

Efektivní nakládání s digestátem a jeho složkami separace při pěstování silážní kukuřice

Ověřená technologie

*Technická dokumentace výsledku - Popis technologie, popis způsobu
testování a testovací protokol*



VÚMOP, v.v.i.



VÚRV, v.v.i.



ECO trend

ECO trend Research centre s.r.o.



2016

Autoři:

Ing. Renata Duffková¹, Ph.D.

Ing. Gabriela Mühlbachová², Ph.D.

Ing. Jan Matějka³

Ing. Štěpán Marval¹

Ing. Luboš Nobilis³

Ing. Radek Vavera², Ph.D.

¹ Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (60 %)

² Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.(30 %)

³ ECO trend Research centre s.r.o. (10 %)

Poděkování:

Tato ověřená technologie byla zpracována v rámci řešení projektu TA03020202 - Optimalizace použití digestátu na zemědělskou půdu ve vztahu k efektivnímu využití živin a ochraně půdy a vody.

Smlouva o uplatnění ověřené technologie byla uzavřena se ZD Ostaš (Žďár nad Metují), dne 29.11.2016 a Agro Chvalešovice, s.r.o. (Dříteň), 1.12.2016

Recenzovali:

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo Zemědělství ČR

Mgr. Ing. Lukáš Pacek, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze

V roce 2016 v nákladu **XX ks** vydal VÚMOP, v.v.i.

Tisk: powerprint, s.r.o., Praha – Suchdol

ISBN: 978-80-87361-57-3

© Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2016

OBSAH:

1. Úvod – potřebnost a využití ověřené technologie	4
2. Návaznost ověřené technologie na legislativní předpisy	5
3. Popis technologie	7
3.1. Hnojení digestátem a fugátem.....	11
3.2. Hnojení separátem s přídavkem minerálních hnojiv	14
4. Popis způsobu testování a testovací protokol.....	15
5. Novost a ekonomické přínosy ověřené technologie	17
6. Souhrn a závěr	19
7. Seznam použité literatury	22
Příloha	27

1. Úvod – potřeba a využití ověřené technologie

Ověřená technologie (OT) byla vytvořena na základě získaných výzkumných poznatků v rámci řešení projektu TA03020202 – „Optimalizace použití digestátu na zemědělskou půdu ve vztahu k efektivnímu využití živin a ochraně půdy a vody“. Ověřená technologie zahrnuje postupy optimálního nakládání s digestátem a jeho složkami separace (tekutá složka - fugát, tuhá složka - separát) při pěstování silážní kukuřice a je zaměřená zejména na efektivní nakládání s dusíkem (N) obsaženým v těchto hnojivech. Tyto postupy byly stanoveny na základě testovacího protokolu, který zachycuje průběh a výstupy ověřování a je nedílnou součástí této OT. Ověřená technologie je zpracována zejména pro hospodaření ve zranitelných oblastech dusičnany (ZOD) se zaměřením na propustné půdy (III. aplikační pásmo), nicméně její užití je obecně prospěšné a využitelné na celém území České republiky.

Digestát je typové organické hnojivo tekuté/polotekuté konzistence vzniklé při výrobě bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích (BPS) jako druhotný produkt anaerobní fermentace organické hmoty a jeho aplikace na zemědělskou půdu je považována za standardní způsob nakládání (Herrmann 2013, Svoboda et al. 2013, Lijó et al. 2015). Užití digestátu na zemědělskou půdu v rámci zemědělského podniku nepodléhá ohlášení ani registraci. Jeho užití v praxi však často nezohledňuje všechny zásady, které vedou k jeho efektivnímu užívání. Při nesprávném nakládání (přehnojování) má digestát nepříznivé dopady na kvalitu půdy a vody, které vyvolávají negativní hodnocení účinků digestátu. Tato technologie nabízí zemědělské praxi komplexní a systematické postupy, které optimalizují užívání digestátu a jeho složek separace nejen z hlediska dosažení přijatelných výnosů kukuřice, ale i z hlediska ochrany půdy a vody.

V průběhu projektu byly zkoumány vlivy způsobů aplikace digestátu a jeho složek separace na výnosy zemědělských plodin, půdní vlastnosti a vyplavování živin do vod (Duffková a Mühlbachová 2015, Mühlbachová a kol. 2016). Vzhledem k zaměření OT byly do jejího zpracování kromě výzkumných poznatků uvedeného projektu zahrnuty i legislativní předpisy navazující na užití toho hnojiva v zemědělské praxi.

Technologické postupy nakládání s digestátem jsou nastaveny pro **dosažení přijatelných výnosů kukuřice při současné minimalizaci ztrát dusíku volatilizací a vyplavením do vod v optimálně vláhových podmínkách**, ale jsou rovněž uvedeny postupy pro zmírnění dopadů nepříznivých vláhových podmínek na využití živin během suchého roku.

2. Návaznost ověřené technologie na legislativní předpisy

S digestátem a jeho složkami separace je nutné zacházet podle pravidel aktuálního Akčního programu Nitrátové směrnice (NS, směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů, implementace do Vodního zákona, § 33 Zranitelné oblasti dusičnany a nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a Akčním programem, novela n.v. č. 235/2016) vyhlášeného na období 2016-2020 s účinností změn od 01.08.2016. Z hlediska definice dusíkaté hnojivé látky je digestát a fugát v Akčním programu NS považován za organické hnojivo s rychle uvolnitelným N ($C:N < 10$) a separát za organické hnojivo s pomalu uvolnitelným N ($C:N > 10$). Do přívodu N je v roce aplikace započítán účinný N u fugátu a digestátu ve výši 60 % a u separátu ve výši 30 % z celkové dávky N.

Technologie efektivního nakládání s digestátem musí obecně respektovat shodu mezi zemědělským hospodařením a ochranou životního prostředí, která je vázána na dodržování vybraných legislativních předpisů při poskytování přímých plateb a některých podpor Programu rozvoje venkova (PRV). Jedná se o tzv. kontrolu podmíněnosti (Cross compliance), která má dvě části: 1) dodržování Standardů Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy (DZES 1 - 7) a 2) dodržování povinných požadavků na hospodaření (PPH, vybrané požadavky z 13 nařízení a směrnic EU). Zásady aplikace digestátu a pěstování kukuřice musí respektovat DZES 1, 3, 4 a 5 a PPH 1:

- a) **DZES 1.** Podle DZES 1 je nutné (ve ZOD i mimo ně) dodržovat zákaz aplikace hnojiv v ochranném pásu o šířce nejméně 3 m od břehové čáry a u dílu půdního bloku s průměrnou sklonitostí převyšující 7° v ochranném pásu o šířce nejméně 25 m od břehové čáry zákaz aplikace hnojiv s rychle

uvolnitelným dusíkem (v souladu s § 12 n.v. č. 262/2012 Sb. a § 39 závadné látky Vodního zákona).

- b) **DZES 3.** Podle DZES 3 je při zacházení se závadnými látkami nutné dodržovat pravidla, vedoucí k ochraně povrchových a podzemních vod a životního prostředí. To znamená, že při manipulaci se závadnými látkami je nutné zajistit ochranu povrchových a podzemních vod, blízkého okolí a životního prostředí a závadné látky skladovat tak, aby nedošlo k jejich úniku, popřípadě k jejich nežádoucímu smísení s odpadními nebo srážkovými vodami a zároveň zajistit, aby technický stav skladovacích zařízení závadných látek splňoval kvalitativní požadavky vodního zákona.
- c) **DZES 4.** Zapravení fugátu a digestátu do půdy podle DZES 4 (minimální pokryv půdy) musí nastat 24 hodin po aplikaci (s výjimkou řádkového přihnojování hadicovými aplikátory), zapravení separátu musí následovat do 48 hodin po aplikaci. Toto opatření snižuje ztráty amoniaku (NH_3) volatilizací do ovzduší a tudíž zároveň umožňuje vyšší využití N pro tvorbu výnosu.
- d) **DZES 5.** Podle DZES 5 na ploše půdního bloku silně erozně ohroženém vodní erozí (SEO) nelze pěstovat erozně nebezpečné plodiny (kukuřice, brambory, řepa, bob setý, sója, slunečnice a čirok); porosty ostatních obilnin a řepky olejné na takto označené ploše budou zakládány s využitím půdoochranných technologií. Na blocích mírně erozně ohrožených vodní erozí (MEO) je možné erozně nebezpečné plodiny zakládat pouze s využitím půdoochranných technologií.
- e) **PPH 1.** Podle PPH 1 je nutné ve ZOD dodržovat zásady Akčního programu NS. Jedná se o zákaz aplikace hnojiv v období zákazu hnojení, dodržení stanovených limitů přívodu N pro jednotlivé plodiny, kontrolu technického stavu a dostatečných skladovacích kapacit u skladů statkových hnojiv, omezenou aplikaci hnojiv s ohledem na půdní a klimatické podmínky, maximální limit organického hnojení 170 kg N/ha, omezenou aplikaci hnojiv a zákaz pěstování erozně nebezpečných plodin na svažitých pozemcích, zákaz aplikace hnojiva s rychle uvolnitelným N na orné půdě se svažitostí $>10^\circ$, omezenou aplikaci hnojiv v blízkosti vodních toků, rybníků a nádrží a zákaz aplikace hnojiv na podmáčených, zaplavených, promrzlých a sněhem pokrytých půdách. Období zákazu je rozlišováno podle klimatických regionů

(klimatické regiony 0-5: hnojiva s rychle uvolnitelným N - 15.11.-15.2., hnojiva s pomalu uvolnitelným N – 15.12.-15.2., klimatické regiony 6-9: hnojiva s rychle uvolnitelným N - 5.11.-28.2., hnojiva s pomalu uvolnitelným N – 15.12.-28.2.). Omezení a zákazy se rovněž vztahují na období po sklizni hlavní plodiny a jsou diferencované podle aplikačních pásem (I.-III.). Největší omezení je ve III. aplikačním pásmu (půdy propustné, lehké, mělké, zamokřené, se sklonem k erozi). Limity hnojení hlavních plodin uvedené v Akčním programu NS jsou rozlišeny podle tří výnosových hladin, které, stejně jako aplikační pásma, jsou vymezeny podle klimatických regionů a hlavních půdních jednotek.

Podle aktuálního znění vyhl. č. 474/2000 Sb. O stanovení požadavků na hnojiva musí mít digestát 3-13 % sušiny a minimálně 0,3 % celkového N ve vzorku. Fugát má obsah sušiny do 3 % a minimální obsah celkového N 0,1 % a separát má obsah sušiny > 13 % a minimální obsah celkového N 0,5 %.

Limitní obsahy těžkých kovů v organických hnojivech jsou stanoveny vyhláškou č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva a průměrné obsahy živin v digestátu a jeho složkách separace uvádí vyhl. č. 377/2013 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv (digestát obsah sušiny 5,8 %, obsah N 0,53 %, P_2O_5 0,16 % a K_2O 0,35 %, fugát obsah sušiny 3,9 %, obsah N 0,51 %, P_2O_5 0,14 % a K_2O 0,34 %, separát obsah sušiny 23,0 %, obsah N 0,68 %, P_2O_5 0,30 % a K_2O 0,45 %).

3. Popis technologie

Silážní kukuřice je významnou vysoce výnosnou energetickou plodinou, která tvoří podstatnou součást krmivové základny hospodářských zvířat a rovněž i vstupních surovin pro výrobu bioplynu (Möller et al. 2011). Její pěstování však přináší negativní důsledky pro životní prostředí (půdní eroze, vyplavení živin, Erhart et al. 2014), a proto je její pěstování zakázáno na silně erozně ohrožených pozemcích a na mírně erozně ohrožených pozemcích je nutné použít půdoochranné technologie. Hnojení kukuřice digestátem a jeho složkami separace pro plánovaný výnos je možné provést jednorázově před zasetím nebo dávky rozdělit na dvě dílčí (před zasetím, během vývoje listů, optimálně ve fázi 4.-5. listu). Při jednorázové aplikaci digestátu jsou okamžitým zapravením ušetřeny pohonné hmoty a sníženo zatížení půdy

pojezdy zemědělských strojů a rovněž ztráty amoniaku volatilizací jsou celkově nižší než při dělené dávce (druhá dávka není obvykle zapravena). Na druhou stranu dělená dávka za určitých podmínek (vhodná distribuce srážek) zaručí rovnoměrnější dodávku živin, tj. zajistí příjem živin v období intenzivního růstu a tím rovněž sníží vyplavení dusičnanů do vod.

Technologické postupy pro efektivní nakládání s digestátem a jeho složkami separace vycházejí z předpokladu, že distribuce srážek během vegetačního období je optimální pro příjem živin podle potřeb kukuřice, pro tvorbu výnosu a pro minimální ztráty do okolního prostředí (plynné emise, vyplavení živin do vod). Odchytky od tohoto předpokladu více či méně snižují efektivitu technologie.

V technologických postupech jsou zohledněna kritéria pro **optimální stanovení dávky N a minimální ztráty N do ovzduší (1.)** a pro **snížení ztrát N-NO₃ vyplavením do podzemních vod (2.)**.

1. Optimální stanovení dávky dusíku v aplikovaném digestátu/fugátu/separátu na základě plánovaného výnosu, účinnosti dusíku, obsahu půdního minerálního N, předchozího organického hnojení a složení digestátu. Optimální výnosy jsou zajištěny správnou aplikací živin pro plánovaný výnos, který vychází z potřeby dusíku ve sklizeném produktu (3,7 kg N/t při obsahu sušiny 30 % pro silážní kukuřici, Klír et al. 2008) a výnosového potenciálu stanoviště. Výnosový potenciál je určen na základě víceletého průměru ze srážkově normálních či vlhkých let. Ve ZOD nesmí celková dávka dusíku přesáhnout limity hnojení uvedené v Akčním programu NS. Ty jsou rozděleny podle tří výnosových hladin, které jsou rozlišeny podle klimatických regionů a hlavních půdních jednotek. Celkové limity hnojení pro silážní kukuřici jsou 190 kg N/ha pro výnosovou hladinu 1, 220 kg N/ha pro výnosovou hladinu 2 a 240 kg N/ha pro výnosovou hladinu 3. Do limitu hnojení je při hnojení digestátem a jeho složkami separace započítán pouze tzv. účinný dusík, který v době testování postupů (2013 – 2016) tvořil 70 % z celkové dávky N u fugátu a digestátu a 30 % z celkové dávky N u separátu (minerální hnojiva 100 % účinného N). Aktuální Akční program (od 1.8. 2016) upravil podíl účinného N u digestátu a fugátu na 60 % (separát beze změny). Celková dávka hnojení je ovlivněna obsahem minerálního dusíku v půdě zjištěném na jaře před setím. Obsah minerálního N v mg/kg je přepočten na kg N/ha vynásobením koeficientem 4,5 (pro 0-30 cm) nebo koeficientem 9 (pro 0-60 cm) a tato hodnota je pak odečtena z dávky N stanovené

předpokládaným odběrem živin. Toto je důležité obzvláště po předchozím suchém roce, kdy v půdě zůstal nahromaděný nevyužitý minerální dusík. Zjištěná hodnota je pak dělena koeficientem využitelnosti N, který je podle NS pro fugát a digestát 0,6 (tj. 60 % využitelnost N) a separát 0,3. Tato technologie na základě výzkumných poznatků odvodila vyšší využitelnost dusíku a zvýšení koeficientů využitelnosti pro digestát (0,7) a fugát koeficient (0,8); koeficient pro separát odpovídal NS (0,3). Různá účinnost (využitelnost) dusíku vychází z různého obsahu organických látek (fugát, digestát 3-6 %, separát až 19 %) a C:N, kdy hnojiva s nižším C:N (fugát, digestát) mineralizují (uvolňují) živiny rychleji – max. 2 roky (nejrychleji fugát) s tím, že v druhém roce může být využito cca 10 – 20 % N. Naopak separát s vysokým C:N mineralizuje pomalu (až 3 roky), neboť dostupnost N v půdě pro mikroorganismy je limitována jeho imobilizací (zapravením do mikroorganismů). Při stanovení optimální dávky dusíku je vždy nutné zohlednit využití dusíku z organických hnojiv aplikovaných v předchozích letech (kejda, fugát, digestát – využitelnost N 10 – 20 % ve 2. roce po aplikaci; hnůj, separát – 10 - 20 % N ve 2. roce po aplikaci a 5 % N ve 3. roce po aplikaci).

Podmínkou pro efektivní dávkování digestátu a maximální využití jeho hnojivých vlastností je pravidelné sledování jeho kvality, a to v rozsahu: obsah celkové sušiny, obsah organické sušiny, obsah N-NH₄, obsah celkového N, fosforu (P), draslíku (K), vápníku (Ca), hořčíku (Mg), síry (S) a sodíku (Na). Analýza těžkých kovů není nutná z důvodu jejich silně podlimitních obsahů (dle vyhl. č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva). Rozbor digestátu (resp. jeho složek separace) by měl být prováděn alespoň 2-3 x ročně. Vzhledem k rozmanitému složení vstupních surovin do fermentoru se může složení digestátu výrazně odlišovat od průměrného složení uvedeného ve vyhlášce č. 377/2013 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv. Jednotné používání hodnot z uvedené vyhlášky může vést k nedostatečnému nebo naopak k nadbytečnému zásobování půd živinami a snižování efektivity využití digestátu a jeho složek separace. Přehnojování vede nejen ke zbytečným ztrátám živin do podzemních vod a ovzduší, ale rovněž zvyšuje riziko zhoršování půdní struktury (rozplavení půdních agregátů v důsledku vysokého obsahu jednomocných kationtů v půd jako jsou NH₄⁺, K⁺, Na⁺).

Pro účinné využití aplikovaného dusíku je nutné **minimalizovat ztráty N volatilizací NH₃**. Před aplikací digestátu je nutné zohlednit předpověď počasí. Nelze aplikovat

digestát před očekávanými vysokými srážkami, ale mírný déšť po aplikaci digestátu je vhodný pro omezení volatilizace NH_3 . **Okamžité zapravení** aplikovaného digestátu na orné půdě je **nezbytnou součástí efektivního nakládání s digestátem, fugátem a separátem**, které minimalizuje ztrátu N volatilizací a pachovou zátěž a naopak zvyšuje výnos (Insam et al. 2015). Již časový odstup větší než 12 hodin mezi aplikací a zapravením podporuje volatilizaci NH_3 , kdy může dojít ke ztrátě 20 – 90 % N (Severin et al. 2015). Digestát a fugát je podle DZES 4 nutné zapravit nejpozději do 24 hodin po aplikaci nebo do 48 hodin po aplikaci separátu. Předpokládá se, že po roce 2020 bude povinné okamžité zapravení. Pokud je aplikována druhá dávka (přihnojení) hadicovými aplikátory, není v současné době zapravení vyžadováno. Z toho vyplývá zvýšené riziko volatilizace amoniaku plynoucí z dělených dávek digestátu.

2. Snížení vyplavení půdního dusičnanového dusíku do vod během vegetační sezóny a po sklizni hlavní plodiny. Vyplavení dusičnanů do vod je ovlivněno množstvím a distribucí srážek, teplotou vzduchu, půdním typem, čerpáním živin porostem, obsahem půdního minerálního dusíku, množstvím, distribucí a formou hnojiv a jejich reakcí s dalšími látkami (např. sláma obilovin, inhibitor nitrifikace).

Z uvedeného vyplývá, že dodržování postupů uvedených v bodě 1. zároveň přispívá k omezování ztrát dusičnanů vyplavením do vod.

Obecně prospěšnější z hlediska ztrát dusičnanů do vod jsou dělené dávky hnojiv, které během vegetační sezóny zajistí rovnoměrnější distribuci živin pro potřeby porostu a sníží tak riziko ztráty dusíku v období nízkého čerpání živin porostem (tj. do aplikace druhé dávky digestátu či fugátu). Ztráty dusíku do vod lze během vegetační sezóny také snížit inhibitorem nitrifikace, který se aplikuje společně s digestátem. V případě snížené dostupnosti vody pro porost však inhibitor ještě více snižuje dostupnost živin, resp. zvyšuje volatilizaci amoniaku, což vede k nižšímu plodinovému výnosu.

Po sklizni kukuřice je nutné redukovat vyplavení půdního reziduálního dusičnanového dusíku do vod, a to zejména po suché vegetační sezóně, kdy došlo k nahromadění nevyužitého dusíku v půdě. Snížení vyplavení reziduálního dusíku je zajištěno založením porostů ozimých obilovin (pšenice, žito) nebo meziplodin zejména nevymrzajících (např. triticales či svatojánské žito, Svoboda et al. 2015), kdy lze po sklizni kukuřice lépe dodržet termín výsevu (do konce září či poloviny října) ve

srovnání s vymrzajícími meziplojinami (do 15.9.). Rovněž je nutné dodržet dávky digestátu či fugátu podle tzv. aplikačních pásem stanovených v akčním programu NS v tabulce 6 (Maximální celková dávka dusíku v období po sklizni hlavních plodin – viz Příloha), kdy je možné aplikovat 80 (I. aplikační pásmo), 60 (II. aplikační pásmo) nebo 0 kg účinného N/ha (III. aplikační pásmo, půdy se středním a vysokým rizikem infiltrace) pro ozimou plodinu nebo 120 (I.), 100 (II.) a 80 (III.) kg účinného N pro meziplojinu či rozklad slámy (v případě kukuřice strniště vysoké min. 40 cm) s následnou ozimou či jarní plodinou. Pro následnou jarní plodinu lze samotný digestát či fugát aplikovat pouze s inhibitorem nitrifikace, a to od 1.10. do 4. či 14.11. v dávce 100 (I.), 80 (II., III. a) a 0 (III. b) kg účinného N/ha.

Ověřená technologie optimálního využití digestátu a jeho složek separace zohledňující výše uvedená kritéria má v závislosti na půdních podmínkách a distribuci srážek daného roku specifický dopad na výnosy kukuřice a ochranu ovzduší a vody. Dále uvedené technologické postupy pro digestát, fugát (kap. 3.1., jednorázová a dělená dávka) a separát (kap. 3.2., s přihnojením minerálními hnojivy) tato specifika zohledňují a jsou ve svých účincích srovnávány s minerálními hnojivy, nehnojenou variantou nebo jednorázovou dávkou separátu.

Efektivita využití dusíku pro tvorbu výnosu kukuřice vycházející z výše uvedených technologických postupů byla ověřována **mírou využití aplikovaného dusíku a porovnáním s využitím dusíku po aplikaci minerálních hnojiv (tzv. relativní hnojivá hodnota, RHH)**. Využití aplikovaného dusíku pro tvorbu výnosu (ANR) bylo zjišťováno následovně (%): $((\text{obsah N v biomase} \cdot \text{výnos varianty}) - (\text{obsah N v biomase} \cdot \text{výnos nehnojené kontroly})) / (\text{celkové aplikované množství N}) \cdot 100$. Následně pak byla vyjádřena RHH (%) jako: $(\text{ANR dané varianty} / \text{ANR varianty hnojené minerálně}) \cdot 100$.

3.1. Hnojení digestátem a fugátem

A) Jednorázová dávka

Hnojiva jsou aplikována jednorázově před setím. Dávka je stanovena podle kritéria 1 této kapitoly (v jednotlivých vegetačních sezónách 2013 – 2015 testována jednotná dávka celkového N; v roce 2016 kromě jednotné dávky testováno i zvýšení dávky N u fugátu a digestátu o 30 %, tj. stejné množství účinného dusíku jako u porostů hnojených minerálními hnojivy).

Výnos biomasy: V srážkově normální až nadnormální vegetační sezóně jsou pro tvorbu výnosu lépe využity živiny z fugátu s vyšší aktuální i potenciální přístupností N (vyšší obsah N-NH₄ a nižší C:N). V srážkově podnormálních letech jsou výnosy po aplikaci digestátu a fugátu obdobné. Po aplikaci fugátu je výnos pouze o cca 2-5 % nižší a po aplikaci digestátu cca o 5-10 % nižší ve srovnání s jednorázovou dávkou minerálních hnojiv. Zvýšení dávky celkového N o 30 % u digestátu a fugátu nezvyšuje výnosy, jeví se jako příliš vysoké, převyšující výnosový potenciál a zvyšující riziko ztrát N. Nejedná se tudíž o efektivní postup užití digestátu a fugátu. Přídavek inhibitoru nitrifikace v suchých letech výnos snižuje (nedostatek přístupného N), v normálních letech jsou výnosy po přídavku inhibitoru srovnatelné s výnosy bez užití inhibitoru.

Ztráty dusičnanového dusíku vyplavením:

Během vegetační sezóny: Distribuce srážek je zásadním faktorem, který vyplavení N ovlivňuje. Ztráty dusičnanového N vyplavením **během srážkově normální či nadnormální** vegetační sezóny **po aplikaci digestátu a fugátu** jsou **srovnatelné**. **Ve srovnání s minerálními hnojivy je vyplavení dusíku po aplikaci digestátu a fugátu o 20 – 25 % nižší** (u nehnojené kontroly o 40 – 50 % nižší). Ve srážkově normálním roce **inhibitor nitrifikace** aplikovaný společně s digestátem a fugátem **snižuje vyplavení** dusičnanů (v průměru o 12 %). Zvýšení celkových dávek digestátu a fugátu o 30 % (zohlednění účinného dusíku) má negativní dopad na vyplavení N v dusičnanové formě (N-NO₃, zvýšení cca o 10-15 %), obzvláště v 2. polovině vegetačního období, kdy při správně zvolené aplikační dávce dusíku obsah dusičnanů ve vodě výrazně klesá v důsledku odčerpání živin porostem.

Po sklizni kukuřice: **Po srážkově podnormální** vegetační sezóně je **výrazně vyšší riziko vyplavení N po aplikaci fugátu než digestátu**, neboť omezené čerpání N porostem ve spojitosti s vyšší přístupností N po aplikaci fugátu je příčinou vyššího množství půdního reziduálního dusičnanového N. **Po srážkově normální či nadnormální** sezóně je riziko **vyplavení dusičnanů po aplikaci digestátu spíše vyšší** ve srovnání s fugátem, a to v souvislosti s vyšším čerpáním minerálního N porostem po aplikaci fugátu a pozvolnějším uvolňováním N po aplikaci digestátu. Riziko vyplavení dusičnanů z digestátu je však ve vlhčích podmínkách vždy nižší než po suchém vegetačním období. **Ve srovnání s minerálními hnojivy je riziko vyplavení reziduálního dusičnanového dusíku po aplikaci digestátu a fugátu**

(s uvážením suchého roku jednou za 4 roky) **nižší** (o 50 % u fugátu a o 70 - 85 % u digestátu).

Zvýšení celkových dávek digestátu a fugátu o 30 % (zohlednění účinného dusíku) zvyšuje obsah reziduálního N-NO₃ a jeho riziko vyplavení.

Ve vláhově optimálních podmínkách je využitelnost dusíku (ANR) z minerálních hnojiv 60 – 65 % (RHH 100 %), po hnojení fugátem cca 50 % (RHH 80 %) a po hnojení digestátem cca 40 % (RHH 70 %).

B) Dělená dávka

Hnojiva jsou aplikována ve dvou dělených dávkách: 55 - 60 % z celkové dávky před setím s okamžitým zapravením a zbytek ve fázi 4.-5. lístku (v jednotlivých vegetačních sezónách testována jednotná dávka celkového N u všech variant).

Výnos biomasy: Dělené dávky fugátu ve srážkově normálním/nadnormálním roce ve srovnání s jednorázovou dávkou nezajistí výrazně lepší využití živin pro tvorbu výnosu, neboť část N po 2. aplikaci fugátu hadicovými aplikátory (tj. bez zapravení) je ztracena v důsledku volatilizace NH₃, jejíž riziko se zvyšuje při vyšších teplotách vzduchu a deficitu srážek.

Při podnormálních srážkách dělení dávek fugátu, digestátu i minerálních hnojiv má negativní dopad na dostupnost živin v půdě pro rostliny v rozhodujícím období růstu ve srovnání s jednorázovými dávkami, což se odráží ve snížení výnosu (o 4 – 5 %). Vyšší provozní náklady a riziko utužení půdy spojené s dvojitou aplikací hnojiv nejsou opodstatněné adekvátním zvýšením výnosu.

Ztráty dusičnanového dusíku vyplavením:

Během vegetační sezóny: **Dělení dávek fugátu během srážkově normální až nadnormální vegetační sezóny snižuje vyplavení dusičnanového N** ve srovnání s jednorázovou dávkou fugátu (o 15 %). Po aplikaci dělené dávky fugátu bylo vyplavení cca o 30 % nižší než po aplikaci dělené dávky minerálních hnojiv.

Po sklizni kukuřice: Ve srážkově normálním roce nemá dělení dávek fugátu vliv na obsah reziduálního dusíku, naopak **v suchém roce dělená dávka fugátu zvyšuje riziko vyplavení dusičnanů** po sklizni ve srovnání s jednorázovou dávkou (cca o 10 %). Minerální dusík je v tomto případě méně využit pro tvorbu výnosu a vyšší podíl zůstává v půdním profilu.

Ve vláhově optimálních podmínkách bylo ANR po hnojení dělenou dávkou fugátu zvýšeno cca o 2-5 % ve srovnání s jednorázovou dávkou fugátu (zvýšení výnosu max. do 1 t/ha).

Poznámka: V suchém roce se dělení dávek jeví jako rizikové z hlediska možného výskytu zdravotních problémů při výživě skotu, a to pokud po přihnojení zůstanou na listech kukuřice zaschlé zbytky hnojiva (riziko šíření výskytu škodlivých bakterií a parazitů, např. rody Clostridium a Cryptosporidium). Z tohoto hlediska je v suchých letech vhodnější přihnojení minerálními hnojivy (eliminace volatilizace a zdravotních problémů skotu) nebo využití kukuřičné siláže pro výrobu bioplynu.

3.2. Hnojení separátem s přidavkem minerálních hnojiv

Separát je aplikován na podzim (do termínu zákazu hnojení N látkami podle klimatických regionů), příp. na jaře před zasetím kukuřice, a to dávkou 55-60 % z celkové plánované dávky N. V obojím případě je dohnojeno minerálními hnojivy buď před setím (při podzimní aplikaci separátu) nebo ve fázi cca 4.-5. lístku (při jarní aplikaci separátu), a to dávkou 40-45 % celkové plánované dávky N.

Výnos biomasy: Aplikace separátu s přihnojením minerálními hnojivy zajišťuje výnosy kukuřice srovnatelné s aplikací minerálních hnojiv. Zejména během sezóny s podnormálními srážkami zabezpečuje zvýšení obsahu organické hmoty aplikací separátu i vyšší výnosy ve srovnání s dělenou dávkou minerálních hnojiv. Aplikace samotného separátu bez přihnojení minerálními hnojivy nezajistí pro tvorbu výnosu dostatek minerálního N.

Ztráty dusičnanového dusíku vyplavením:

Během vegetační sezóny: Aplikace separátu výrazně minimalizuje riziko vyplavení dusičnanů do podzemních vod podporou mikrobiální imobilizace.

Vyplavení dusičnanového dusíku po jednorázové aplikaci separátu (bez minerálních hnojiv) je výrazně nižší ve srovnání s jednorázovou dávkou minerálních hnojiv (o 65 %), jednorázovou dávkou fugátu (o 30-35 %) a jednorázovou dávkou digestátu (o 40 %) a mírně vyšší se srovnání s nehnojenou kontrolou (o 5-10 %). Vyplavení dusičnanového dusíku po aplikaci separátu s přihnojením močovinou je nižší než po aplikaci dělené dávky minerálních hnojiv (35 – 40 %), srovnatelné s dělenou aplikací fugátu a vyšší ve srovnání s nehnojenou variantou (o 15 - 20 %). Vyplavení

dusičnanového dusíku po podzimní aplikaci separátu je v mimovegetačním období srovnatelné s nehnojenou kontrolou.

Po sklizni kukuřice: Riziko vyplavení dusičnanů po aplikaci separátu s přihnojením minerálními hnojivy je nižší ve srovnání s dělenou aplikací minerálních hnojiv a vyšší než po aplikaci dělené dávky fugátu. **Zvýšené riziko vyplavení půdního reziduálního N souvisí s pozvolnou mineralizací organické hmoty**, která se neslučuje s nároky na příjem živin porostem.

Ve vláhově optimálních podmínkách bylo ANR po hnojení samotným separátem pouze 25 – 30 % (RHH 25-40 %), přihnojení minerálními hnojivy zvýšilo RHH na 90 %.

Poznámka: Samotná aplikace separátu nezajišťuje přijatelné výnosy kukuřice, avšak jeho aplikace přináší nesporné výhody pro kvalitu půdy (zvýšení obsahu organické hmoty, vodoretenční půdní kapacity, zlepšení půdní struktury, Möller a Müller 2012).

4. Popis způsobu testování a testovací protokol

Ověřená technologie byla testována v období 2013 – 2016 pomocí parcelkových pokusů s různými variantami pěstování silážní kukuřice se zařazením digestátu, fugátu a separátu v Lukavci u Pacova (kraj Vysočina, 610 m n. m., zranitelná oblast dusičnany, BPEJ 7.29.11, se středním rizikem infiltrace, III. aplikační pásmo, výnosová hladina 2, půdní typ je kambizem oglejená, propustná písčitohlinitá půda). Na všech variantách vedených ve čtyřech opakováních na parcelkách o velikosti 3 x 10 m byly sledovány výnosy silážní kukuřice, obsah půdního minerálního (dusičnanového a amonného) dusíku a obsah dusičnanového dusíku vyplaveného do půdních vod pomocí sukčnických kelímků. Předplodinami byly ozimá pšenice (2012), jarní ječmen (2013, 2014), silážní kukuřice (2014) a ozimý ječmen (2015). Po sklizni obilovin byla veškerá sláma vždy zapravena do půdy. Opakovaný vliv užití digestátu na stejném pozemku byl testován pouze v roce 2015 (kukuřice po kukuřici). Do srovnávacích (referenčních) variant byly zařazeny parcelky s aplikací (jednorázovou či dělenou) minerálních hnojiv a s nehnojenou kontrolou. Variantně byly testovány i možnosti dělené aplikace fugátu, digestátu, separátu a separátu s minerálními hnojivy či fugátem, kdy druhá dávka byla nastavena blíže k počátku intenzivního růstu kukuřice (do fáze 5. listu). Celková dávka N v jednom roce byla v letech 2013-

2015 vždy stejná jak u minerálních, tak u organických hnojiv, tzn., nebylo zohledněno (navýšeno) množství účinného dusíku u digestátu/fugátu/separátu. V roce 2016 byl kromě shodných dávek ještě testován i vliv zvýšených dávek N ve fugátu a digestátu, které měly stejné množství účinného dusíku jako referenční porosty hnojené minerálními hnojivy. Podle bilance mezi předpokládaným odběrem dusíku porostem kukuřice a obsahem minerálního půdního dusíku v jednotlivých letech činila celková dávka dusíku 140 kg/ha v roce 2013, 180 kg/ha v roce 2014, 160 kg/ha v roce 2015 a 140 a 180 kg/ha v roce 2016. Vysoká dávka dusíku (180 kg) v roce 2014 souvisela s vysokým čerpáním dusíku v roce 2013 (záporná bilance) a s testováním možného zvýšení výnosů po zvýšené aplikaci dusíku. Aplikace digestátu, fugátu a separátu probíhala vždy v souladu s příznivou předpovědí počasí (ne před intenzívními srážkami). Průměrné složení užívaných digestátů, fugátů a separátů je uvedeno v tabulce 1. Sumární měsíční srážky jednotlivých vegetačních období uvádí tabulka 2. Vegetační sezóny let 2013 a 2014 byly silně vlhké (156 a 139 % dlouhodobého průměru). Naopak rok 2015 byl během vegetační sezóny suchý (72 % dlouhodobého průměru) a rok 2016 srážkově normální (85 % dlouhodobého průměru). Ve srovnání s dlouhodobým průměrem byla distribuce srážek vegetačních sezón 2013 – 2016 v rámci jednotlivých měsíců velmi nerovnoměrná.

U jednorázových dávek proběhla **celá aplikace** hnojiv před setím a hnojiva byla po aplikaci ihned zapravena diskovým podmítačem do hloubky 12 cm. U dělených dávek bylo před setím aplikováno 80-100 kg N/ha a druhá část ve fázi 4.-5. listu. Celková dávka dusíku byla vždy stejná jako u jednorázové dávky N. U varianty s minerálním hnojením byla použita kombinace NPK a močoviny; pokud byla dávka dělená, bylo v druhém termínu hnojeno pouze močovinou.

V některých letech (2015, 2016) byl za účelem snížení proplavení N-NO₃, resp. zvýšení výnosu biomasy testován přídavek inhibitoru nitrifikace k jednorázovým dávkám fugátu a digestátu.

U jednotlivých pokusných variant byly po sklizni zjišťovány výnosy kukuřice. Při sklizni byly sklizeny celkem 4 řádky rostlin a z nich byl počítán výnos na parcelu i variantu. Současně s rostlinami byly odebírány vzorky půd z hloubky 0–0,3 m a 0,3–0,6 m, z kterých byl stanoven obsah minerálního dusíku. Množství dusíku v mg/l vyplavené ve formě N-NO₃ bylo zjišťováno pomocí sukčních kelímků umístěných do hloubky 40 cm, z kterých byla ve čtrnáctidenních intervalech odebírána voda na

analýzu obsahu N-NO₃. Ve vegetační sezóně 2015 nebylo vyplavování dusičnanů hodnoceno vzhledem k extrémnímu suchu a nízkému počtu vzorků vody.

Průběh a výstupy ověřování technologie pro jednorázové a dělené dávky digestátu a fugátu a pro aplikaci separátu jsou obsaženy v tabulkách č. 3 - 5. Tyto tabulky uvádějí hodnoty parametrů (ukazatelů), které poskytly podklady pro ověřenou technologii popsanou v kap. 3. Mezi tyto parametry byly zařazeny: výnosy biomasy (t/ha), obsahy N-NO₃ v půdních vodách sukčních kelímků (mg/l) a obsahy půdního reziduálního N-NO₃ (kg/ha) zjištěné půdními rozbory po sklizni kukuřice. Parametry jsou uvedeny pro jednotlivé roky testování (2013 – 2016), z nichž některé obsahují dvě různé předplodiny (2015), dvě různé dávky N v hnojivech (2016), příp. přidavek inhibitoru nitrifikace (2015, 2016).

5. Novost a ekonomické přínosy ověřené technologie

Novost OT spočívá v **zavádění systematických a komplexních postupů** pro užívání digestátu a jeho složek separace při pěstování kukuřice jako zásadní suroviny pro velkou část bioplynových stanic a pro živočišnou výrobu. Komplexnost je tvořena propojením hledisek ekonomických požadavků zemědělského podniku (optimalizace výnosů) a požadavků ochrany přírody (redukce ztrát dusíku do prostředí plynnými emisemi a vyplavením do vod).

Při posuzování výhodnosti separace digestátu je možné stanovit jako výchozí variantu hnojení neupraveným digestátem při standardním uložení 180 dnů, rozvozu a aplikaci traktorovou soupravou a na větší vzdálenost kombinace s kamionovou cisternou. Tato varianta byla porovnána s náklady na separaci, manipulaci a aplikaci digestátu, který byl separován na separát a fugát. Je třeba si uvědomit, že celková hmotnost materiálu se v tomto případě nesníží.

Ekonomická bilance byla provedena pro bioplynovou stanici o instalovaném výkonu 1000 kW_{el}. Celkové náklady pro rozvoz neupraveného digestátu traktorem a kejdovačem do 1 km dosahovaly 1 077 530 Kč/ rok. Provozní náklady na separaci, manipulaci, nakládku a aplikaci separátu dosahovaly 326 695 Kč/ rok. Náklady na aplikaci fugátu pak činily 874 534 Kč/ rok. Do bilance je však třeba započítat také investiční náklady na separátor a sklad separátu, které dosahovaly 300 000 Kč/ rok.

Celkové náklady na aplikaci digestátu po separaci činily 1 501 229 Kč/ rok. Tato varianta tedy byla o 423 698 Kč/ rok dražší než varianta výchozí.

Zde se započítávají náklady na separaci, manipulaci, nakládku a aplikaci separátu, dále náklady na aplikaci fugátu, ale také investiční náklady na separátor a sklad separátu. Celkové náklady na aplikaci digestátu po separaci jsou v konečném důsledku o 40 % vyšší oproti základní variantě. Z ekonomického zhodnocení separace digestátu vyplynulo, že separace digestátu je finančně dosti náročná, jak z pohledu provozních, tak z pohledu investičních nákladů. Bod zlomu, kdy aplikace separovaného fugátu a separátu začíná být bezztrátová, je dosažen jen v případě, kdy vhodná agrotechnická aplikace zajistí minimální nárůst produkce kukuřice o 9 – 11 %, přičemž tento minimální nárůst je závislý především na aktuální výsledné hodnotě sklizené kukuřice (nákladová cena na tunu).

Využitím digestátu jako takového je možné při jeho cílené aplikaci, omezení volatilizace a vyplavení živin do podzemních vod ušetřit ročně například 0,5 t ledku amonného na hektar (při minimální aplikaci 150 kg N/ha). Při jednotkové produkci 22 tun digestátu (což znamená 110 kg N) na instalovanou kW_{el.} a rok, dochází k úspoře 2000 Kč na instalovanou kW_{el.} v BPS a rok. Standardní produkci digestátu na zemědělské bioplynové stanici o instalovaném výkonu 1 MW_{el.} lze při plném provozu vyčíslit na 22 000 tun ročně.* Při využití hnojivého potenciálu to představuje pro zemědělský podnik úspory 2 mil. Kč ročně. Vše počítáno při ceně 5600 Kč/t ledku amonného. Podobně vychází úspora i vůči dalším minerálním hnojivům.

*Modelová BPS 20 % hnoje, 80 % kukuřičné siláže

Z níže uvedené tabulky vyplývá, že produkce digestátu zatěžuje životní prostředí méně než produkce minerálních hnojiv, neboť hodnoty v jednotlivých kategoriích dopadu (řádky tabulky) pro minerální hnojiva jsou výrazně vyšší ve srovnání s produkcí digestátu:

Kategorie dopadu	Jednotka	Dusičnan amonný (jako čistý N)	Dusičnan vápenatý (jako čistý N)	Nitrátové hnojivo (jako čistý N)	Dusičnan draselný (jako K ₂ O)	Močovina (jako čistý N)	Digestát (jako čistý N)
Úbytek nerostných surovin	kg Sb eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Úbytek fosilních surovin	MJ	58,05	118,62	72,53	16,61	57,52	0,70
Globální oteplování	kg CO₂ eq	9,17	22,12	12,59	2,67	3,43	0,07
Poškozování ozónové vrstvy	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Humánní toxicita	kg 1,4-DB eq	1,37	5,16	2,67	0,53	0,96	0,02
Sladkovodní ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	0,91	3,68	2,99	0,37	0,61	0,41
Mořská ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	3024,00	11861,55	6370,00	1176,00	2196,00	51,36
Suchozemská ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,03
Tvorba fotooxidantů	kg C ₂ H ₄ eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acidifikace	kg SO ₂ eq	0,04	0,06	0,06	0,01	0,03	0,00
Eutrofizace	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00

Uvažujeme-li tak například náhradu dusičnanu/ledku amonného digestátem, při průměrné spotřebě 150 kg čistého dusíku na 1 ha zemědělské půdy za rok, dojde k úspoře téměř 1,4 t emisí CO₂ z 1 ha intenzivně obhospodařované zemědělské půdy za sezónu (viz kategorie dopadu **Globální oteplování**). V případě dusičnanu vápenatého je to 3,3 t a v případě průměrného nitrátového hnojiva 1,9 t emisí CO₂. Bilance vlivů produkce digestátu, vyjádřeného jako čistý N, byla zpracována na základě předpokladů a alokace databázového procesu pro kogenerativní výrobu elektřiny a tepla v zemědělské BPS. Účelem BPS je totiž, alespoň z ekonomického hlediska, produkce elektrické a tepelné energie, zatímco digestát je zcela marginální (ekonomicky). Na základě odborného odhadu byl podíl digestátu na ekonomické bilanci BPS modelován v rozsahu 1 %. Na tuto hodnotu byly redukovány vlivy související s výrobou 1 kWh elektrické energie, ke které byla vztažena hodnota obsahu čistého N v digestátu (na výrobu 1 kWh elektrické energie připadá v modelu 0,0068 t digestátu s obsahem 0,59 % čistého N). Výsledek byl následně přepočten na obsah 1 kg čistého N. Je třeba podotknout, že se jedná o čistě modelový výpočet, na základě dostupných dat.

6. Souhrn a závěr

Testování OT potvrdilo, že digestát a jeho složky separace jsou za předpokladu správného užití kvalitními organickými hnojivy, která zajišťují přijatelné výnosy silážní kukuřice a rovněž snižují riziko ztrát N vyplavením do podzemních vod ve srovnání s minerálními hnojivy. Pro pěstování silážní kukuřice představují tato hnojiva významné zdroje nejen základních živin (úspora nákladů na minerální hnojiva – viz kap. 5), ale i dalších méně často aplikovaných prvků. Při zohlednění výnosového

potenciálu, obsahu půdního minerálního dusíku a maximálně možného odběru živin porostem (meziplodiny) v návaznosti na dynamiku uvolňování živin lze digestát a jeho složky separace bez rizik používat i na propustných půdách zranitelných oblastí dusičnany. S aplikací digestátu a fugátu na půdu je vzhledem k původu tohoto hnojiva (nízký obsah dostupné organické hmoty pro mikroorganismy po anaerobní fermentaci) **potřebné zajišťovat přísun rozložitelné organické hmoty** (např. slámou, kompostem, hnojem nebo mulčem meziplodiny), aby nedocházelo k jejímu nadměrnému rozkladu a snižování celkového obsahu v půdě a rovněž i k tvorbě dusičnanů v nežádoucím období.

Jednorázová aplikace digestátu a fugátu je vhodnou technologií pro hnojení kukuřice. Digestát zajistí mírně nižší nicméně stabilnější výnosy (nižší propad během sucha). Efektivita využití dusíku ve vlhčích letech je však o 10 – 20 % vyšší u fugátu (vyšší výnosy, nižší vyplavení N). Zvýšení výnosů však nedosahuje požadované úrovně (o cca 10 %, viz kap. 5), která by vyrovnala náklady na separaci. Přídavek inhibitoru k digestátu nezvyšuje výnos (v suchých letech dokonce snižuje výnos), ale snižuje proplavování dusíku do podzemních vod. **Inhibitor nitrifikace je tudíž doporučován pouze při podzimní aplikaci digestátu a fugátu pro snížení rizika vyplavení dusičnanů do vod v souladu s NS.**

Dělené dávky digestátu a fugátu nenaplnily ani ve srážkově normálním roce očekávaný předpoklad zvýšení výnosu v důsledku rovnoměrnější distribuce živin pro potřeby kukuřice, které by opodstatnilo dvojitou aplikaci hnojiv z hlediska nákladů a rizika utužení půdy. **Pozitivním efektem dělení dávek však je nižší vyplavení N do podzemních vod během vegetační sezóny ve srovnání s jednorázovými dávkami.** V případě vysokých srážek dělené dávky hnojiv nejsou účinné pro snížení rizika vyplavení dusičnanů do podzemních vod; v případě sucha nemusí být N z druhé dělené dávky dostupný pro rostliny v rozhodujícím období růstu.

Aplikace separátu s přihnojením minerálními hnojivy je vhodnou kombinací pro zajištění obdobných, příp. i vyšších výnosů silážní kukuřice (v suchém roce) ve srovnání s minerálními hnojivy (Chiyoka et al. 2014). Jeho aplikace přináší další výhody z hlediska **zvýšení obsahu organické hmoty, vodoretěnní půdní kapacity a zlepšení půdní struktury** (Möller a Müller 2012). Z tohoto hlediska se separace složek jeví jako vhodné opatření přispívající k péči o půdu. Je tím zvýšena opodstatněnost nákladů souvisejících se separací složek. Využití N ze separátu

v daném roce je však nízké (max. 30 %) a postupnou mineralizací je zpřístupňován i v následujících obdobích, kdy by měl být zajištěn jeho odběr meziplodinami či ozimými plodinami. Jinak se zvyšuje riziko vyplavení dusičnanů do vod. Samotná aplikace separátu nezajistí požadované výnosy.

Reziduální obsahy minerálního N v půdě v případě sucha jsou zvýšené a mohou být příčinou vyššího vyplavování dusičnanů do podzemních vod poté, kdy v podzimním a zimním období přijdou srážky. Z tohoto pohledu se digestát v podmínkách sucha jeví jako méně rizikový ve srovnání s fugátem. **Analýza obsahu minerálního dusíku pro účely stanovení optimální dávky digestátu a jeho složek separace je opodstatněná zejména po předchozí suché vegetační sezóně.**

Snaha dosáhnout lepších výnosů kukuřice navýšením celkové potřebné dávky dusíku v digestátu a fugátu o 30 - 40 % (tj. dle NS na stejnou úroveň účinného N jako v minerálních hnojivech) bez zohlednění obsahu dostupného dusíku v půdě se nejeví jako efektivní postup, neboť zvyšuje riziko ztrát N (do podzemní vody i do ovzduší) bez adekvátního navýšení výnosů. Využitelnost N u fugátu a digestátu v roce aplikace je na propustné půdě vyšší (RHH fugát 80 %, digestát 70 %) než je uvedeno v akčním programu NS (70 % do 31.7.2016, 60 % od 1.8.2016), to znamená, že na dosažení stejného výnosu je potřebné nižší množství celkového dusíku než předpokládá NS. Zbytečné navyšování dávky aplikovaného dusíku vede ke ztrátám dusíku vyplavením do vod, případně i únikem NH_3 . Část dusíku je pro porost využitelná i v následující vegetační sezóně (odhadem 10 – 20 % u fugátu a digestátu a 20 – 30 % u separátu). Akční program však toto nezohledňuje. Při stanovení celkové dávky dusíku je nutné zohlednit nejen využitelnost dusíku, ale i obsah minerálního dusíku v půdě (zejména po předchozím suchém roce). Jako optimální pro pěstování silážní kukuřice z hlediska výnosů i ztrát do okolního prostředí se během testovacího období jevila dávka 140 kg N/ha (tj. dávka nejnižší), která odpovídala výnosovému potenciálu stanoviště.

Užívání digestátu a jeho složek separace v souladu s uvedenými technologickými postupy představuje komplexní a zodpovědný přístup k těmto hnojivům.

7. Seznam použité literatury

- Duffková R., Mühlbachová G. 2015. Vliv aplikace digestátu na produkci kukuřice. *Energie21* 8(2): 22-24. ISSN 1803-0394.
- Erhart E., Siegl Th., Bonell M., Unterfrauner H., Peticzka R., Ableidinger Chr., Haas D., Hartl W. 2014. Fertilization with liquid digestate in organic farming—effects on humusbalance, soil potassium contents and soil physical properties. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* 16:4419.
- Herrmann A. 2013. Biogas production from maize: Current state, chalenges and Prospects. 2. Agronomic and Environmental Aspects. *Bionerg. Res.*, 6:372 – 387.
- Chiyoka W.L., Zvomuya, F., Hao, X. 2014. Changes in nitrogen availability in chernozemic soils amended with anaerobically digested cattle manure. *Soil Sci Soc Am J*, 78:843-851.
- Insam H., Gómez-Brandón M., Ascher J. 2015. Manure-base biogas fermentation residues – Friend or foe of soil fertility ? *Soil Biology & Biochemistry*, 84: 1-14.
- Klír J., Kuncová E., Čermák P. 2008. Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení. *Metodika pro praxi*. 2. aktualizované vydání. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. ISBN 978-80-87011-61-4, 48 str.
- Lijó L., González-García S., Bacenetti J., Negri M., Fiala M., Feijoo G., Teresa Moreira M. 2015. Environmental assessment of farm-scaled anaerobic co-digestion for bioenergy production. *Waste Management*, 41: 50–59.
- Möller K., Schulz R., Müller T. 2011. Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89:303–312. doi:10.1007/s10705-010-9395-z.
- Möller, K., Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng Life Sci*, 12:242 – 257.
- Mühlbachová G., Duffková R., Kusá H., Vavera R., Káš M., Zajíček, A. 2016. Hnojení kukuřice digestátem a fugátem z bioplynových stanic. *Úroda* 11/2016: 16 – 20.
- 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*.

Svoboda N., Taube F., Kluß Ch., Wienforth B., Sieling K., Hasler M., Kage H., Ohl S. Hartung E., Herrmann A. 2015. Ecological Efficiency of Maize-Based Cropping Systems for Biogas Production. *Bioenerg. Res.* 8:1621–1635. DOI 10.1007/s12155-015-9614-1

Svoboda N., Taube F., Wienforth B., Kluß Ch., Kage H., Herrmann A. 2013. Nitrogen leaching losses after biomass residue application to maize. *Soil Till Res*, 130: 69-80.

Tabulka 1. Rozbory digestátu, fugátu a separátu v jednotlivých letech testování ověřené technologie

Parametry	Jednotky	2013			2014			2015			2016			Průměr [%]		
		Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.
Celková sušina	%	7,48	5,14	22,30	5,22	4,84	19,85	7,13	4,83	23,90	11,31	4,71		7,78	4,88	22,02
pH	-	8,00	8,00	9,00	8,20	8,20	8,85	7,90	7,80	8,70	8,00	7,90		8,03	7,98	8,85
Dusík (N)	%	0,49	0,51	0,40	0,39	0,40	0,38	0,52	0,51	0,44	0,37	0,44		0,44	0,46	0,41
N-NH ₄	%	0,27	0,28	0,004	0,36	0,35	0,04	0,35	0,33	0,01	0,20	0,30		0,29	0,32	0,02
N-NH ₄ /N	%	54,64	55,37	1,10	90,43	85,83	10,19	67,68	64,71	3,23	53,41	69,95		66,54	68,96	4,84
Organické látky	%	5,88	3,53	18,82	3,63	3,21	15,05	5,36	3,36	19,05	7,76	3,22		5,66	3,33	17,64
C:N	-	5,95	3,49	23,31	4,61	3,99	19,84	5,17	3,26	21,42	10,53	3,70		6,57	3,61	21,52
Fosfor (P)	%	0,04	0,06	0,20	0,07	0,08	0,18	0,08	0,07	0,24	0,18	0,05		0,09	0,07	0,21
Draslík (K)	%	0,48	0,44	0,48	0,44	0,49	0,54	0,44	0,37	0,40	0,45	0,38		0,45	0,42	0,47
Vápník (Ca)	%	0,09	0,12	0,17	0,14	0,11	0,22	0,16	0,11	0,18	0,37	0,08		0,19	0,11	0,19
Hořčík (Mg)	%	0,02	0,03	0,13	0,04	0,02	0,12	0,07	0,04	0,18	0,15	0,03		0,07	0,03	0,14
Síra (S)	%	0,03	0,03	0,08	0,03	0,04	0,08	0,04	0,04	0,08	0,05	0,03		0,04	0,04	0,08

Tabulka 2. Měsíční úhrny srážek v Lukavci u Pacova během vegetačních sezón v letech testování ověřené technologie

Měsíc	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Průměr (1961 – 2010)	39,8	66,1	74,7	79,8	78,2	50,0	38,0
2013	10,9	92,2	251,6	64,9	119,7	67,2	38,7
2014	56,8	148,3	69,4	72,8	77,8	115	51
2015	23,5	55,6	62,6	20,8	94,3	24,4	75,4
2016	32,0	89,3	58,4	110,5	22,8	16,4	79,7

Tabulka 3. Výstup ověřování výnosů biomasy, vyplavení dusičnanového dusíku do půdních vod (N-NO₃ voda) a obsahů reziduálního dusičnanového dusíku v půdní hloubce 0-60 cm (N-NO₃ půda) po jednorázové aplikaci digestátu a fugátu ve srovnání s nehnojenou kontrolou a minerálními hnojivy.

Varianty hnojení			Nehnojeno			Minerální hnojivo			Digestát			Fugát				
Parametry vč. jednotek			Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda		
Rok	kg N/ha	Předplodina	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha		
2013	140	Pšenice oz.	29,40	15,36	6,10	43,47	32,06	14,32	39,17	25,78	8,14	41,40	24,56	9,45		
2014	180	Ječmen j.	32,18	24,27	27,93	42,07	63,06	97,52	37,46	44,10	68,36	38,94	38,27	33,37		
2015	160	Ječmen j.	26,65		11,99	31,81		81,32	30,18		14,19	30,08		87,00		
2015	160 inhib	Ječmen j.							28,45		20,22	28,18		82,96		
2015	160	Kukuřice				0,00	23,08		153,95	23,46		12,61	22,65		103,91	
2016	140	Ječmen oz.		33,65	35,60	0,04	40,81	36,69	128,03	38,18	34,01	0,04	39,91	35,43	0,04	
2016	140 inhib	Ječmen oz.									37,72		3,46	37,36	41,53	0,04
2016	180	Ječmen oz.	39,56				35,60	181,07	37,76	42,65	4,81	38,01	43,86	13,67		
2016	180 inhib	Ječmen oz.									38,00	26,54	0,04	41,73	39,34	20,99

Tabulka 4. Výstup ověřování výnosů biomasy, vyplavení dusičnanového dusíku do půdních vod (N-NO₃ voda) a obsahů reziduálního dusičnanového dusíku v půdní hloubce 0-60 cm (N-NO₃ půda) po dělené aplikaci digestátu a fugátu ve srovnání s nehnojenou kontrolou a minerálními hnojivy.

Varianty hnojení			Nehnojeno			Minerální hnojivo			Digestát			Fugát		
Parametry vč. jednotek			Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda
Rok	kg N/ha	Předplodina	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha
2013	140	Pšenice oz.	29,40	15,36	6,10	42,01	32,94	28,67				42,30	25,70	10,91
2014	180	Ječmen j.	32,18	24,27	27,93	41,07	45,51	97,13				39,07	27,69	33,64
2015	160	Ječmen j.	26,65		11,99	30,66		88,95	28,40		14,28	28,48		98,46
2015	160	Kukuřice	18,42		0,00	21,92		143,96				20,93		34,84

Tabulka 5. Výstup ověřování výnosů biomasy, vyplavení dusičnanového dusíku do půdních vod (N-NO₃ voda) a obsahů reziduálního dusičnanového dusíku v půdní hloubce 0-60 cm (N-NO₃ půda) po aplikaci separátu a separátu s přihnojením fugátem či močovinou ve srovnání s nehnojenou kontrolou.

Varianty hnojení			Nehnojeno			Separát (samotný)			Separát + přihnojení fugátem			Separát + přihnojení močovinou		
Parametry vč. jednotek			Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda	Výnos biomasy	N-NO ₃ voda	N-NO ₃ půda
Rok	kg N/ha	Předplodina	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha	t/ha	mg/l	kg/ha
2013	140	Pšenice oz.	29,40	15,36	6,10	32,04	13,73	11,13						
2014	180	Ječmen j.	32,18	24,27	27,93	34,80	28,69	37,84				39,61	28,81	52,67
2015	160 (podzim)	Ječmen j.	24,92	23,01	11,99		21,61		23,28		92,38	26,59		138,16
2015	160 (jaro)	Kukuřice	18,42		0,00				23,61		3,50	27,16		45,46

Příloha

Tabulka č. 6 z aktuálního znění Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu (č. 235/2016)

Maximální celková dávka dusíku v období po sklizni hlavních plodin

Způsob hnojení	I. aplikační pásmo		II. aplikační pásmo		III. aplikační pásma			
					a) půdy se středním rizikem infiltrace		b) půdy s vysokým rizikem infiltrace	
	A*	B*	A*	B*	A*	B*	A*	B*
1. K ozimé plodině následující po obilnině	60	120	50	100	40	80	20**	0
2. K ozimé plodině následující po jiné předplodině než je obilnina	40	80	30	60	15**	0	15**	0
3. K meziplodinám, s výjimkou čistých porostů jetelovin a luskovin nebo k podpoře rozkladu slámy, s výjimkou slámy luskovin, olejnin a jetelovin pěstovaných na semeno***	60	120	50	100	40	80	40	80
4. Pro následné jarní plodiny****	0	100	0	80	0	80	0	0

Vysvětlivky:

- * A. maximální celková dávka dusíku v minerálních dusíkatých hnojivech, v kg N/ha.
B. maximální celková dávka celkového dusíku ve hnojivech s rychle uvolnitelným dusíkem, v kg N/ha.
- ** v případě hnojení pro cibuli ozimou a česnek ozimý je maximální dávka 40 kg N/ha.
- *** použití minerálních dusíkatých hnojiv je možné pouze v případě, že bude následovat ozimá plodina nebo bude meziplodina ponechána na zemědělském pozemku minimálně do 15. února následujícího kalendářního roku.
- **** použití hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem je možné až v období od 1. října do začátku období zákazu hnojení podle tabulky č. 1 této přílohy, pouze s inhibítorem nitrifikace, a to způsobem a v dávce uvedené v příbalovém letáku nebo schválené etiketě.