

KOMPLEXNÍ ÚPRAVA ODPADNÍCH PRODUKTŮ Z BIOPLYNOVÝCH STANIC

Certifikovaná metodika č. 011/30-11-2017_UM

Ing. Jana Kodymová, Ph.D.

doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D

prof. Dr. Ing. Miroslav Kyncl

Ing. Martin Vavrečka

Ing. Magdaléna Bártková

Ing. Hana Švehláková



VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA



Certifikovaná metodika č. 011/30-11-2017_UM je výsledkem řešení projektu
QJ1320159 „VÝZKUM ZPRACOVÁNÍ, VYUŽITÍ A ZNEŠKODŇOVÁNÍ ODPADNÍCH PRODUKTŮ
Z BIOPLYNOVÝCH STANIC“

V rámci metodiky se autoři odkazují na výsledky poloprovozního ověření (ev. číslo 003/19-12-2016_PO) a funkční vzorky DIGESTFERT 1 a DIGESTFERT 2 (ev. č. 039/02-11-2016_F a ev. č. 040/02-11-2016_F)

Recenzenti: Ing. Jiří Thiemel, Ph.D., technolog bioplynové stanice – odborný oponent z oboru
Ing. Radislav Hájek, vedoucí oddělení životního prostředí, MěÚ Orlová – pracovník
odborného orgánu státní správy



Obsah

Obsah.....	3
Cíle metodiky.....	4
Úvod	4
Kategorie BPS	5
Digestát.....	5
Současný stav nakládání s digestátem v České republice	6
Právní předpisy k nakládání s digestátem a pro substráty.....	7
Metodika pro ověření možnosti využití digestátu.....	8
Polní testování na zemědělské plodině Zea mays.....	8
Materiál a metody.....	9
Výsledky.....	11
Využití digestátu při tvorbě hrnkových kultur.....	13
Materiál a metody.....	15
Výsledky.....	16
Srovnání novosti postupů.....	20
Popis uplatnění certifikované metodiky.....	20
Ekonomická aspekty	20
Literatura	22

Cíle metodiky

Z našich výzkumů vyplynulo, že na základě poměru $BSK_5:CHSK_{Cr}$ je digestát těžce biologicky rozložitelná látka, což bylo očekáváno vzhledem k faktu, že organické látky ve vstupním materiálu byly rozkládány anaerobní fermentací po dobu cca 40 a více dní.

Pokud bychom se podrobněji podívali na některé základní nutrienty – např. fosfor a amoniakální dusík, je zřejmé, že fosfor je z podstatné části v separátu, kdežto distribuce amoniakálního dusíku je do obou fází přibližně stejná. (Heviánková et al. 2015)

Hlavním cílem této metodiky tedy je nakládat s digestátem takovým způsobem, aby došlo k maximálnímu zachování jeho nutrientů, a zároveň byl podpořen jeho hnojivý účinek za cenu přiměřených cenových nákladů.

První doporučený způsob podle této metodiky v případě použití digestátu pro zemědělské účely, je jeho obohacení o organickou složku. Organická složka je v tomto případě reprezentována senáží, ale může být nahrazena i siláží. Cílem této metodiky je zapravit do půdy společně s digestátem také organickou složku, která by alespoň částečně kompenzovala úbytky organické hmoty (půdního organického uhlíku), ke kterým v rámci zemědělské praxe dochází.

Druhým doporučeným způsobem je využití digestátu pro tvorbu hrnkových kultur. Tímto způsobem není možné zpracovávat vznikající velké objemy digestátu, ale lze tak poměrně snadno z odpadních produktů vytvořit potenciálně prodejný produkt.

Úvod

Využití alternativních zdrojů energie je také nedílnou součástí energetické politiky Evropské unie, v nichž má počet bioplynových stanic rostoucí tendenci. (směrnice 2009/28 / EC, 2009)

Biologický rozklad organických látek je složitý vícestupňový proces, na jehož konci působením metanogenních acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů vzniká bioplyn, který se v ideálním případě skládá ze dvou plynných složek, metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů.

Průběh tohoto procesu ovlivňuje řada faktorů. (Straka 2005; Schulz, Eder 2004; Pastorek, Kára, Jevič 2004; Dohányos 2003; Dubrovin 2004) Např. tento proces je velice citlivý na změny pH, vlhkost a na výkyvy teplot a nevhodná změna surovinové skladby může produkci bioplynu prudce snížit nebo fermentační proces zcela zastavit. Pro správný průběh anaerobní digesce je důležité, aby vsázkový substrát měl vhodný poměr organického uhlíku a nutrientů. Vedle dusíku a fosforu je žádoucí v substrátu přítomnost řady mikro nutrientů. Z literárních údajů vyplývá, že jde zejména o Na, K, Ca, Mg, Fe, S, Ni, Co, Mo, Se a W. (Usták et al. 2004; Usták et al. 2005)

V předchozích dvaceti letech došlo k velkému rozvoji bioplynových stanic v rámci ČR. Podle údajů české bioplynové asociace je v současné době registrováno přes 550 bioplynových stanic. Tento rozvoj je podporován jednak fixními tarify pro výkup energie z neobnovitelných zdrojů (směrnice 2009/28/EC, 2009), a zároveň i směrnicí 1999/31, která je zaměřena na snížení biologicky rozložitelných odpadů na skládkách o 35% do roku 2020.

Kategorie BPS

Z hlediska zpracovávaných surovin lze bioplynové stanice dělit následovně:

- zemědělské bioplynové stanice jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, resp. podestýlky.
- čistírenské BPS zpracovávají pouze kaly z biologických čistíren odpadních vod a jsou organickou součástí čistírny odpadních vod.
- ostatní BPS zpracovávají ostatní vstupy

Finálním produktem bioplynové stanice je jednak vyrobená energie (v podobě elektrické energie a tepla), a zároveň i odpadní produkt, který se nazývá digestát. Podle Frosta a Gilinsona (2011), produkuje průměrná bioplynová stanice o výkonu 1320 kWh/den (při výkonu 460 kWh ve formě elektrické energie a 860 kWh ve formě tepelné energie) průměrně 19,8 t digestátu/den (což znamená 7227 t digestátu/rok). S tímto množstvím odpadního materiálu musí být dále nakládáno.

Digestát

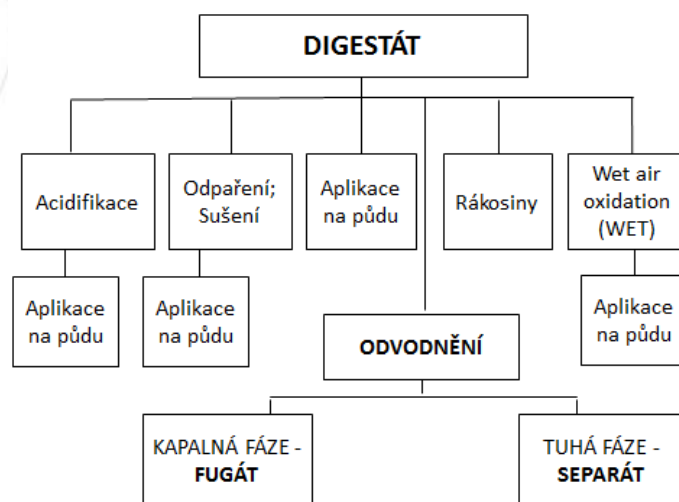
Digestát je stabilizovaný materiál, skládá se z materiálu, který nebyl při digestaci rozložen a z odumřelých mikroorganismů. Jeho vlastnosti jsou z největší části ovlivněny druhem zpracovávané biomasy.

Digestát je možné dělit podle různých hledisek, například podle sušiny, vstupních surovin nebo podle způsobu nakládání s ním. Nejčastěji se setkáme s digestátem, kde vstupní suroviny jsou ze zemědělství a z hlediska nakládání je nejrozšířenější použití pro hnojení, kde je nutno zmínit, že problémem z pohledu zemědělců je jeho velké množství a fakt, že je tekutý, tj. že obsah sušiny je nízký.

Existují různé pohledy na digestát, ať už začneme na straně jedné, kdy se považuje za výborné organominerální hnojivo, přes názory zohledňující pozitivní i negativní vlastnosti až k pohledu, který prezentuje digestát jako odpad, kterým se do půdy vnáší rizikové látky, které nejsou schopny půdní mikroorganismy dále rozložit, a proto se v ní jen hromadí.

Na základě doposud zjištěných informací a zkušeností s tímto materiálem lze konstatovat, že složení digestátu jej předurčuje k využití k hnojivým účelům, neboť obsahuje vysoké koncentrace dusíku, fosforu a draslíku. Na straně druhé obsahuje velké množství organických látek, ale z principu jeho vzniku, kdy veškeré rozložitelné organické látky byly přeměněny v průběhu dlouhého procesu anaerobní fermentace za vzniku bioplynu, nelze předpokládat, že organické látky přítomné v digestátu budou dobře využitelné půdními mikroorganismy. (Tambone et al. 2009, 2013; Marcato et al. 2009). Digestát lze považovat také za mineralizovanou hmotu, která je využitelná pro doplnění půdních částic chybějících v důsledku erozních procesů, jako velmi problematický se jeví vysoký obsah vody. Sušina digestátu se pohybuje zpravidla mezi 2-6%.

Na následujícím schématu jsou znázorněny možnosti nakládání resp. čištění digestátu. (Blumerg 2014; Chambers 2011; Chauzy et al. 2010; Fuschs et al. 2010; Nielsen 2005; Degremont. Heliantis™ Solar SludgeDrying 2012)



Obrázek č. 1: Vybrané možnosti nakládání s digestátem

Digestát lze aplikovat tedy přímo na půdu, což je postup, který je standardně využíván. Vliv aplikace digestátu na akumulaci živin v půdě je závislý na půdním typu, klimatických podmínkách, složení vstupních surovin a dávkování. Pro zabránění uvolnění amoniaku lze použít proces acidifikace, nicméně je nutno počítat s tím, že tato úprava digestátu bude spojena po jeho aplikaci na půdu s acidifikací půdy, což je samo o sobě u většiny typů půd nežádoucí.

Jak již bylo uvedeno, problematickou vlastností digestátu je nízký obsah sušiny, proto jednou z možností a samostatnou kapitolou nakládání s digestátem je jeho zahušťování a odvodňování. Při těchto procesech se uplatňují síly gravitační, odstředivé případně tlakové. Na tento postup v současnosti existuje řada metodik i v rámci ČR. (Tlustoš, P. a kol.)

Při zahušťování lze dosáhnout sušiny kalu 5-10%. Pro tyto účely lze využít například horizontální pásový filtr nebo odstředivku. Proces lze intenzifikovat přidávkou polymeru, který způsobí vyvločkování koloidních částic. Nicméně dávky polymerů jsou vyžadovány extrémně vysoké (Heviánková et al. 2014). Při odvodňování - lze dosáhnout sušiny kalu 18% a více. Pro tyto účely lze použít sítopásové lisy nebo odstředivky a rovněž v tomto případě lze proces intenzifikovat dávkováním polymeru. Oddělená tuhá fáze se nazývá separát; kapalná fáze fugát.

Současný stav nakládání s digestátem v České republice

Názory na využití digestátu a jeho frakcí jako hnojiva pro zemědělské plodiny jsou nejednotné. Například studie z roku 2006 považuje digestát za výborné hnojivo použitelné bez omezení v zemědělství (FITA, 2006). Naopak rozdílného názoru je Kolář et al. (2010), který tvrdí, že digestát je slabým minerálním hnojivem, z důvodu nízkého obsahu minerálních živin (dusíku a draslíku), a to v přebytku vody.

Z hlediska výstupu fermentačního zbytku z bioplynové stanice je několik možností jeho využití:

- aplikace výstupu z BPS přímo na zemědělskou půdu v souladu s příslušnými právními předpisy (zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd ve znění pozdějších předpisů),

- pokud se jedná o výstup z metanizační nádrže na čistírenské BPS jedná se o upravený kal, a je s ním nakládáno v souladu s příslušnými právními předpisy,
- pokud výstup z BPS není aplikován na zemědělskou půdu, pak se jedná o odpad, případně rekultivační digestát a musí s ním být nakládáno v souladu s příslušnými právními předpisy.

Nejvyužívanější možností je přímá aplikace přímo na půdu, což je postup, který je standardně využíván. (Herrmann 2013; Svoboda et al. 2013; Lijó et al. 2015) Užití digestátu na zemědělskou půdu v rámci zemědělského podniku nepodléhá ohlášení ani registraci. Na základě doposud zjištěných informací a zkušeností s tímto materiálem lze konstatovat, že složení digestátu jej předurčuje k využití k hnojivým účelům, protože ve fermentoru se až 50 % organického dusíku uvolní ve formě minerální, rostlinám přístupné jako amonný iont. Jde-li o živiny, je to hnojivo převážně minerální a dusíkaté (v absolutních hodnotách by se mohlo zdát, že obsahuje vysoké množství fosforu a draslíku, ale z hlediska agrochemie se jedná o relativně nízká množství (Kolář et al. 2010). Na straně druhé obsahuje velké množství organických látek, ale z principu jeho vzniku, kdy veškeré rozložitelné organické látky byly přeměněny v průběhu dlouhého procesu anaerobní fermentace za vzniku bioplynu, nelze předpokládat, že organické látky přítomné v digestátu budou dobře využitelné půdními mikroorganismy. Podle Šimona et al. (2015) a jeho pokusech na ozimné pšenici, ale lze zvýšit obsah organického C o 2 % ve srovnání s nehnojenou kontrolou. Digestát se slámou zvýšil významně obsah dostupného C v půdě (o 8 %). Zároveň je časté, že v praxi však často nejsou nezohledňovány 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.

Právní předpisy k nakládání s digestátem a pro substráty

V podmínkách ČR je s digestátem nakládáno jako s minerálním hnojivem, které je ve vegetační době zapracováno do půdy, toto zapracování do půdy je ošetřeno v rámci evropské směrnice 91/676/EEC, a v české legislativě v rámci n. v. 262/2012 Sb. v aktuálním znění. Oba dokumenty se týkají ochrany vodních ekosystémů před znečišťováním (tzv. eutrofizací). Hnojení digestátem podléhá právním předpisům zejména nové vyhlášce č. 131/2014 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva ve znění pozdějších předpisů a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv v aktuálním znění.

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 (Crosscompliance), která má 7 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).

Z hlediska substrátů je základní fyzikální vlastností objemová hmotnost (OH), používá se pro stanovení objemu rašelin nebo substrátu při obchodování (EN 12580) a pro vyjádření obsahu přijatelných živin v mg na litr substrátu při chemických rozborech (EN 13040). Mezi základní fyzikální vlastnosti lze zařadit i obsah organických (spalitelných) látek a obsah popele (EN 13039). Z pěstitelského hlediska jsou důležité hydrofyzikální vlastnosti, tj. schopnost substrátu zadržet vodu při dostatečné zásobě vzduchu.

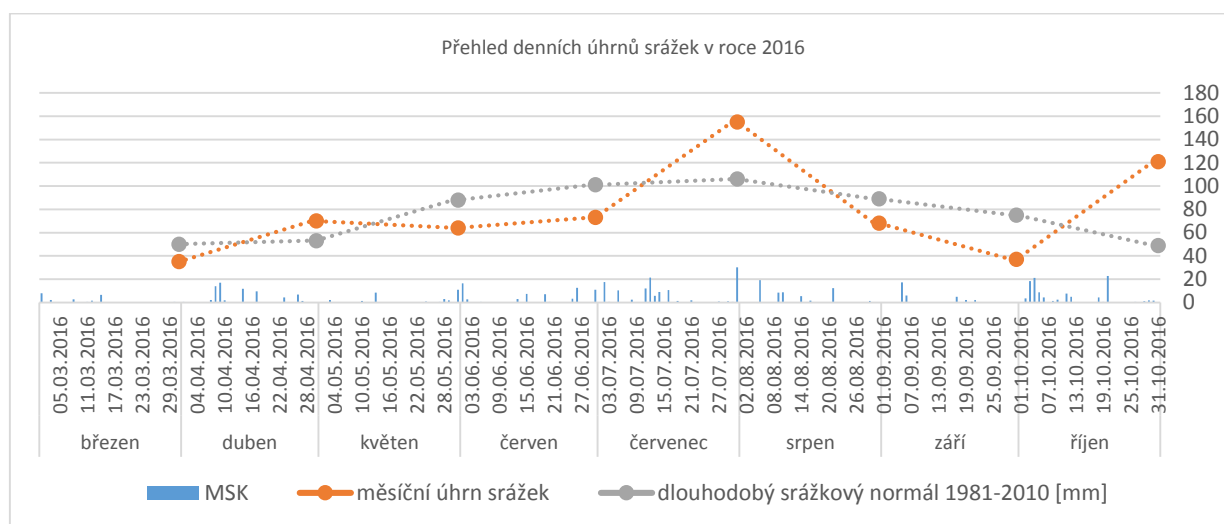
Metodika pro ověření možnosti využití digestátu

V případě digestátu platí stejné zásady, jako u hnojení standartními průmyslovými nebo statkovými hnojivy. Především je třeba brát v úvahu aktuální množství dusíku v zapracovaném digestátu. Ke hnojení digestátem je možné používat pouze stabilizované digestáty produkované při dosažení správného technologického postupu, a dále v případě aplikace na zemědělskou půdu je třeba provádět podle zásad správné zemědělské praxe.

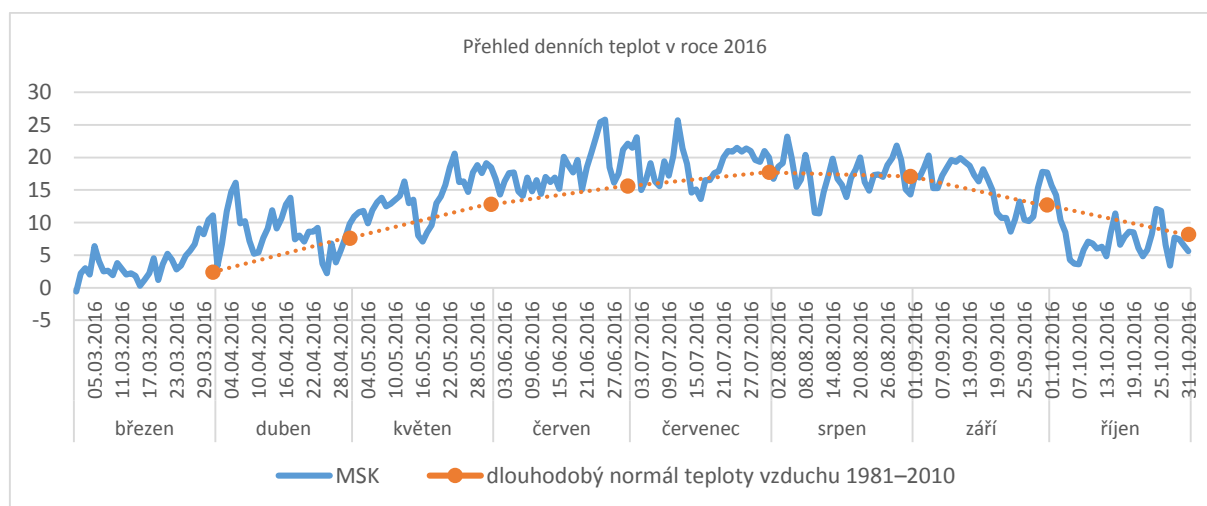
Polní testování na zemědělské plodině Zeamays

Maloparcelní pokusy byly založeny na dvou soukromých farmách v Severomoravském kraji. Testované oblasti se nachází v klimatickém regionu MT10, jedná se o mírně teplou oblast, která se vyznačuje dlouhým teplým a mírně suchým létem, krátkým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem a krátkou mírně teplou a velmi suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky. (Tolász 2007). Průměrná délka období s teplotou vzduchu více než 10 °C je v rozmezí 140–160 dnů a průměrná doba se srážkami více než 1mm za den je 100-120.

Graf 1: Přehled průměrných denních úhrnů srážek ve vegetaci na testovaných lokalitách v roce 2016



Graf 2: Přehled průměrných denních teplot ve vegetaci na testovaných lokalitách v roce 2016



Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2016 v kraji byla 8,4 °C, což je o 1,4 °C více než krajo­vý teplotní normál. Rok 2016 byl hodnocen jako velmi teplý (teplotně silně nadnormální). Podle hodnocení „normality“ byly měsíce březen, duben, květen a srpen hodnoceny jako normální, měsíce červen, červenec a září jako velmi teplé (silně nadnormální). Jako chladný (podnormální) byl hodnocen měsíc říjen.

Roční úhrn srážek byl v kraji průměrně 839 mm, což je 103 % ročního krajo­vého srážkového normálu. Podle hodnocení „normality“ byl rok 2016 charakterizován jako srážkově normální. Měsíce březen, duben, květen a září byly hodnoceny jako srážkově normální, měsíce červen a srpen jako suché (podnormální), měsíc červenec jako vlhký (nadnormální).

Materiál a metody

Mocnost ornice se pohybuje okolo 0,25m. Testování bylo prováněno na úsecích o rozloze 200 m², v místech, která jsou pravidelně využívána pro zemědělské účely. Testované území bylo rozděleno na čtyři úseky o rozloze 50 m². Geomorfologicky náleží testované území k Ostravské pánvi a pedologicky je tvořena oglejenou luvizemí. Testované úseky se nacházely 261m.n.m. a 250 m.n.m. Z toho důvodu bude hlavním omezením této metodiky, že je primárně doporučené pro typy půd, které se nachází v regionu Moravskoslezského kraje (popř. Vysočiny), jak je dokladování i v rozborech v tabulce č. 2 (pro které je typické je především zvýšené množství hliníku a železa).

Poloprovozní testování bylo ověřeno pro tři různé poměrové směsi digestátu a senáže, kterými byly přihnojovány standardní zemědělské plochy. Jednalo se o poměry váhové (senáž:digestátu) a to: 3:1, 5:1 a 10:1. Uvedené poměry byly následně srovnávány se standardní zemědělskou praxí (pouze s požitím standardních hnojiv) a s případem, že bude přihnojováno pouze samotným digestátem.

V rámci obou pokusů byl použit digestát a senáž ze zemědělské bioplynové stanice, který měl následující charakteristiky (tab. 1). Senáž byla před samotným zapracováním do půdy posekána na maximální délku 25 mm, protože její délka přímo ovlivňuje rychlost uvolněných živin do půdy. Charakteristika ornice před testováním je uvedena v následující tabulce č. 2.

Tab. č. 1: Charakteristiky digestátu a senáže včetně legislativně nastavených limitů pro rizikové prvky

ukazatel	jednotka	senáž	senáž z komunálních ploch	legislativní limity pro senáž dle 131/2014 Sb.	digestát	legislativní limity pro digestát dle 131/2014 Sb.	metoda
Arsen	mg/kg sušiny	<0.05	1.32	20	<0.05	20	atomovou absorpční spektrometrií
kadmium	mg/kg sušiny	0.22	0.59	2	0.78	2	atomovou absorpční spektrometrií
kobalt	mg/kg sušiny	2.83	0.5		6.07		plamenové atomové absorpční spektrometrie
Chrom	mg/kg sušiny	<2.5	5.47	100	3.62	100	atomové absorpční spektrometrie
Rtuť	mg/kg sušiny	0.009	0.016	1	0.19	1	analýzátor AMA
molybden	mg/kg sušiny	0.54	<0.05	20	2.9	20	atomovou absorpční spektrometrií
Nikl	mg/kg sušiny	<2.5	4.94	50	11.7	50	plamenové atomové absorpční spektrometrie
Olovo	mg/kg sušiny	<2.5	<0.05	100	<2.5	100	plamenové atomové absorpční spektrometrie
Zinek	mg/kg sušiny	17.5	58.3	600	268	1200	plamenové atomové absorpční spektrometrie

ukazatel	jednotka	senáž	senáž z komunálních ploch	legislativní limity pro senáž dle 131/ /2014 Sb.	digestát	legislativní limity pro digestát dle 131/ /2014 Sb.	metoda
vlhkost	%	32.23	74.3		95.67		žháním a následným dopočtem
dusík amoniakální	mg/kg sušiny	1460			32300		fotometricky
dusík celkový	% v sušině	1.58			7.76		nitračně po destilaci
celkový organický uhlík	% sušiny	41.7			39		metodou infračervené spektrometrie
pH		6.6			7.9		potenciometricky
Fosfor	g/kg v sušině	2.22			10.5		fotometricky
draslík	g/kg v sušině	24.2			30.2		metoda AAS - plamenová technika
vápník	g/kg v sušině	5.51			11.3		metoda AAS - plamenová technika
Hořčík	g/kg v sušině	1.43			9.98		metoda AAS - plamenová technika
Sodík	g/kg v sušině	0.74			6.12		plamenová emisní spektrometrie

Pro výzkum byla použita kukuřice setá (Zeamays) – hybrid Figorinio. V rámci ploch byla použita základní hnojiva: močovina a hnojiva Polidap (minerální hnojivo obsahující fosfor – 46%, dusík – 18% a asi 3% síry) a LAV (ledek amonný s vápencem je dusíkaté hnojivo s obsahem 27 % dusíku). Před setbou byla do půdy nejprve zapravena tato standartní hnojiva a poté byly na výzkumné plochy aplikovány připravené směsi digestátu a senáže.

Digestát byl odebrán dne 27. 5. 2016, v tento samý den proběhlo vytvoření hnojivých směsí a zároveň jejich zapravení do půdy. Zapravení digestátu (i hnojivých směsí digestátu a senáže) bylo provedeno před samotnou setbou. Jednalo se tedy o jednorázové zapravení digestátu, které je vhodné především pro hnojení kukuřice ve středně těžkých a těžkých půdách. Na pokusných parcelách se v průběhu vegetace prováděly běžné agrotechnické operace. Pro podrobnější hodnocení pokusu byly sledovány meteorologické údaje a bylo prováděno sledování hlavních vývojových fází porostu ve čtyřech termínech. Po sklizni proběhlo vyhodnocení výnosu ($t \cdot ha^{-1}$) a množství organické hmoty.



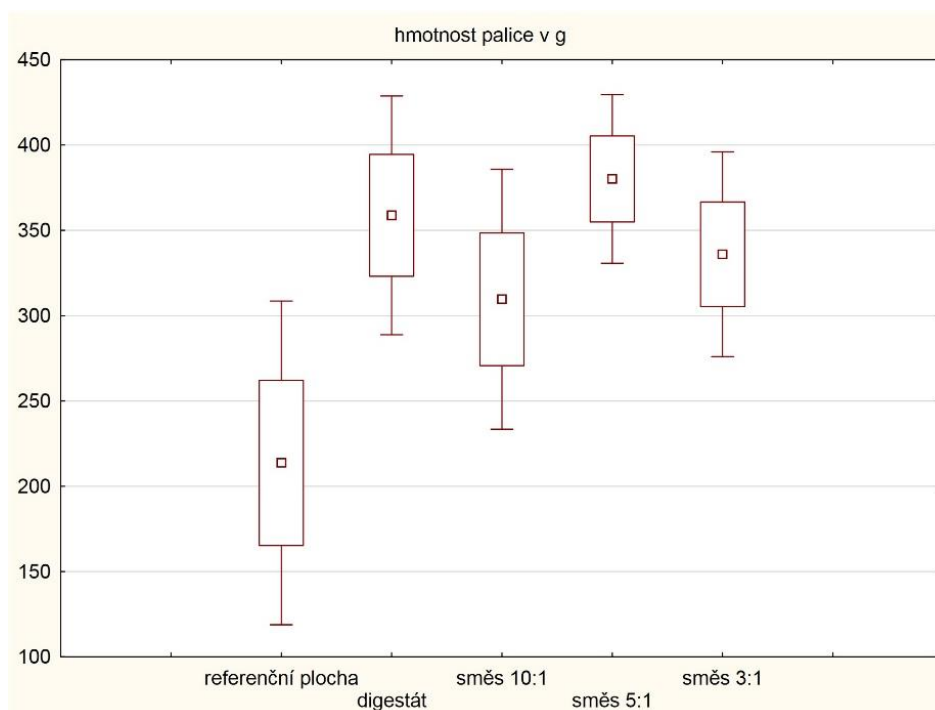
Obr. č. 2: Testovaná pole

Celková výzkumná plocha činila 200 m² (50 m² pro každou variantu hnojení – 10:1, 5:1, 3:1 a hnojeno pouze digestátem). V závislosti na množství předpokládaného dusíku bylo do půdy 27. 5. 2016 aplikováno 100 l digestátu na 50 m² dané testované plochy nebo 120 kg hnojivé

směsi (jednotlivé poměry siláže a digestátu). V tomto případě bylo vycházeno z Nařízení vlády 262/2012 Sb. (v aktuálním znění).

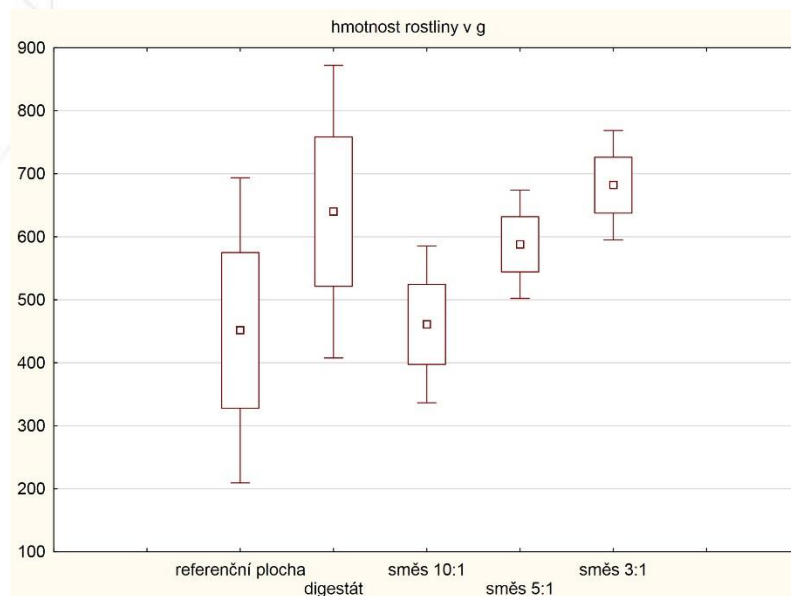
Výsledky

Průměrný **výnos zrna** na referenční ploše byl v pokusu $7.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíly ve výnosech nebyly statisticky průkazné. Tendenčně vyšší výnosy byly zjištěny v případě přihnojování všemi směsmi vč. hnojení digestátem, nejvyšší výnos u zrna byl zjištěn u varianty, kde byla před sázením aplikována směs 5:1 (jeden díl senáže na každých 5 dílů digestátu), který byl průměrně ještě o 5% vyšší než v případě hnojení digestátem. Digestátem bylo hnojeno v souladu s certifikovanou metodikou „Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic“ (Duffková, Mühlbachová a kol. 2016). Výnos plodů byl na této variantě vyšší o cca 5% ve srovnání s variantou optimálního hnojení digestátem a až o 77% vyšší než v případě referenční plochy. Obdobná tendence byla zaznamenána i v případě ostatních hnojivých směsí vč. digestátu, ale rozdíly již byly nižší.



Graf č. 3: Váha jednotlivých palic kukuřice

Průměrný **výnos kukuřice na siláž** na referenční ploše byl v pokusu $32.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíly ve výnosech nebyly statisticky průkazné. Tendenčně vyšší výnosy byly zjištěny v případě přihnojování všemi směsmi vč. hnojení digestátem, nejvyšší výnos zelené hmoty na siláž byl zjištěn u varianty, kde byla před sázením aplikována směs 3:1 (jeden díl senáže na každé 3 díly digestátu), který byl průměrně ještě o 6,5% vyšší než v případě hnojení digestátem. Digestátem bylo hnojeno v souladu s certifikovanou metodikou „Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic“ (Duffková, Mühlbachová a kol. 2016). Výnos plodů byl na této variantě vyšší o cca 6,5% ve srovnání s variantou optimálního hnojení digestátem a až o 51% vyšší než v případě referenční plochy. Obdobná tendence byla zaznamenána i v případě ostatních hnojivých směsí vč. digestátu, ale rozdíly již byly nižší.



Graf č. 6: Váha jednotlivých rostlin kukuřice

V rámci rozborů byla zjištěna i průměrná složková složení v jednotlivých plochách po sklizni. Základní odběry se provedly z orniční vrstvy (25 - 30 cm), tak že se z pěti vpichů udělal vždy směsný vzorek.

Tab. č. 2: Charakteristiky půd z jednotlivých ploch odebraných po sklizni.

ukazatel	jednotka	3:1	5:1	10:1	hnojeno pouze digestátem	referenční plocha	ornice před pokusem	použitá metoda
Al	mg/kg sušiny	21400	22100	20400	22700	22500	16300	metodou AAS – plamenová technika
Fe	mg/kg sušiny	18100	19000	18200	18100	17600	21800	metodou AAS – plamenová technika
celková sušina	%	80.98	83.65	82.91	82.28	80.41	78.49	Gravimetricky
pH (CaCl ₂)		5.5	5.4	5.6	5.5	5.7	6.1	Potenciometricky
Ca – M III	mg/kg sušiny	1342	1355	1465	1349	1402	1250	metodou AAS – plamenová technika
K – M III	mg/kg sušiny	217	237	184	219	234	372	metodou plamenové emisní spektrometrie)
Mg – M III	mg/kg sušiny	128	124	143	128	150	105	metodou AAS – plamenová technika
F – M III	mg/kg sušiny	78	85	70	85	63	167	Fotometricky
Fe – M III	mg/kg sušiny	361	371	363	358	345	386	metodou AAS – plamenová technika
Al – M III	mg/kg sušiny	662	651	613	654	648	1042	metodou AAS – plamenová technika
Mn – M III	mg/kg sušiny	67	73	76	60	73	81	metodou AAS – plamenová technika

ukazatel	jednotka	3:1	5:1	10:1	hnojeno pouze digestátem	referenční plocha	ornice před pokusem	použitá metoda
organický uhlík	% v sušině	2.7	2.31	2.13	2.52	2.75	2.5	Fotometricky
N - amoniakální	mg/kg sušiny	5.01	5.69	2.83	1.49	3.46	13	Titračně
N - dusičitanový	mg/kg sušiny	4.95	7.26	4.84	4.67	4.59	10.3	potenciometricky ISE a sumy minerálního dusíku dopočtem z naměřených hodnot
N - minerální	mg/kg sušiny	9.96	13	7.67	6.16	8.05	28.1	
N celkový	% v sušině	0.13	0.14	0.08	0.14	0.14	0.19	titračně po destilaci a výpočtem

Z hlediska výsledků našeho experimentu můžeme konstatovat, že z **hlediska** distribuce prvků v půdě se hnojivé směsi digestátu a senáže osvědčily, protože půdy navzorkované na jednotlivých testovacích plochách vykazovaly vyšší koncentrace přístupných forem vybraných mikro a makronutrientů. V případě směsí byly ve většině případů zaznamenány i vyšší obsahy přístupných živin než u ploch, které byly přihnojovány pouze samotným digestátem. Z hlediska zvýšení množství přístupných živin se ukázala vhodnou především směs o váhovém poměru 5:1 (digestát:senáž), která vykazovala maximální nárůst dusíku, fosforu, draslíku a železa ze všech testovaných směsí ve srovnání s digestátem i referenční plochou. Tato půda tak poskytuje rostlinám v maximální míře základní prvky pro růst a vývoj plodů a regulaci metabolických procesů. Z uvedených rozborů je zřejmé, že všechny směsi vykazovaly vyšší množství celkového hliníku a železa, ale jak již bylo řečeno, jedná se o typickou záležitost půd v Moravskoslezském kraji. Nejvyšší obsah hořčíku a manganu pak vykazovala hnojící směs 10:1 (digestát:senáž), která zároveň i vykazovala nejnižší množství hliníku (a zároveň i přístupného hliníku, který může mít negativní dopad na vývoj kořene). Půda hnojená touto směsí tak podporovala především fotosyntézu v rostlinách (hořčík tvoří centrální atom chlorofylu a mangan podporuje především primární fázi fotosyntézy).

Hlavní omezující podmínkou tohoto testování je vysoká závislost na vnějších faktorech, které jsme nedokázali ovlivnit – především klimatické a půdní podmínky, a zároveň by bylo vhodné provést analýzu testovaných rostlin, aby se zjistilo množství a distribuce prvků v jejich jednotlivých částech. Také je třeba zohlednit, že výsledky budou závislé i na délce stébel zapravené senáže. Je třeba tedy znovu připomenout i to co již bylo prokázáno v předchozích metodikách (Duffková, Mühlbachová kol. 2016; Tlustoš 2013) a to, že hnojení digestátem (a v našem případě vytvořenými směsmi) je možné zajistit stabilnější výnosy především během suchých let. V našem případě vykazovalo absolutně nejvyšší hodnoty hnojení digestátem, v průměru se však ukázala účinnější a stabilnější hnojení směsí digestátu a senáže.

Využití digestátu při tvorbě hrnkových kultur

V případě hrnkových kultur je klíčová především hodnota pH, která charakterizuje reakci substrátu a hodnota elektrické vodivosti (EC) vodního výluhu, která charakterizuje obsah rozpustných solí, a obsah přijatelných živin (dusík v nitrátové a amonné formě, P, K, Mg a Ca).

Na základě hodnocení chemických a fyzikálních vlastností jsou pro přípravu pěstebních substrátů vhodné pouze separáty ze zemědělských BPS. Vzorky digestátu pro praktickou práci v laboratořích byly odebírány na BPS Pustějov (PUS) dne 20. 11. 2015 a BPS Velké Albrechtice I (VA I), Velké Albrechtice II (VA II) dne 25. 11. 2015. Odběr byl proveden po předchozí konzultaci s jednotlivými technologiemi zajišťujícími provoz bioplynových stanic v množství přibližně 15 litrů. V době odběru poskytly bioplynové stanice digestát různých charakteristik na základě fermentovaných materiálů. V případě BPS Velké Albrechtice I byla základním tekutým substrátem vepřová kejda. V BPS Velké Albrechtice II byla vzhledem k odstavení přílehlého vepřína použita pro fermentaci jako tekutá složka odpadní voda z produkce výroby celulózy v kofermentaci s drůbeží podestýlkou a dalšími materiály. BPS Pustějov naopak využívá jako základní tekutou složku hovězí kejdu.

Tab. č. 3: Složení digestátu z jednotlivých bioplynových stanic:

Ukazatel	jednotka	Velké Albrechtice I (VA I)	Velké Albrechtice II (VA II)	Pustějov (PUS)	metoda
draslík jako K ₂ O	g/kg v sušině	30.4	68.7	57.7	plamenová emisní spektrometrie
fosfor jako P ₂ O ₅	g/kg v sušině	31.9	32.8	38.1	fotometricky a P (jako P ₂ O ₅) dopočtem
sušina	%	7.57	4.91	6.49	gravimetricky
spalitelné látky	% v sušině	60.1	59.3	66.1	gravimetricky
poměr C:N		7	6	9	výpočet
dusík amoniakální	mg/kg v sušině	12 700	24 900	6 820	fotometricky, resp. titračně
dusík celkový	% v sušině	4.13	5.2	3.69	titračně

Pro tvorbu hnojivého substrátu na bázi digestátu byly vybrány následující vhodné materiály vhodné k míchání s digestátem nebo fugátem:

- sláma (sójová)
- lihovarské výpalky
- rašelina
- ornice ze zemědělské oblasti (jednalo se o ornici, kde byla zároveň testována kukuřice – tab. č. 2)

Základní požadavky na tyto materiály jsou dány především navyšováním organické hmoty dodávané do půdy, dosažení sorpce amonných iontů z digestátu, aby nedocházelo k úniku dodaného dusíku a tím znevýhodnění digestátu jako hnojiva z pohledu ekonomického i ekologického. Vhodné materiály by rovněž měly být kyselého charakteru ve shodě s distribučním diagramem amonných iontů. V alkalickém prostředí přechází amoniakální dusík do podoby amoniaku. Dalšími požadavky jsou poté schopnost poutat vodu obsaženou v digestátu a bránit tak povrchovému odtoku z místa aplikace. Samotné materiály nesmí být toxické a v neposlední řadě musí jít o materiály legislativně schválené pro použití pro tvorbu hnojivých substrátů a jejich využití na zemědělských půdách. Na základě těchto požadavků se

jako nejvhodnějším zdrojem organických materiálů zdá přímo zemědělská prvovýroba. Zde je možno za tímto účelem využívat nekvalitní sena (travní hmota) nebo slámy. Dalším výrazným zdrojem je městských služeb (kompost). Případně cíleně získávané materiály jako je rašelina nebo ornice.

Materiál a metody

Bylo provedeno testování klíčivosti semen vystavených působení hnojivého substrátu. Postup a hodnocení proběhl v souladu s ČSN EN 16086-2 Pomocné půdní látky a substráty – Stanovení odezvy rostlin – Zkouška s řeřichou na Petriho miskách. Kvůli pevné struktuře substrátu byla z obsažených metod vybrána kontaktní metoda, kdy je semeno vystaveno přímo substrátu v Petriho misce po dobu 72 hodin. Jako referenční vzorek byla zvolena ornice, jejíž složení je uvedeno v tabulce č. 2.

Postup kontaktní metody dle ČSN EN 16086-02

Ve zkoušce jsou semena řeřichy (*Lepidium sativum*) exponována zkoušenému materiálu za konstantních podmínek po dobu 72 hodin. Inhibice růstu a klíčení může být vyvolána fyto toxickými látkami, jako jsou amoniak nebo etylen-oxid.

Testovaný vzorek byl sítován přes síto s okatostí 10mm, následně byl vybrán cizorodý materiál, který na síte uvízl (především kousky plastu). Zbytek nadsítného materiálu, jenž je součástí hnojivého substrátu je nutné rozmělnit. V případě sena nebo různých druhů slámy, bylo jednotlivá stébla nutné nastříhat na délku pod 1 cm. Jednotlivé vstupní materiály byly smíseny se zvoleným vzorkem digestátu a fugátu tak, aby došlo k co nejdokonalejší homogenizaci vzniklého substrátu. Substrát byl dále nadávkován do tří Petriho misek a dokonale urovnán bez stlačování. Z míst, kam mají být vložena semena, se odstraní částice větší 5 mm, aby nepřekážely rozvinutí kořene. Semena řeřichy se rozmístí asi 10 – 20 mm pod horní okraj Petriho misky do jedné řady asi 1 cm od sebe. Pro test se použije 10 semen, které se jemně zatlačí pod povrch zkoušeného materiálu. Je nutné zajistit velmi dobrý kontakt mezi substrátem a semenem. Kontakt zlepšit i zakápnutí semena kapkou vody, která zároveň podpoří klíčení semene. Jako referenční vzorek se použije vápněná a hnojená rašelina nebo vzorek orné půdy. V tomto případě byla pro referenci použita právě odebraná ornice. Referenční test byl rovněž proveden ve třech replikách dle stejného postupu.

Postupně bylo vytvořeno 50 směsných vzorků materiálů, které byly testovány jako hnojivé substráty. Nejdříve byly vytvořeny vzorky za pomoci digestátu bioplynové stanice Velké Albrechtice I, poté byly pozitivní a potenciálně nadějně vzorky testovány opět dalšími druhy digestátu. Testy umožnily rozdělit substráty podle dosažené klíčivosti na:

- vzorky, kde nebylo pozorováno řádné klíčení
- vzorky, kde bylo pozorováno vyklíčení semen v nedostatečné míře tj. klíčivost do 85 %
- vzorky s klíčivostí přesahující hodnotu 85 %.

Vzorky, které dosáhly klíčivosti nad 85 %, jsou považovány z pohledu zkoušky za vzorky s platnou výpovědní hodnotou. Tuto skupinu vzorků můžeme poté na základě indexu délky kořene, případně indexu vitality, které umožní srovnání s referenčním substrátem, považovat za vzorky zlepšující vlastnosti půdy a dodávající optimální poměr živin, což iniciuje zvýšení růstu.

Vzhledem k tomu, že jsme se v rámci směsí pokusili zajistit i do jisté míry imobilizaci amoniakálního dusíku před jeho unikáním ze substrátu v podobě amoniaku, je zvýšení

schopnosti růstu rostlin možné interpretovat i jako potlačení toxického působení amoniaku na rostliny.

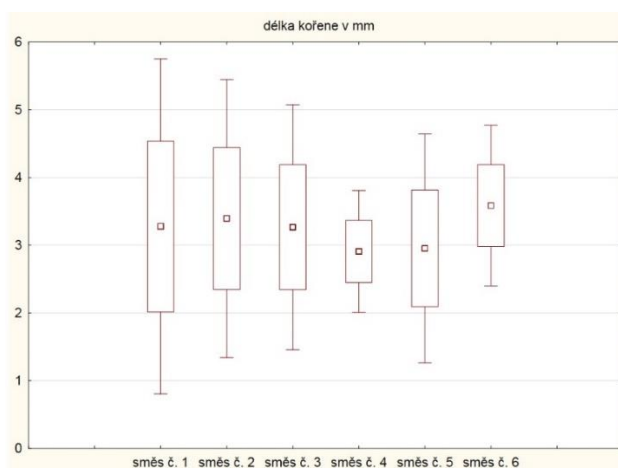
Výsledky

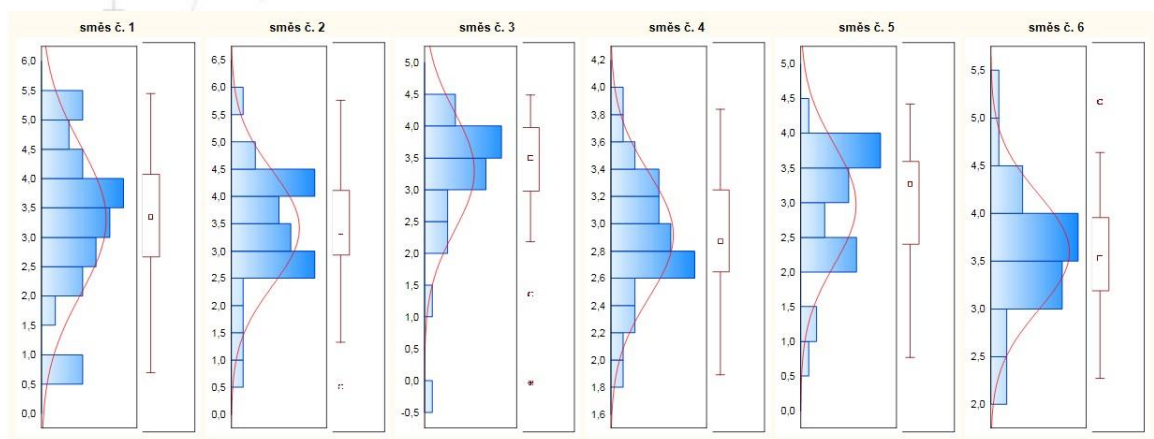
Jako parametry charakterizující jednotlivé vzorky lze použít základní statistické veličiny, jako jsou např. průměrná klíčivost zohledňující všechny tři repliky testování nebo koeficient rozptylu pro klíčivost. Kromě těchto parametrů se standardně hodnotí index délky kořene, koeficient rozptylu délky kořene nebo index vitality podle Munoo-Liisa. [ČSN EN 16086-2]

Ukazatele indexu délky kořene a index vitality jsou z pohledu této práce nejpodstatnějšími, jelikož umožňují přímé srovnání zkoušeného hnojivého substrátu s ornou půdou, která byla v tomto případě zvolena za referenční vzorek. Vzorky vykazující lepší hodnotu růstu délky kořene dosáhnou indexu délky kořene RI nad 100 %. Index vitality kořene dle Munoo-Liisa má podobnou výpovědní hodnotu, avšak zohledňuje i počet vyklíčených semen. V následující tabulce jsou uvedeny klíčové ukazatele a graf znázorňující délky jednotlivých kořenů.

Tab. č. 3: Klíčové ukazatele jednotlivých směsí

	jednotka	referenční ornice	VAI			VAII	PUS	
			směs č. 1 rašelina : sójová sl. : ornice : výpalky : digestát 1 : 1 : 4 : 2 : 1	směs č. 2 rašelina : digestát 1 : 1	směs č. 3 rašelina : kompost : digestát 1 : 1 : 1	směs č. 4 rašelina : sójová sl. : ornice : výpalky : digestát 1 : 1 : 4 : 2 : 1	směs č. 5 rašelina : digestát 1 : 1	směs č. 6 rašelina : ornice : digestát 1 : 2 : 1
Klíčivost	%	100	100	100	100	100	100	100
Průměrná délka kořene	Mm	2.89	3.28	3.39	3.39	2.91	2.95	3.58
Koeficient rozptylu délky kořene	%	-	14.94	10.29	10.29	2.68	8.39	8.69
Index délky kořene	%	-	113.28	117.12	117.12	100.52	102.09	123.93
Index vitality	%	-	113.28	112.92	112.92	100.52	102.09	123.93





Grafy č. 7 a 8: Srovnání délek kořene jednotlivých směsí.

I když v průměru dosahovala nejvyšších hodnot směs digestátu, ornice a rašeliny, absolutně nejvyšších hodnot dosahovala směs substrátu vzniklého z digestátu VA I a VA II spolu s rašelinou, sojovou slámou, částí ornice a výpalky v poměru 1:1:1:4:2. Tato směs je pro naše účely vhodnější, protože tento substrát rovněž nemá plně vyčerpanou savou schopnost. Díky své konzistenci je možné jej bez obav skladovat v minulosti vybudovaných polních hnojištích. Dojde tedy rovněž ke snížení potřeby skladovacích prostor na tekutý digestát. Substrát také klade nižší požadavky na zajištění jednotlivých materiálů, jelikož sójová sláma vzniká jako odpadní produkt mnoha zemědělských družstev a lihovarské výpalky jsou dalším produkovaným odpadem, u něž je třeba zajistit likvidaci. Substráty, které dosáhly požadovaného stupně klíčivosti a délek kořene byly podrobeny chemickému rozboru v akreditované laboratoři. Podrobný přehled chemických vlastností jednotlivých substrátů je uveden v následující tabulce.

Tab. č. 4: Přehledy chemických vlastností jednotlivých substrátů

prvek	jednotka	referenční ornice	VA I			VA II	PUS		metoda
			rašelina : sójová sl. : ornice : výpalky : digestát 1 : 1 : 4 : 2 : 1	rašelina : digestát 1 : 1	rašelina : kompost : digestát 1 : 1 : 1	rašelina : sójová sl. : ornice : výpalky : digestát 1 : 1 : 4 : 2 : 1	rašelina : digestát 1 : 1	rašelina : ornice : digestát 1 : 2 : 1	
arsen	mg/kg v sušině	nebylo měřeno	8.84	0.78	1.46	3.19	0	3.78	AAS- elektrotermická atomizace
kadmium	mg/kg v sušině		0.63	0.43	0.73	0.52	0.22	0.43	AAS- elektrotermická atomizace
chrom	mg/kg v sušině		18	3.22	11.8	15.5	0	13.3	metodou AAS – plamenová technika a dopočtem
měď	mg/kg v sušině		26	18.2	40	25	23.2	30.9	metodou AAS – plamenová technika a dopočtem
železo	mg/kg v sušině		11800	1370	5350	11300	1020	11200	metodou AAS – plamenová technika a dopočtem
rtuť	mg/kg v sušině		0.035	0.036	0.072	0.031	0.029	0.032	analyzátorem AMA
molybden	mg/kg v sušině		1.9	1.42	1.97	1.25	1.83	0	AAS- elektrotermická atomizace
nikl	mg/kg v sušině		15.7	2.77	7.46	13.3	0	13.9	metodou AAS – plamenová technika a dopočtem
olovo	mg/kg v sušině		12.5	10.5	14.2	23.9	7.02	13.8	metodou AAS – plamenová technika a dopočtem
zinek	mg/kg v sušině		55.6	65.9	132	43.7	49.2	49.9	metodou AAS – plamenová technika a dopočtem
pH (CaCl ₂)		6.1	6.3	4.7	5.7	6.6	4.3	4.7	potenciometricky

Vápník - M III	mg/kg v sušině	1250	4365	4613	6736	3893	3338	3300	AAS–plamenová technika
Draslík - M III	mg/kg v sušině	372	1611	2649	8097	2233	3293	1542	plamenové emisní spektrometrie
Hořčík - M III	mg/kg v sušině	105	1086	1880	1781	983	1330	645	AAS–plamenová technika
Fosfor - M III	mg/kg v sušině	167	460	1140	1698	416	1542	578	fotometricky
Spalitelné látky	mg/kg v sušině		31.1	94.1	71.6	34.4	93.5	31	gravimetricky
dusík amoniakální	% v sušině	10.3	43	3650	360	55.4	2750	337	fotometricky, resp. titračně
dusík dusičnanový	mg/kg v sušině	28.1	23.9	20.8	1490	23.6	76.2	382	potenciometricky ISE a sumy minerálního dusíku dopočtem z naměřených hodnot
dusík minerální	mg/kg v sušině	38.4	66.9	3670	1850	79	2830	719	
Index vitality	%	100	113.26	117.33	112.92	100.52	102.09	123.92	

Ze srovnání průměrných výsledků analýz separátů s limity pro substráty dle příl. č. 1 k vyhlášce č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů vyplývá, že hodnoty všech rizikových prvků jsou výrazně podlimitní.

Tato stanovení ukázala vysoké hodnoty vázaného dusíku v amoniakální formě především u vzorku digestátu s rašelinou ve dvousložkové směsi. V případě substrátů s přidavkem zeminy a kompostu je vyhodnocení obsahu dusíku problematické, jelikož se obsah dusíku vztahuje k sušině vzorku. Přidání půdy a kompostu vedlo k výraznému nárůstu obsahu sušiny a tedy pomyslnému „rozředění“ dusíku v této sušině, která dusík neobsahovala. Z výsledků jsou rovněž patrné vysoké koncentrace železa v substrátech vytvořených mísením se vzorky ornice, což je pro daný typ zeminy normální. Substráty dosáhly obsahu vápníku, hořčíku a draslíku v řádech několika tisíc mg/kg v sušině. Staly se tedy významnými nositeli prvků doplňkové výživy rostlin. Ostatní kovy a zvláště nebezpečné těžké kovy se v substrátech nacházely jen ve stopových množstvích. Žádný ze substrátů tak neporušuje zákonné požadavky na obsah těžkých kovů pro aplikaci na zemědělskou půdu a je možné je využít bez omezení. Přidání bílé rašeliny a lihovarských výpalků do substrátů má výrazný vliv na výsledné pH. Obecně je pro růst rostlin výhodnější mírně kyselé prostřední. Substráty založené pouze na digestátu a rašelině dosáhly pH kolem 4,7. Můžeme je tedy charakterizovat jako vhodné spíše pro kyselomilné rostliny, avšak v praxi je možné se setkat i s univerzálními zahradními substráty, které dosahují pH v rozmezí 4,5 – 5,5. Podstatný je vysoký obsah živin v těchto substrátech, čímž se stávají nevhodnými pro rostliny, které přirozeně rostou v podmínkách chudších (např. kaktusy). Substráty, kde se jednou z přidávaných složek stala půda nebo kompost, se blíží pH více k neutrální oblasti 5,7 - 6,6. Stávají se tak nevhodnými pouze pro kyselomilné rostliny, jinak jsou z pohledu pH univerzálnějšími.

V rámci směsí se potvrdilo, že přidavek digestátu v kombinaci s rašelinou výrazně ovlivňuje fyzikální vlastnosti substrátu (graf 3). Zvyšuje vzdušnou kapacitu a snižuje obsah vody lehce dostupné pro rostliny (LDV).

Srovnání novosti postupů

Metodika se zaměřuje na nové poznatky o možnostech použití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic k vytvoření hnojivých směsí pro zemědělské účely a zároveň i alternativu využití menšího množství digestátu pro vytvoření druhotného prodejného produktu v podobě hrnkových směsí. Směs je vytvořena tak, aby došlo ke stabilizaci amoniakálního dusíku obsaženého v digestátu a omezil se tak jeho únik v podobě plynného amoniaku. Fixace dusíku je založena především na distribučním diagramu amoniakálního dusíku v závislosti na pH a sorpci na organické složky. Substrát lze považovat za příznivý i z pohledu jeho fyzikálních vlastností jako je nasákavost nebo pórovitost.

V metodice jsou uvedeny výsledky srovnání aplikace digestátu a aplikace vytvořených hnojivých směsí na praktickém příkladu pro pěstování kukuřice. Navazuje se tak na předchozí výzkumy, kdy při použití digestátu (u kterého je vzhledem k původu nízký obsah dostupné organické hmoty pro mikroorganismy) je vždy doporučováno zajištění přísunu rozložitelné organické hmoty (např. slámou, mulčem meziplodiny, hnojem nebo kompostem), aby nedocházelo k jejímu nadměrnému rozkladu a snižování celkového obsahu v půdě a rovněž i k tvorbě dusičnanů v nežádoucím období. Tento výsledek by ověřen v rámci poloprovodní technologie.

Žádná z předchozích metodik technologie užití digestátu se podrobně nezabývala možnostmi aplikace digestátu v takto uceleném rozsahu.

Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika je určena zemědělským poradcům, organizacím, které sdružují provozovatele bioplynových stanic, pracovníkům ve státní správě a především managementu zemědělských podniků bez ohledu na jejich velikost. Metodika bude uplatněna v zemědělské prvovýrobě, v podnicích, které zároveň provozují bioplynová stanice a využívají digestát ze zemědělských bioplynových stanic ke hnojení.

Ekonomické aspekty

Primárním cílem provozovatelů bioplynových stanic není prodej digestátu za účelem finančního zisku, a proto je nutné k tomuto produktu na základě uvedené skutečnosti přistupovat. Digestát je pouze vedlejší produkt výroby bioplynu. Dle vyhlášky č. 131/ 2014 Sb. je digestát definován jako organické hnojivo vzniklé anaerobní fermentací při výrobě bioplynu ze statkových hnojiv a krmiv.


V případě vytvoření hnojivých substrátů pro zemědělské účely bychom mohli použít následující kalkulace cen:

Cena digestátu se odvíjí od množství dusíku v digestátu, ale standardně se jedná o cca 60 Kč za tunu digestátu bez DPH (v případě digestátu s průměrným množstvím dusíku).

Cena senáže je cca 1- 2 Kč za kg senáže bez DPH (v závislosti na její kvalitě a stupni napěchovanosti balíku).

V případě poměru 3:1 by se tedy jednalo o cenu 0,765 - 1,515 Kč/kg směsi bez DPH (0,75 – 1,5 Kč za senáž a 0,015 Kč za digestát).

V případě poměru 5:1 by se tedy jednalo o cenu 0,831 – 1,668 Kč/ kg směsi bez DPH (0,83 – 1,667 Kč za senáž a 0,001 Kč za digestát).



V případě poměru 10:1 by se tedy jednalo o cenu 0,9095 – 1,8186 Kč/ kg směsi bez DPH (0,909 Kč za senáž a 0,0005 Kč za digestát).

Postup je potenciálně využitelný pro producenty odpadů z anaerobní digesce (např. provozovatele bioplynových stanic), kteří zároveň provozují zemědělskou činnost.

V případě vytvořených hrnkových kultur autoři vytvořili následující funkční vzorky pro substráty:

Složení substrátu na 25 l balení tj. 6,6 kg:

- Digestát: 2,2 kg = 2,2 l
- Rašelina: 2,2 kg = 18,38 l
- Kompost: 2,2 kg = 4,41 l

Výrobní cena takto vytvořeného substrátu pro hrnkové kultury je 44,00 Kč/bal. vč. DPH. Běžná prodejní cena hnojivých substrátů = 80 Kč/bal vč. DPH. Očekávaný zisk z prodeje 1 balení substrátu tak může dosahovat hodnoty 36 Kč/bal. Toto poměrové složení hrnkové kultury je v tuto chvíli registrováno jako funkční vzorek s názvem DIGESTFERT 1.

Složení substrátu na 25 l balení tj. 7,5 kg:

- Digestát: 0,833 kg = 0,834 l
- Rašelina: 0,833 kg = 6,94 l
- Sojová sláma: 0,833 kg = 13,89 l
- Lihovarké výpalky: 1, 66 kg = 1,67 l
- Ornice: 3,33 kg = 1,66 l

Výrobní cena takto vytvořeného substrátu pro hrnkové kultury je 24,00 Kč/bal. vč. DPH. Běžná prodejní cena hnojivých substrátů = 70 Kč/bal vč. DPH. Očekávaný zisk z prodeje 1 balení substrátu tak může dosahovat hodnoty 46 Kč/bal. Toto poměrové složení hrnkové kultury je v tuto chvíli registrováno jako funkční vzorek s názvem DIGESTFERT 2.

Substráty je možné využít pro přímý prodej velkopěstitelům nebo zahrádkářům. Z povahy substrátu vyplývá vhodnost jeho použití v pěstitelství kyselomilných rostlin.

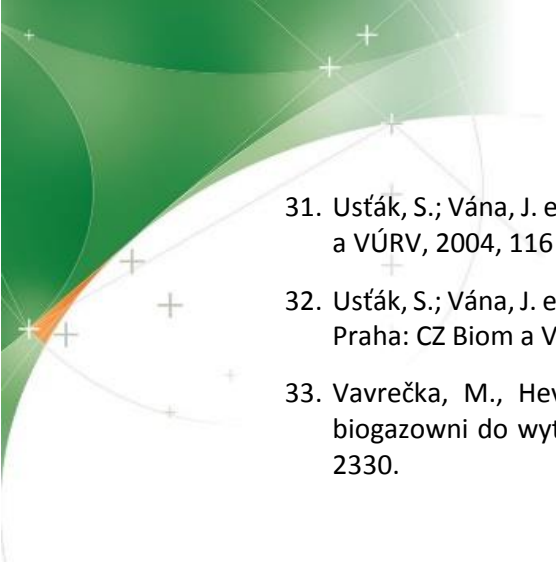
Poděkování

Metodika byla zpracována za podpory Národní agentury pro zemědělský výzkum Ministerstva zemědělství ČR v rámci projektu QJ1320159.

Literatura

1. AGRO VITALLO. KWS [online]. 2014 [cit. 2015-03-28]. Available:<https://www.kws.sk/ca/fr/fgmo/?region=aaaaaaaaaaaawzx>
2. Blumerg I. Reed Bed Sludge Treatment. [online] Available: <http://www.blumberg-engineers.com/Gallery/Reed-bed-sludge-treatment.html> (2014-09-12)
3. ČSN EN 16086-2 Pomocné půdní látky a substráty - Stanovení odezvy rostlin - Část 2: Zkouška s řeřichou na Petriho miskách. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
4. Degremont. Heliantis™ Solar SludgeDrying. 2012
5. Dohányos M., Zábranská J., Jeníček P., Fialka P., Kajan M. Anaerobní čistírenské technologie. 1. vyd. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 1998.345 s. ISBN 80-860020-19-3.
6. Duffková, R., Mühlbachová, G. a kol. Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic. Praha: VÚMOP, v.v.i a VÚRV, v.v.i., 2016, 64 s.
7. EuropeanDirective 2009/28 / EC of 23 April 2009 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official Journal L 375, 31.12.1991, pp. 1–8
8. Evropská směrnice 2009/28/EC z 23. dubna 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Official Journal L 140, 5. 6.2009, pp. 1–62
9. FITE A.S. (2006) Study on the use of biodegradable wastes. 2006, 39 s. Available:http://www.koprivnice.cz/urad/dokumenty/studie_BRO_KV.pdf
10. Fuschs W.; Wager F.; Kirchmayr R.; Braun R.; Dorsg B. Digestate Treatment: Comparison and Assessment of Existing Technologies. In: Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste. Venice: CISA, 2010. ISBN 978-88-6265-008-3
11. Herrmann, A. 2013. Biogas production from maize: Current state, challenges and Prospects. 2. Agronomic and Environmental Aspects. Bionerg. Res., 6:372 – 387.
12. Heviánková, S., Kyncl, M., Kodymová, J. Study and research on cleaning procedures of anaerobic digestion products.. GeoScience Engineering, 2014, roč. LX, č. 2, s. 47-58.
13. Chambers B. Digestate Utilisation on Agricultural Land. 2011. ADAS
14. Chauzy J; Martin J. C.; Cretenot D.; Roisere J. P. Wet Air Oxidation of Municipal Sludge: Return Experience of the North Brussels Waste Water Treatment Plant. Water Practice & Technology, 2010. Vol. 5. ISSN 1751-231X
15. Kodymova, J., Bartková, M., Švehlákova, H. Poloprovozní ověření možností udržitelnějšího využití digestátu ve standardní zemědělské praxi při pěstování kukuřice seté (Zeamays).. 2016.
16. Kodymová, J., Kašpárková, A., Bártková, M. TESTING OF DIGESTATE LIQUOR AND DIGESTATE FIBRE ON INVERTEBRATES (ESENIA ANDREI). In SGEM 2016 : 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference : proceedings : June 30 - July 6, 2016, Albena, Bulgaria. Ecology, Economics, Education and Legislation. Volume II.. Sofia : STEF92 Technology Ltd., 2016, s. 683-690.

17. Kodymová, J., Švehláková, H., Hevinková, S., Kyncl, M., Bártková, M. Soil quality and the separated digestate (digestate liquor and digestate fibre): A field trial. *Inžinieria Mineralna*, 2017, roč. 2017, č. 1,
18. Kodymová, J., Švehláková, H., Kyncl, M., Bártková, M. THE DISTRIBUTION OF MACRO- AND MICRONUTRIENTS IN MAIZE WITHIN SEPARATED DIGESTATE FERTILIZING (DIGESTATE FIBRE AND DIGESTATE LIQUOR): FIELD TRIAL. *GeoScience Engineering*, 2016, roč. vol. LXII, č. no. 4, s. 10-18.
19. Kolář, L., et al. Agrochemical value of the liquid phase of wastes from fermenters during biogas production. *Plant, Soil and Environment*, 2010, 56:1, pp. 23-27
20. 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.
21. Marcato, C.-E., Mohtar, R., Revel, J.-C., Pouech, P., Hafidi, M., Guisresse, M. 2009. Impact of anaerobic digestion on organic matter quality in pig slurry. *Int Biodeterior Biodegrad* 63:260–266. doi:10.1016/j.ibiod.2008.10.001.
22. Nielsen S.; Willoughby N. Sludge Treatment in Reed Bed Systems and Recycling of Sludge and Environmental Impact. In: 10th European Biosolids and Biowaste Conference. UK, Aqua Enviro Technology Transfer, 2005. ISBN 1 84339 001 9
23. Sirový, V., Facek, Z. Survey of Agricultural Soils of the Czechoslovak Socialist Republic. Methodology of laboratory procedures. *Comprehensive methodology*, III. díl. 2967, MZVŽ, Praha
24. 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
25. Šimon, T., Kunzová, E., Friedlová, M. 2015. The effect of digestate, cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant Soil Environ* 61 (11): 522-527.
26. Švehláková, H., Kodymová, J., Bártková, M., Hlaváč, A. POSSIBILITY OF DIGESTATE AS ALTERNATIVE FERTILIZER OF CULTURAL PLANTS. In *SGEM 2015 : 15th international multidisciplinary scientific geoconference : conference proceedings* : 18-24 June, 2015, Albena, Bulgaria. Book 5, Volume 1. Sofia : STEF92 Technology Ltd., 2015, s. 669-676.
27. Tambone, F., Adani, F., Gigliotti, G., Volpe, D., Fabbri, C., Provenzano, M.R. 2013. Organic matter characterization during the anaerobic digestion of different biomasses by means of CP-MAS ¹³C NMR spectroscopy. *Biomass Bioenergy* 48:111–120. doi:10.1016/j.biombioe.2012.11.006
28. Tlustoš, P. a kol. Využití pevné složky digestátu certifikovaná metodika pro přípravu pěstebních substrátů. Dostupná na: <http://metodiky.agrobiologie.cz/PDF/KAVR/Vyuziti-pevne-slozky-digestatu-pro-pripravu-pestebnich-substratu.pdf>
29. Tlustoš, P. a kol. Využití pevné složky digestátu pro přípravu pěstebních substrátů. Praha: ČZÚ, 2013, 24 s. ISBN 978-80-213-2430-5
30. TOLASZ, R. Climate Atlas of the Czech Republic. 1. ed. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 255 s.

- 
31. Ustřák, S.; Vána, J. et al. Anaerobní digesce biomasy a komunálních odpadů. Praha: CZ Biom a VÚRV, 2004, 116 s. ISBN 80-86555-55-0
 32. Ustřák, S.; Vána, J. et al. Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. Praha: CZ Biom a VÚRV, 2005, 180 s. ISBN 80-86555-78-X
 33. Vavrečka, M., Heviánková, S., Souček, R., Kodymová, J. Wykorzystanie pofermentu z biogazowni do wytwarzania nawozów. Przemysł Chemiczny, 2017, roč. 96, č. 11, s. 2324-2330.