátem srážky, které podpořily zasakování digestátu do půdy. Další srážky v noci (celkem 7,3 mm) snížily provzdušnění půdy nakypřené při tvorbě horizontální rýhy. Digestát na povrchu a v povrchové vrstvičce půdy podpořil činnost půdní mikroflóry a tím emise CO_2 z půdy (obr. 90) více než aplikace hnojiva spojená s tvorbou horizontální rýhy. Mezi jednotlivými měřeními emisí

se opakovaly srážky s různou intenzitou. Pokles teploty během prvního týdne omezil respiraci půd na všech sledovaných variantách. Se stoupající teplotou a aktivitou půdní mikroflóry byl zjištěn nejvyšší nárůst u aplikace digestátu na povrch půdy, který se zároveň i nejrychleji prohříval.

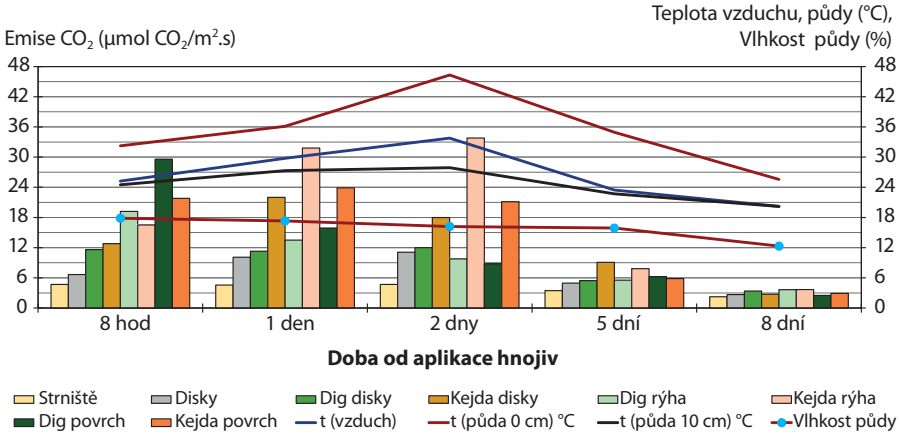


Obr. 90: Emise CO_2 po přihnojení porostu kukuřice digestátem v roce 2020.

Při aplikacích kejdy a digestátu na strniště po obilninách byly v prvních letech sledovány emise CO_2 pouze u způsobu nejvíce rozšířeného v praxi s následným zapravením do půdy. Při samotném zpracování půdy byly zjištěny nižší emise, než v kombinaci s organickým hnojením (obr. 91). Přítomnost digestátu v roce 2018 zvýšila ztráty CO_2 více než 2×. Vliv kejdy nebyl tak významný a odezněl po čtyřech dnech, kdy emise CO_2 klesly na úroveň zpracované půdy bez hnojení. Kombinace aplikace digestátu se současným plošným zpracováním půdy k jeho zapravení se projevila jako nejrizikovější z hlediska emisí CO_2 z půdy. V následujícím roce byl vývoj v prvních dnech po aplikaci opačný. Aplikace kejdy a její zapravení zvýšilo emise CO_2 z půdy na trojnásobek a digestátu pouze na dvojnásobek hodnoty zjištěné u zpracování půdy bez hnojení. Příčinou může být malý průnik digestátu do půdy, který prosákl jen do povrchové ani ne 1 cm vrstvičky, vytvořil škraloup, který proschnul a odloučil se od povrchu půdy. Mezi 3. a 6. dnem od aplikace spadlo 40 mm srážek, které provlhčily škraloup s digestátem a ten se s pomocí srážek dostal do půdy, kde teprve nyní začal intenzivněji ovlivňovat půdní mikroflóru. V této době emise CO_2 u varianty s digestátem převýšily variantu s kejdou. V následujících dnech s poklesem teplot vzduchu i půdy klesaly emise CO_2 u všech zpracovaných variant. I po dvanácti dnech byl patrný rozdíl mezi půdou zpracovanou po hnojení, pouze zpracovanou a strništěm bez zpracováním, které si po celou dobu udržovalo nejnižší a takřka



Obr. 91: Emise CO_2 po zapravení povrchově aplikované kejdy a digestátu.



Obr. 92: Emise CO_2 po různých způsobech aplikace a zapravení digestátu a kejdy (2020).

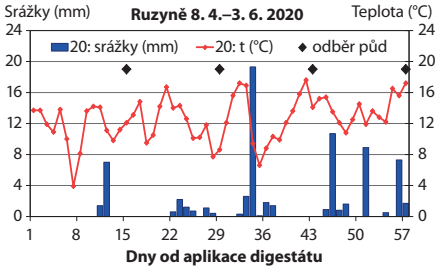
konstantní hodnotu, pouze 6. den sledování bylo zjištěno mírné zvýšení emisí CO_2 jako následek intenzivních srážek.

Při porovnání emisí CO_2 u všech sledovaných způsobů aplikace digestátu a kejdy byly v prvních hodinách po aplikaci zjištěny nejvyšší emise CO_2 po povrchové aplikaci hadicemi (obr. 92). Tento efekt do druhého dne odezněl, s průsakem hnojiv do půdy. Nejvyšší emise CO_2 vyvolala příprava rýhy a následná aplikace hnojiv. Nutné je však upřesnit, že u tohoto technologického postupu není zpracovávána celá plocha, ale pouze pásy v místě budoucí aplikace hnojiv. Měření emisí bylo prováděno v místě zpracování. Výsledné emise z celé plochy jsou pak ve skutečnosti nižší, neboť je třeba zohlednit minimální emise z nezpracovávané půdy. S výjimkou prvních hodin od aplikace byly u všech technologií zjištěny vyšší emise CO_2 při hnojení kejdou než digestátem. Totéž popsali Maucieri a kol. (2017), Möller a Stinner (2009; in Rosace a kol., 2020), kteří přisuzují nižší emise CO_2 po aplikaci digestátu ve srovnání se surovinami (využitelnými jako hnojiva) před digescí, nepřítomností labilních frakcí organických látek po anaerobní digesci. Výsledky získané v roce 2018 jsou v rozporu s tímto poznatkem, ale další měření jej potvrzují. S poklesem teploty klesala i aktivita půdní mikroflóry a s ní emise CO_2, po osmi dnech se emise CO_2 u všech variant přiblížily na úroveň nezpracované půdy.

II.5.2. Distribuce živin v půdě po aplikaci digestátu

Obsah draslíku v tekutých organických hnojivech je přibližně stejný jako obsah dusíku, který je zpravidla ze tří čtvrtin a amonné formě. Jednomocné kationty jsou sorbovány na půdní komplex, a proto v půdě málo pohyblivé. Amonný dusík podléhá za vhodných podmínek nitrifikaci a tak se dostane hlouběji do půdy, ke kořenům rostlin. Draslík se však z velké část kumuluje v blízkosti místa aplikace. Při povrchové aplikaci bez zapravení vede jeho vysoká koncentrace k rozrušení vodostálosti půdních agregátů v povrchové vrstvě, jež je rozhodující z hlediska vsakování srážkové vody do půdy.

Na stanovišti v Praze-Ruzyni byl sledován horizontální i vertikální pohyb živin po aplikaci digestátu v dávce 120 kg N/ha (tab. 11) do připravené horizontální rýhy hluboké 10 cm. V pravidelných časových intervalech byl stanoven obsah minerálního dusíku a metodou KVK-UF obsah živin (P, K, Ca, Mg) v půdních vrstvách 0–5, 5–10, 10–20 a 20–30 cm v místě aplikace a stranou ve vzdálenostech 10 a 20 cm. Mezi jednotlivými odběry přicházely srážky různé intenzity (obr. 93), které mohly posunout živiny pohyblivé v půdě hlouběji do půdního profilu. Nejintenzivnější srážky byly v pozdějším období (mezi 4. a 6. týdnem: 25,5 mm, mezi 6. a 8. týdnem 32 mm), kdy se již začal projevovat odběr živin rostlinami kukuřice: po šesti týdnech byla ve fázi 3. listu a po osmi týdnech ve fázi 6. listu.



Obr. 93: Povětrnostní podmínky v průběhu sledování distribuce živin v půdě po aplikaci digestátu.

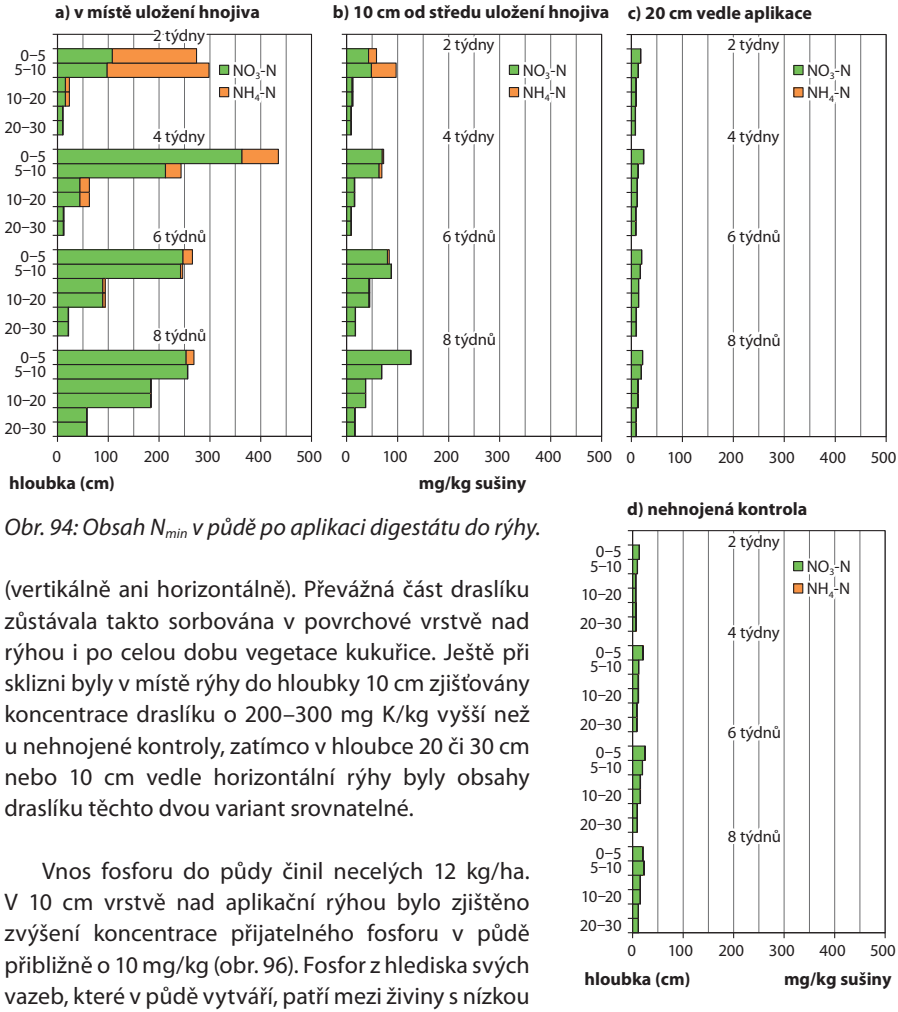
Tab. 11: Obsah živin v digestátu aplikovaném do horizontální rýhy a vnos živin do půdy.

	N_{tot}	NH_4-N	P	K	Ca	Mg
obsah (g/l)	3,93	2,42	0,39	6,02	1,63	0,40
vnos (kg/ha)	120,0	73,89	11,91	183,8	49,77	12,21

Koncentrace živin (N_{min}, K, P) ve sledované části půdního profilu jsou znázorněny na obrázcích 94–96. Jak vyplývá z tabulky 11, významný byl pouze vnos dusíku a draslíku do půdy. Z obrázků je patrné zvýšení koncentrace živin (N, K, P) nejen ve vrstvě 5–10 cm, kam byl digestát uložen, ale i v povrchové 5 cm vrstvě, neboť digestát prosákl zeminu zakrývající rýhu a vzlínal k povrchu. Zjištěné minimální emise amoniaku (kap. II.5.1.) potvrdily, že nedošlo k průsaku digestátu až na povrch půdy. Obsah živin v průběhu sledování byl rovněž ovlivněn mineralizací živin z půdy. Vnos hořčíku a vápníku digestátem byl velice nízký vzhledem k jejich obsahům v půdě. Koncentrace jejich výměnných frakcí nebyla podstatně zvýšena ani v místě aplikační rýhy, proto zde data nejsou prezentována.

U minerálního dusíku (obr. 94a) byl dva týdny po aplikaci ještě zjištěn většinový podíl dusíku v amonné formě, který byl postupně nitrifikován a v této mobilní formě byl opakovanými srážkami transportován hlouběji do půdy ke kořenům rostlin. Horizontální posun v půdě nebyl významný ani u této relativně pohyblivé živiny. Ve vzdálenosti 10 cm vedle aplikační rýhy (obr. 94b) bylo ve vrstvě do 10 cm zjištěno sedminásobné zvýšení koncentrace N_{min} ve srovnání s nehnojenou kontrolou (v místě rýhy to bylo 22× více) a ve vzdálenosti 20 cm byly nalezeny obsahy N_{min} na úrovni nehnojené kontroly (obr. 94c, d).

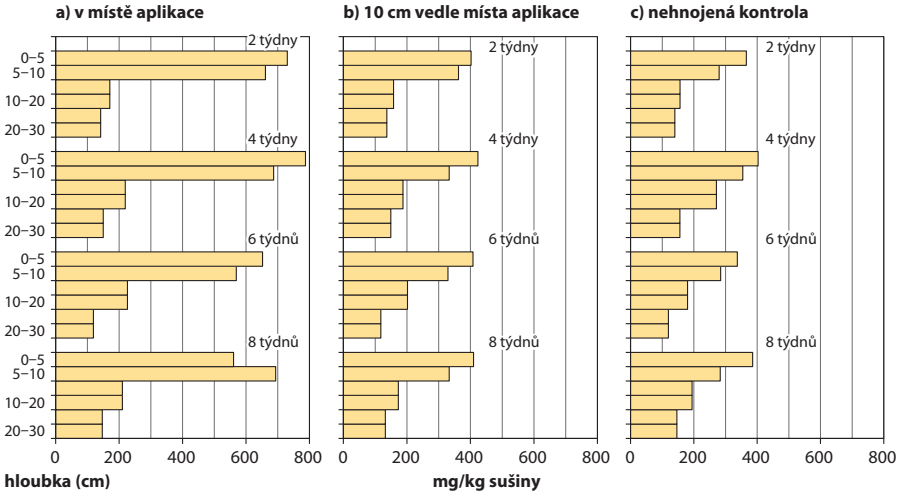
V digestátu bylo do půdy vneseno ze všech živin nejvíce draslíku (obr. 95), který byl po aplikaci zakoncentrován v horních 10 cm půdy v místě aplikace. Vzhledem k jeho vlastnostem a vysoké kationtově-výměnné kapacitě půdy (230 mmol(+)/kg) i navzdory opakovaným srážkám (celkem 72,5 mm) nedošlo k jeho posunu v půdě v žádném směru



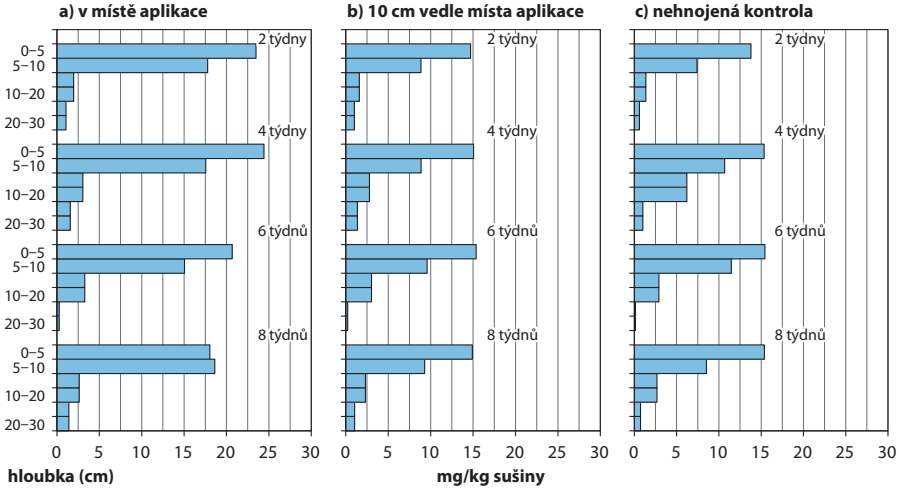
Obr. 94: Obsah N_{min} v půdě po aplikaci digestátu do rýhy.

(vertikálně ani horizontálně). Převážná část draslíku zůstávala takto sorbována v povrchové vrstvě nad rýhou i po celou dobu vegetace kukuřice. Ještě při sklizni byly v místě rýhy do hloubky 10 cm zjišťovány koncentrace draslíku o 200–300 mg K/kg vyšší než u nehnojené kontroly, zatímco v hloubce 20 či 30 cm nebo 10 cm vedle horizontální rýhy byly obsahy draslíku těchto dvou variant srovnatelné.

Vnos fosforu do půdy činil necelých 12 kg/ha. V 10 cm vrstvě nad aplikační rýhou bylo zjištěno zvýšení koncentrace přijatelného fosforu v půdě přibližně o 10 mg/kg (obr. 96). Fosfor z hlediska svých vazeb, které v půdě vytváří, patří mezi živiny s nízkou pohyblivostí, proto se ve sledovaném období neposunul výrazněji z místa aplikace.



Obr. 95: Obsah draslíku v půdě po aplikaci digestátu do horizontální rýhy.



Obr. 96: Obsah fosforu v půdě po aplikaci digestátu do horizontální rýhy.

II.5.3. Využití různých způsobů aplikace digestátu při pěstování kukuřice

Vliv různých způsobů aplikace a dávek digestátu byl ověřován v pokusu s kukuřicí na zrno v letech 2018–2020. Realizovány byly dvě varianty s aplikací celé dávky dusíku (120 kg N/ha) v digestátu 2–3 týdny před setím do připravené horizontální rýhy v různé vzdálenosti od řádku a dvě varianty s kombinací minerálního hnojení (40 kg N/ha) při setí a přihnojení digestátem (80 kg N/ha) ve fázi 6. listu opět do horizontální rýhy nebo hadicemi na povrch (tab. 12). Dle celkového obsahu dusíku (tab. 13) dosahovaly aplikované objemy digestátu 24–30 m^3/ha, v kombinaci s minerálním hnojením 16–20 m^3/ha. Kukuřice na zrno (DKC 3511, DKC 3787) byla zaseta na přelomu dubna a května na pozemku po ozimé pšenici. Ve fázi 10. listu (v polovině června) byly odebírány vzorky rostlin ke sledování nárůstu nadzemní hmoty a odběru živin a vzorky půd ke sledování rozdělení živin v půdním profilu. Při sklizni (první polovina září) byl stanoven zvlášť výnos a odběr živin zrnem a zbytkem rostlin, residuální obsah živin v půdě v 5 až 10 cm vrstvách.

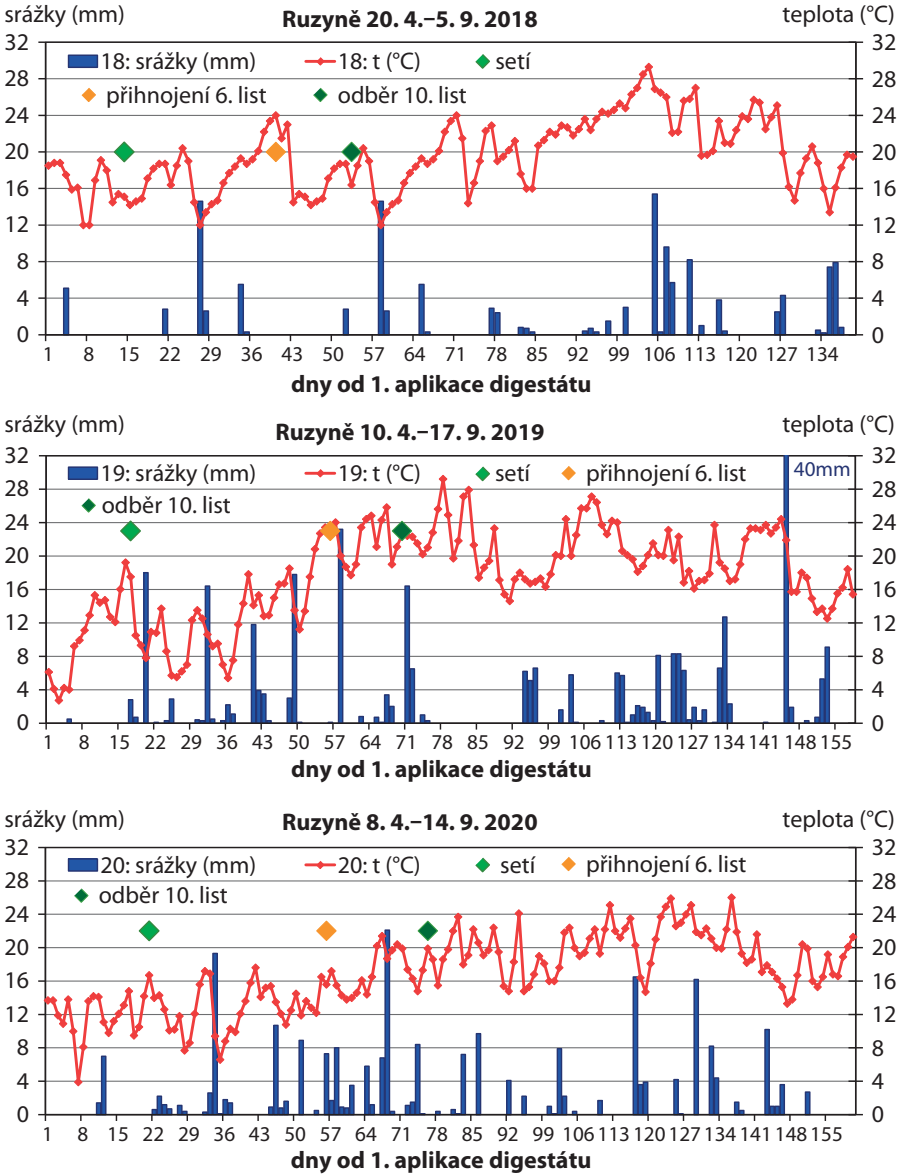
Tab. 12: Varianty polního pokusu s různým hnojením kukuřice.

hnojení	2–3 týdny před setím		při setí		ve fázi 6. listu	
varianta	hnojivo	uložení	hnojivo	uložení	hnojivo	uložení
kontrola	-		-		-	
10-10	digestát 120 kg N/ha	horizontální rýha: 10 cm pod povrch, 10 cm od řádku, po jedné straně				
25-10	digestát 120 kg N/ha	horizontální rýha: 10 cm pod povrch, 25 cm od řádku, po jedné straně				
V25-10			Močovina 40 kg N/ha	plošně, zapraveno pod povrch	digestát 80 kg N/ha	horizontální rýha: 10 cm pod povrch, 25 cm od řádku po obou stranách
V25-P			Močovina 40 kg N/ha	plošně, zapraveno pod povrch	digestát 80 kg N/ha	na povrch, 25 cm od řádku po obou stranách

Tab. 13: Charakteristika digestátů použitých v pokusech se zrnovou kukuřicí.

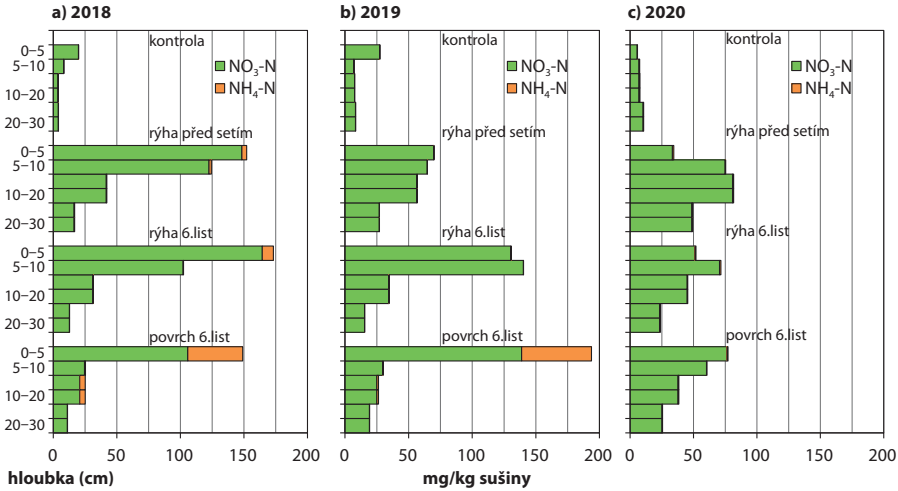
rok	N_{tot}	NH_4-N	P	K	Ca	Mg	sušina	pH
	(g/l)							
2018	4,42	3,13	0,50	4,08	1,45	0,42	52,5	8,0
2019	4,99	3,56	0,46	4,75	1,67	0,43	45,5	8,0
2020	3,93	2,42	0,39	6,02	1,63	0,40	44,1	7,8

Všechny ročníky byly mimořádně teplé (průměrná denní teplota v průběhu vegetace 1,0–2,5 °C nad dlouhodobým normálem stanoviště), ale srážkově velice odlišné (obr. 97), což se projevilo především na rozdělení živin v půdě a jejich dostupnosti pro rostliny.

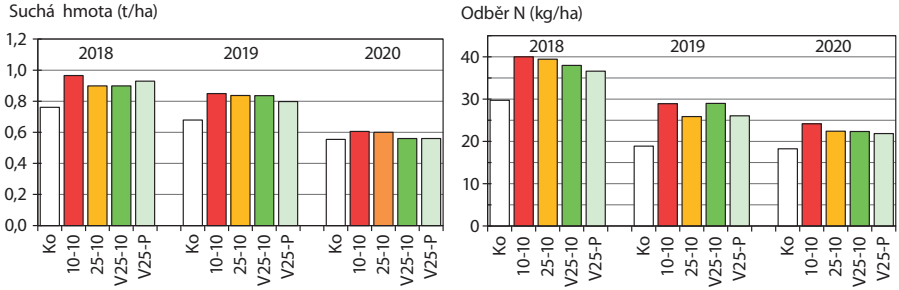


Obr. 97 Povětrnostní podmínky v průběhu vegetace kukuřice.

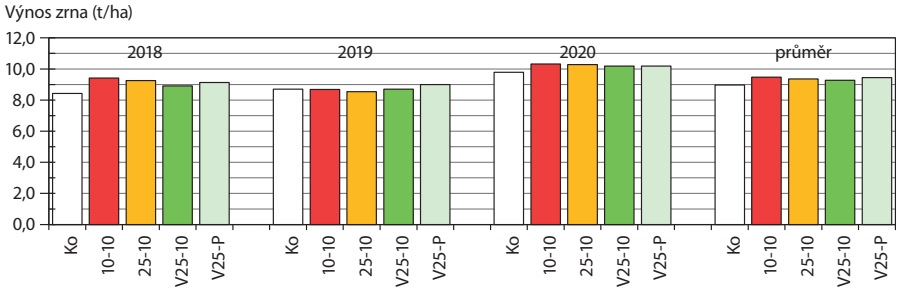
Způsob aplikace digestátu ovlivnil dostupnost živin a jejich odběr rostlinami především v roce 2018, kdy během vegetace kukuřice spadlo méně než 50 % dlouhodobého srážkového normálu pro toto období. Po povrchové aplikaci se digestát pomalu vsakoval a zůstával na povrchu proschlé půdy i několik hodin, při aplikaci do rýhy vzlínal k povrchu.



Obr. 98: Rozdělení N_{min} v půdě v místě aplikace (odběr byl proveden ve fázi 10. listu).



Obr. 99: Nadzemní hmota rostlin a příjem dusíku ve fázi 10. listu po různém způsobu aplikace digestátu.



Obr. 100: Výnos zrna kukuřice po různém způsobu aplikace digestátu.

Ve fázi 10. listu byla zjištěna nejvyšší koncentrace živin v neprokořeněné povrchové 5 cm vrstvě půdy a živiny nemohly být dočasně využity rostlinami. Pozitivní byla skutečnost, že 95 % minerálního dusíku bylo v nitrátové, tedy mobilní formě, která byla po srážkách posunuta do půdního profilu. V následujících letech byla půda při aplikaci hnojiv vlhčí a nebyly tak velké problémy s jejich vsakováním či vzlínáním. Po setí i přihnojení přicházely opakované srážky. Přesto byla ve fázi 10. listu i v roce 2019 zjištěna nejvyšší koncentrace N_{min} v povrchové vrstvě. Výraznější posun do hlubších vrstev půdy byl zjištěn až v roce 2020, kdy byly do fáze 10. listu zaznamenány nejvyšší srážky ze všech sledovaných let. Zvýšené koncentrace byly ve vlhčích ročnících zjištěny i v paralelním odběru 10 cm od místa aplikace, což svědčí o zpřístupnění dusíku rostlinám. Vliv povětrnostních podmínek ročníků na rozdělení N_{min} v půdě v místě aplikace ilustruje obrázek 98.

V počátečních fázích vývoje rostlin nebyly rozdíly mezi jednotlivými způsoby aplikace digestátu výrazné. Bez ohledu na podmínky ročníku byl zjištěn mírně vyšší nárůst nadzemní hmoty a příjem dusíku při aplikaci do horizontální rýhy blíže k řádku (var. 10-10). Tento způsob aplikace nejvíce přiblížil hnojivo kořenům rostlin, což je důležité zejména v suchých letech (obr. 99). Nízké teploty na jaře 2020 limitovaly růst rostlin, které v počátečních fázích nedokázaly využít dostatek přístupného dusíku a příznivé srážkové podmínky. Ty se projevily až ve sklizni nejvyššími výnosy zrna za sledované období (obr. 100). Různé způsoby aplikace digestátu nezvýšily významně výnosy zrna ve srovnání s nehnojenou kontrolou (v průměru o 0,5 t/ha) a vzájemné rozdíly byly ještě menší. Pravděpodobně i proto, že má kukuřice hluboké kořeny a byla schopná vybrat dusík po předplodinách i z hlubších vrstev půdy.

II.5.4. Shrnutí a doporučení

Poznatky z víceletého porovnání různých způsobů aplikace a zapravení tekutých statkových a kapalných organických hnojiv:

- povrchová aplikace hadicemi bez zapravení,
- povrchová aplikace hadicemi s následným zapravením podmítkou (disky),
- aplikace do předem připravené horizontální rýhy, kde při aplikaci došlo k překrytí zeminou,

lze shrnout do několika základních bodů:

- Z hlediska omezení emisí amoniaku bylo účinné jakékoli překrytí hnojiv zeminou – aplikace do připravené rýhy i následné zapravení. Každý způsob měl však vedlejší účinky ne vždy příznivé pro půdu.
- Významné emise amoniaku byly zjištěny pouze po povrchové lokální aplikaci těchto hnojiv na povrch půdy bez zapravení. Nejvyšší byly bezprostředně po aplikaci a rychle klesaly v průběhu 12 hodin. Jejich výše byla silně závislá na povětrnostních podmínkách a vlhkosti půdy, která ovlivňovala rychlost vsakování hnojiv do půdy.
- Emise amoniaku byly vždy vyšší po aplikaci digestátu než kejdy, což bylo dáno jeho vyšší hodnotou pH, většinou i vyšším podílem amonného dusíku a téměř vždy pomalejším vsakováním do půdy, tedy delší dobou kontaktu hnojiva s ovzduším.
- Všechny sledované způsoby aplikace kejdy a digestátu vyvolaly zvýšení emisí CO_2.

- U povrchové aplikace po několika hodinách emise CO_2 klesaly s průsakem hnojiv do půdy.
- Při aplikaci do rýhy nebo následném zapravení povrchově aplikovaných hnojiv zvýšilo aktivitu půdní mikroflóry jak dodání amonného dusíku, tak provzdušnění půdy při jejím zpracování. Emise CO_2 u těchto technologií byly vyšší a vliv agrotechnického zásahu dlouhodobější.
- K výraznému snížení emisí CO_2, téměř až na úroveň nezpracovaného strniště, došlo při poklesu teploty. Z hlediska zachování organické hmoty v půdě je proto žádoucí omezit aplikaci hnojiv a zpracování půdy při vysokých teplotách, obzvláště v kombinaci s provlhčenou půdou.
- Tekutá statková a kapalná organická hnojiva jsou především zdrojem dusíku a draslíku, vnos fosforu a zejména hořčíku a vápníku těmito hnojivy je nízký.
- Dusík je v organických tekutých hnojivech především v amonné formě. Jako jednomocný kation je sorbován, a proto je půdě málo pohyblivý. Za vhodných podmínek (teplota, vlhkost půdy) je přeměněn na nitrátovou formu, která je srážkovou vodou transportována hlouběji do půdy ke kořenům rostlin.
- Draslík jako K^+ je vázán na půdní komplex a v půdě je málo pohyblivý, zůstává zakoncentrován v místě aplikace.
- V suchých letech, nebo při aplikaci digestátu na povrch půdy, který prosychá, může nedostatek vody limitovat přeměny dusíku a ten pak zůstává dlouhou dobu v amonné formě. Při povrchové aplikaci je tak nedostupný pro rostliny podobně jako draslík.
- Zejména v suchých letech je důležité aplikovat tekutá statková a kapalná organická hnojiva do půdy, např. do připravené rýhy, ne na povrch. Dostanou se tak do oblasti s vyšší vlhkostí a vyšší aktivitou půdní mikroflóry a zároveň blíže kořenům, takže dodané živiny budou efektivněji využity rostlinami.

III. Srovnání novosti postupů

Předkládaná metodika poskytuje primárně informace o nových postupech cílené zonální aplikace kejdy a digestátu do půdy získané při řešení projektu a předkládá možnosti jejich implementace do zemědělské praxe. Ve své úvodní části se věnuje specifikaci stávajících technických řešení a technologických postupů aplikace kapalných organických hnojiv. Detailně jsou v metodice popsány principy nových technologií, které jasně dokládají originalitu vyvinutých pracovních nástrojů a strojů. Výzkumem získané teoretické a praktické zkušenosti jsou následně aplikovány do vývoje a modifikace nových agrotechnických postupů. Novost postupů je jednoznačně deklarována vznikem nových, sériově vyráběných, strojů, které jsou cíleně vyvíjeny pro systémy precizního zonálního ukládání kapalných organických hnojiv do půdy za účelem zvýšení efektivity pěstebních systémů a snížení negativního vlivu zemědělství na životní prostředí.

IV. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika zahrnuje komplexní pohled na uváděnou problematiku a obsahuje nejnovější informace a praktická doporučení vycházející z výzkumných a vývojových aktivit řešitelů projektu. Práce je určena nejen pro zemědělskou praxi, ale také jako studijní materiál pro studenty středních a vysokých škol zemědělského zaměření, pro zemědělské poradce a pro pracovníky státní správy.

V. Ekonomické aspekty

Výše uvedené postupy cílené zonální aplikace kapalných organických hnojiv do půdy přispívají nejen ke zlepšení rozptylu hnojiv v půdním profilu a ke zvýšení jejich využití rostlinami, ale i k omezení ztrát živin z hnojiv do atmosféry a do spodních vrstev půdního profilu. Zásadním způsobem však snižují rizika vzniku zhutnění půdy typických pro systémy aplikace organických kapalných hnojiv. Eliminace zhutnění půdy a následná podpora infiltrace vody do půdy na základě cílené tvorby infiltračních zón pro srážkovou vodu, včetně eliminace poškození půdní struktury vysokou koncentrací kapalných organických hnojiv v půdním profilu plně zapadá do komplexu protierozních opatření. Dalším významným ekonomickým aspektem se jeví omezení počtu pracovních operací při jednofázové aplikaci kapalných organických hnojiv spojené s kvalitním zpracováním půdy a omezení přímého kontaktu pracovních nástrojů s kapalnou složkou hnojiv. Provedené experimenty rovněž prokázaly možnost využití předkládaných technologií i pro efektivní odstranění technogenního zhutnění půdy v orničním profilu. Kvalitní urovnání povrchu půdy po provedení kypření se zapravením hnojiv umožňuje provedení výsevu plodin bez předchozí předseťové přípravy. Výše uvedená pozitiva nových technologií vedoucí ke snížení počtu pracovních operací mohou přispět, ve srovnání s konvenčními způsoby, ke snížení spotřeby pohonných hmot až o 25 %. Přiložená tabulka 14 dokládá přímé náklady na provedenou aplikaci kapalných organických hnojiv na povrch půdy s následným zapravením a na technologii zapravení kapalných organických hnojiv do půdy se současným zapravením.

Tab. 14: Přímé náklady na aplikaci kapalných organických hnojiv v závislosti na použité technologii, poslední řádek uvádí náklady platné pro nově vyvinutou a ověřenou technologii.

technologie	operace	technika	plošná výkonnost (ha/hod)	spotřeba PHM (l/ha)	náklady* na aplikaci (Kč/ha)
plošná aplikace kapalných organických hnojiv na povrch půdy s následným zapravením do půdy	povrchová aplikace kapalných organických hnojiv	samojízdná cisterna s hadicovým aplikátorem s pracovním záběrem 18–24 m	12,6–16,8	4–5	950
	středně hluboké zpracování půdy	traktor 220 kW s dlátovým kypřičem s pracovním záběrem 4,5–6 m	4,5–6	8–12	650
náklady na aplikaci celkem					***1600***
jednofázová aplikace do proudu zeminy (nově vyvinutá a ověřená technologie)	podpovrchová aplikace kapalných organických hnojiv a středně hluboké zpracování půdy v jedné operaci	samojízdná cisterna s inovativním dlátovým aplikátorem s pracovním záběrem 4,5–6 m	3,5–4,8	10–14	1450
náklady na aplikaci celkem					***1450***

**při ročním nasazení 1000 ha*

VI. Seznam literatury

Abubaker, J., Risberg, K., Pell, M. 2012: Biogas residues as fertilisers – Effect on wheat growth and soil microbial activities. Applied Energy. 99: 126–134.

AG 4, 2015: Optimale Nährstoffausnutzung aus Wirtschaftsdüngern: Ausbringverfahren für flüssige Wirtschaftsdünger : Separation von flüssigen Wirtschaftsdüngern: Bewertung von organischen Düngemitteln. Version II. Empfehlungen für die Nutzung in Schleswig-Holstein. AG 4, Ausbringverfahren" aus der Allianz für den Gewässerschutz, 16 s.

Alburquerque, J. A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J., Bernal, M. P. 2012: Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. European Journal of Agronomy. 43: 119–128.

Arthurson, V. 2009: Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land – Potential benefits and drawbacks. Energies. 2: 226–242.

Badalíková, B., Novotná, J. 2018: Změny fyzikálních vlastností půdy po aplikaci digestátu. Agromanuál. 13: 38–39.

Bednorz, D., Tauchnitz, N., Bischoff, J., Schrödter, M., Koblenz, B. Rücknagel, J., Rupp, H., Wiese, F., Christen, O., Meissner, R. 2015: Bewertung der N-Effizienz des Gülle-Strip-Till-Verfahrens – Kombinierte Lysimeter- und Feldversuche als Grundlage zur Modellierung der Stickstoffkinetik in der ungesättigten Zone. 16. Gumpensteiner Lysimetertagung "Lysimeter: Forschung im System Boden - Pflanze - Atmosphäre" am 21. und 22. April 2015, HBLFA Raumberg-Gumpenstein. 131–136.

Bischoff, J. 2012: Strip-Till-Verfahren bei Mais. Erosionsschutz verbessern und Stickstoffeffizienz steigern. Mais. 39: 162–165.

Bischoff, J., Tauchnitz, N. 2015: Das Depot lohnt. dlz agrarmagazin, Special Gülledüngung. 13–15.

Bopp, M. 2013: Strip-till im Praxiseinsatz getestet. Pflanzenbau. 19: 22–25.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Růžek, P. 2017: Technické možnosti aplikace kejdy a fugátu (1. část). Úroda. 65: 30–36.

Brant, V., Bečka, D., Cihlář, P., Fuksa, P., Hakl, J., Holec, J., Chyba, J., Jursík, M., Kobzová, D., Krček, V., Kroulík, M., Kusá, H., Novotný, I., Pivec, J., Prokinová, E., Růžek, P., Smutný, V., Škeříková, M., Zábranský, P. 2016: Pásové zpracování půdy (strip tillage). Profi press s.r.o., Praha. 135 s.

Dimitru, M. 2014: Studies concerning the utilisation of digestate in biogas plants. Scientific Papers Series Manangement, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. 14(1): 115–120.

Döll, H. 2012: Reminiszenz und Ausblick zur Ausbringung von Gülle - Die Last vom Acker nehmen. LOP Landwirtschaft ohne Pflug. 12: 28–33.

Duffková, R., Mühlbachová, G. 2015: Vliv aplikace digestátu na produkci kukuřice. Energie. 21: 22–24.

Gordon, R., Schuepp, P. 1994: Water-manure interactions on ammonia emission. Biology and Fertility of Soils. 18: 237–240.

Grunert, M. 2015: „Die Novelle hat Folgen für alle Abläufe". dlz agrarmagazin. Special Gülledüngung. 9–11.

Hermann, W., Bauer, B., Bischoff, J. 2012: Strip Till, Mit Streifen zum Erfolg, DLG-Verlag, Frankfurt am Main. 120 s.

Huijsmans, J. F. M., Hol, J. M. G., Vermeulen, G. D. 2003: Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. Atmospheric Environment. 37: 3669–3680.

Chambers, B. J., Smith, K., van der Weerden, T. J., 1997: Ammonia emissions following the land spreading of solid manures. In: Jarvis, S. C., Pain, B. F. (Eds.), Gaseous nitrogen emissions from grasslands. CAB International Wallingford. 275–280.

Jaša, S., Badalíková, B., Červinka, J. 2019: Influence of digestate on physical properties of soil in ZD Budišov. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 67: 75-83.

Johansen, A., Carter, M. S., Jensen, E. S., Hauggard-Nielsen, H., Ambus, P. 2013: Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO_2 and N_2O. Applied Soil Ecology. 63: 36–44.

Kasal, P., Svobodová, A., Vacek, J., Čížek, M., Nevosád, J. 2016: Užití digestátu zemědělských bioplynových stanic ke hnojení brambor. Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, s. r. o. 23 s.

Kolář, L., Vaněk, V., Kužel, S. 2009: Využití odpadů z bioplynových stanic. In: Racionální použití hnojiv – sborník z konference. ČZU Praha. s. 50–57.

Koszel, M., Parafiniuk, S., Szparaga, A., Bochniak, A., Kocira, S., Atanasov, A. Z., Kovalyshyn, S. 2020: Impact of digestate application as fertilizer on the yield and quality of winter rape seed. Agronomy. 10: 878.

Kusá, H., Růžek, P., Vavera, R. 2019: Využití digestátu při hnojení kukuřice. Agromanuál. 14: 92–94.

Laurenz, L. 2014: Gülle-Strip Till zu Mais auf Erfolgskurs. Sonderdruck aus Top Agrar. 3: 92-95.

Neser, S., Leippert, F., Honisch, M. 2010: Technik zur Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger – wirtschaftliche und umweltgerechte Lösungen. Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung) im „Biogas Forum Bayern". 2: 10.

Parnas, H., 1976: A theoretical explanation of the priming effect based on microbial growth with two limiting substrates. Soil Biology and Biochemistry. 8: 139–144.

Reckleben, B. 2013: Strip-Tillage könnte bald gängige, Praxis sein Kosteneinsparung beim Maisanbau durch neues Anbauverfahren. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, BauerBlatt. 22–26.

Richardson, D., Felgate, H., Watmough, N., Thomson, A., Baggs, E. 2009: Mitigating release of the potent greenhouse gas N_2O from the nitrogen cycle – could enzymic regulation hold the key? Trends in Biotechnology. 27: 388–397.

Rosace, M. CH., Veronesi, F., Briggs, S., Cardenas, L. M., Jeffery, S. 2020: Legacy effects overrride soil properties for CO_2 and N_2O but not CH_4 emissions following digestate application to soil. GCB Bioenergy. 12: 445–457.

Rücknagel, J. 2014: Boden unter Druck. Dlg-Verlag Gmbh. 120 s.

Severin, M., Fuss, R., Well, R., Hähndel, R., Van den Weghe, H. 2015: Greenhouse gas emissions after application of digestate: short-term effects of nitrification inhibitor and application technique effects. Archives of Agronomy and Soil Science. 62: 1007–1020.

Smatanová, M. 2014: Porovnání účinnosti digestátů s různými typy hnojiv při hospodaření ve zranitelné oblasti. Výroční zpráva o výsledcích 3. pokusného roku přesné polní zkoušky. ÚKZÚZ Brno. 21 s.

Sommer, S. G., Hutchings, N. J. 2001: Ammonia emission from field applied manure and its reduction – invited paper. European Journal of Agronomy. 15: 1–15.

Stevenson, F. J., 1982: Nitrogen in agricultural soils. Agronomy. 22: 1–42.

Šimon, T., Kunzová, E., Friedlová, M. 2015: The effect of cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. Plant, Soil and Environment. 61: 522–527.

Tlustoš, P., Kaplan, L., Dubský, M., Bazalová, M., Száková, J. 2014: Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic. Certifikovaná metodika. ČZU Praha, 25 s.

Van den Akker, J. 2016: Unterbodenverdichtungen bei der Ernte von Zuckerrübern: Raupenlaufwerk oder Breitreifen? LOP Landwirtschaft ohne Pflug. 12: 14–19.

Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D., Černý, J. 2009: Úloha organické hmoty v půdě. In: Racionální použití hnojiv – sborník z konference. ČZU Praha, 16–25.

Webb, J., Pain, B., Bittman, S., Morgan, J. 2010: The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response - A review. Agriculture, Ecosystems & Environment. 137: 39–46.

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.

VII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Publikace jsou dedikovány k projektu TH02010706.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Růžek, P. 2017: Technické možnosti aplikace kejdy a fugátu (1. část). Úroda 65 (2): 30–36.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Růžek, P. 2017: Technické možnosti aplikace kejdy, digestátu a fugátu (dokončení). Úroda 65 (7): 20–24.

Brant, V., Nýč, M., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Růžek, P., Hofbauer, M. 2018: Cílená zonální aplikace organických kapalných hnojiv. Agromanuál: 13(11–12): 64–66.

Kusá, H., Růžek, P., Vavera, R. 2019: Vliv různých způsobů hnojení digestátem na výnos kukuřice, dostupnost a ztráty živin. Úroda, 67(12 vědecká příloha): 321–326.

Kusá, H., Růžek, P., Vavera, R. 2019: Využití digestátu při hnojení kukuřice. Agromanuál, 14(4): 92–94.

Růžek, P., Kusá, H., Mühlbachová, G., Vavera, R. 2019: Trvalá udržateľnosť súčasných systémov hospodárenia na pôde . Naše poľe, 23(4): 22–24.

„Tato metodika a její využití nezakládá nárok na dosažení uvedených výsledků a tvůrci ani uživatel metodiky (distributor) této metodiky nenesou odpovědnost za dosažené výsledky použitím této metodiky ani za jakékoliv vzniklé škody konečným uživatelům nebo třetím stranám. Koneční uživatelé a třetí strany nejsou oprávněni vymáhat náhradu škody po tvůrcích ani po uživateli (distributorovi) metodiky.“