



## Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic

certifikovaná metodika

Pavel Tlustoš a kol.



© Česká zemědělská univerzita v Praze  
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, FAPPZ  
165 21 Praha-Suchdol  
<http://www.af.czu.cz>

Vydavatelství powerprint s.r.o., Praha-Suchdol

ISBN 978-80-213-2513-5

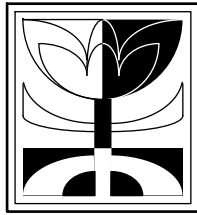
Praha 2014

Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci  
řešení výzkumného projektu NAZV č. QJ 1210085.

**ČESKÁ ZEMĚĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



**VÝZKUMNÝ ÚSTAV SILVA TAROUČY PRO KRAJINU A OKRASNÉ ZAHRADNICTVÍ, v.v.i.**



## **Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic**

**CERTIFIKOVANÁ METODIKA**

**Pavel Tlustoš a kol.**

---

Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení  
výzkumného projektu NAZV č. QJ 1210085

# **Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic**

## **CERTIFIKOVANÁ METODIKA**

Dedikace: Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu NAZV č. QJ 1210085 „*Využití digestátu a jeho separovaných složek v zemědělství a v zahradnictví pro aplikaci v hnojivých systémech výživy rostlin a pro výrobu pěstebních substrátů*”.

### Kolektiv autorů:

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc. <sup>1</sup>  
Ing. Lukáš Kaplan <sup>1</sup>  
Ing. Martin Dubský, Ph.D. <sup>2</sup>  
Ing. Marie Bazalová <sup>1</sup>  
prof. Ing. Jiřina Száková, CSc. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Česká zemědělská univerzita v Praze

<sup>2</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.

---

## **Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic**

Pavel Tlustoš a kol.

Vydání první, 2014

Vydavatelství: Česká zemědělská univerzita v Praze

Tisk Powerprint s.r.o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha Suchdol, [www.powerprint.cz](http://www.powerprint.cz)  
165 21 Praha – Suchdol

Obálka: Přístroj VAPODEST, publikováno se souhlasem ILABO Kyjov, <http://www.ilabo.cz/>.

© Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, FAPPZ

165 21 Praha 6 - Suchdol

tel.: +420 224 382 736

<http://www.af.czu.cz>

ISBN 978-80-213-2513-5

# OBSAH

I. Cíl metodiky .....	1
II. Vlastní popis metodiky .....	2
2.1 Úvod .....	3
III. Fyzikální a chemické vlastnosti digestátu, separátu a fugátu.....	4
3.1 Objemová hmotnost s přirozeným obsahem vody .....	4
3.2 Hodnota pH a hodnota elektrické vodivosti.....	4
3.3 Stanovení přijatelných živin.....	4
IV. Stanovení forem dusíku .....	11
4.1 Stanovení celkového dusíku Kjeldahlovou metodou.....	11
4.2 Stanovení amonného a dusičnanového dusíku .....	13
V. Stanovení fyzikálně-chem. vlastností, celkových živin a rizikových prvků .....	17
5. 1 Celkové obsahy živin v sušině digestátu, separátu a fugátu.....	17
5. 2 Celkové obsahy rizikových prvků v sušině digestátů, separátů a fugátů .....	19
VI. Srovnání novosti postupů .....	21
VII. Popis uplatnění certifikované metodiky .....	22
VIII. Ekonomické aspekty .....	22
IX. Závěr .....	23
X. Seznam použité související literatury.....	24
XI. Seznam publikací, které předcházely metodice .....	25
XII. Dedikace .....	25
XIII. Jména oponentů a názvy jejich organizací .....	25

## I. Cíl metodiky

Problematika obnovitelných zdrojů energie je v současnosti nejen v ČR vysoce aktuálním a diskutovaným tématem. V posledních letech výrazně stoupla produkce bioplynu mezofilní anaerobní fermentací v bioplynových stanicích (dále jen BPS), zejména z cíleně pěstované biomasy na zemědělské půdě. V BPS nedochází ke kompletní konverzi, ale část nerozložené suroviny společně s technologickou vodou je vedlejším produktem výroby bioplynu nazývaným digestát. Pokud je digestát mechanickou separací oddělen, vzniká pevná složka tzv. separát a kapalná složka tzv. fugát.

*Obr. 1. Digestát vytékající z fermentoru v BPS Krásná Hora nad Vltavou*



V roce 2005 bylo v České republice v provozu sto třicet tři BPS - z tohoto počtu pouze osm bylo zemědělských, osmdesát dvě byly provozovány na čistírnách odpadních vod, třicet čtyři využívaly skládkový plyn a devět stanic bylo průmyslových. V současnosti v České republice pracuje pět set BPS – z tohoto počtu je více než tři sta BPS provozováno zemědělskými podniky. Celkový instalovaný výkon činí 393 MW, roční produkce elektrické energie dosahuje cca 2200 GWh.

Téměř čtyřicetinásobný nárůst počtu zemědělských BPS v krátké době znamenal i významný nárůst produkce digestátu, hnojiva, které obsahuje dvě zcela odlišné složky - pevnou, ochuzenou o snadno degradovatelné sloučeniny, a kapalnou s nízkou sušinou a převahou snadno dostupných živin. Cílem předkládané metodiky je poskytnout návod pro hodnocení fyzikálních a chemických vlastností vedlejších

výstupů ze zemědělských BPS, tj. digestátů, separátů a fugátů, s následnou analyticky podloženou kontrolou dat získaných těmito metodami z materiálů konkrétních zemědělských BPS.

*Obr. 2. BPS ZD Krásná Hora nad Vltavou*



## **II. Vlastní popis metodiky**

Předkládaná metodika je souhrnem finančně dostupných metod, které lze využít pro laboratorní hodnocení fyzikálních a chemických vlastností digestátů, separátů a fugátů ze zemědělských BPS. Především při aplikaci digestátu a fugátu s nízkým obsahem sušiny je důležité, kromě znalostí celkového obsahu živiny v sušině, znát i obsah přijatelných živin v čerstvé hmotě. Je důležité znát především obsah a poměr amonného a dusičnanového dusíku i množství dalších přijatelných živin.

V metodice jsou detailně popsány laboratorní postupy, které byly použity při řešení výzkumného projektu NAZV č. QJ 1210085. Pro stanovení objemové hmotnosti, hodnot pH, obsahu rozpustných solí a obsahu živin ve vyluhovacím činidle CAT jsou doporučeny platné normy.

V metodice jsou popsána specifika přípravy jednotlivých výluhů, jejich následná úprava pro jednotlivá laboratorní stanovení s ohledem na vysoký obsah amonného dusíku a draslíku v hodnocených materiálech. Jsou zde uvedeny příklady rozborů. Metodika současně ukazuje hodnoty sledování fyzikálně chemických vlastností digestátů, separátů a fugátů ze tří tuzemských zemědělských BPS a porovnává číselné hodnoty stanovení jednotlivých veličin dle použitých postupů.

## 2.1 Úvod

Digestát, vznikající jako vedlejší produkt po anaerobní fermentaci po výrobě bioplynu, je tmavě šedá až černá hustá heterogenní tekutina s obsahem sušiny 5 až 10 % hmotnostních a významným podílem nerozložené pevné organické fáze (60 – 80 % organických látek v sušině). Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivými má digestát vzhledem ke vstupním surovinám obdobný obsah dusíku (0,3 až 0,8 % v původní hmotě) a vyšší hodnotu pH (7 až 9,5). Separát, oddělená pevná složka digestátu, svým složením odráží rostlinné vstupní materiály (sušina 15 až 30 % hmotnostních), hodnoty celkového dusíku v původní hmotě se pohybují v rozmezí 0,5 až 1,0 %. Tmavě šedý až černý kapalný fugát má sušinu do 3 %, nižší obsah celkového dusíku ve srovnání se separátem (0,1 až 0,4 % v původní hmotě) a obsahuje podíl neodseparované tuhé fáze. Hodnota pH u separátu i fugátu je obdobná jako u digestátu, tedy v rozmezí 7 – 9,5.

Digestát a fugát jsou v současnosti přímo aplikovány ke konkrétním plodinám (např. kukuřice) a snižují tak dávky dusíkatých a draselných hnojiv. Separát je používán především jako podestýlka u skotu, dále pro přípravu zahradních a rekultivačních zemí, substrátů a kompostů. Hodnocení fyzikálních a chemických vlastností výstupních surovin z BPS umožní uživatelům zpřesnit dávkování při výše uvedeném využití.

Modelové hodnocení digestátů, separátů a fugátů uvedené v metodice bylo provedeno u tří zemědělských BPS.

BPS zemědělského družstva v Krásné Hoře nad Vltavou je situována v areálu vlastního podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. nacházejícího se ve Středočeském kraji, v okrese Příbram. Jedná se o zemědělskou BPS uvedenou do provozu v září roku 2008 s výkonem 526 kW. BPS zpracovává kukuřičnou siláž, travní senáž a hovězí kejdu. Denně produkuje cca 20 tun digestátu s následnou mechanickou separací.

Druhá sledovaná BPS podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. je situována v obci Petrovice. Jedná se rovněž o zemědělskou BPS, která byla uvedena do provozu v říjnu roku 2010 s elektrickým výkonem 834 kW. Zpracovávána je silážovaná kukuřice v množství 5 600 tun/rok, silážovaná tráva v množství 4 230 tun/rok a hovězí kejda v množství 11 940 tun/rok. Stanice produkuje digestát v množství cca 30 t za den s následnou mechanickou separací.

Třetí stanicí, jejíž výstupy byly zahrnuty do sledování, byla BPS podniku AGRO CS, a.s. vybudována na okraji města Jaroměř. Zahájení provozu této stanice proběhlo v dubnu roku 2008 s instalovaným výkonem 1732 kW. Zpracováno bývá ročně cca 60 000 tun vstupních surovin. Zhruba polovinu z uvedeného množství tvoří cukrovarnické výlisky (30 000 t/rok, 50 %) a druhou část pak výlisky z ovoce (25 000 t na rok, 42 %) a silážní kukuřice (5 000 t/rok, 8 %). BPS Jaroměř produkuje pouze digestát.

### **III. Fyzikální a chemické vlastnosti digestátu, separátu a fugátu**

---

Metodika doporučuje a uvádí postupy pro fyzikálně chemické hodnocení digestátu, separátu a fugátu dle platných norem EN (Europäische Norm), které se používají pro hodnocení substrátů a i jejich jednotlivých komponent v EU (Dubský, 2006) a v roce 2002 (ČSN EN 13651), resp. 2012 (ostatní normy) byly začleněny mezi normy české. Jedná se o metody, které lze realizovat v laboratoři se základním vybavením ve VÚKOZ, v.v.i.

#### **3.1 Objemová hmotnost s přirozeným obsahem vody**

Určení objemové hmotnosti s přirozeným obsahem vody (OHV) se provede na počátku hodnocení vzorku (EN 13040). OHV se stanoví v litrovém válci po mírném stlačení materiálu, v případě separátu, a zvážením za definovaných podmínek. Vzhledem k charakteru digestátu a fugátu se OHV po ruční homogenizaci stanovuje též v litrovém válci, do kterého se materiál nalije, nestlačuje a zváží. Stanovená OHV se použije pro výpočet navážky vzorku odpovídající 60 ml vzorku. U separátu se na základě sušiny stanovuje i objemová hmotnost suchého vzorku (OHS), podle které lze jednotlivé vzorky porovnávat. U digestátu a fugátu se vzhledem k obsahu sušiny v rozmezí 5 až 12 % OHS neprovádí. U vysušených vzorků je vhodné stanovit obsah spalitelných látek podle ČSN EN 13039.

#### **3.2 Hodnota pH a hodnota elektrické vodivosti**

Hodnota pH a hodnota elektrické vodivosti (EC) signalizující obsah rozpustných solí, se stanovují ve vodném výluhu 1v/5v (navážka vlhkého vzorku odpovídající objemu 60 ml se zalije 300 ml destilované vody). Hodnota pH se měří v suspenzi, hodnota elektrické vodivosti ve filtrátu. Hodnoty pH digestátu a fugátu lze stanovit i přímo v původním vzorku.

#### **3.3 Stanovení přijatelných živin**

Obsah přijatelných živin podle platných norem ČSN EN se stanovuje ve vyluhovacím činidle CAT (ČSN EN 13651) nebo ve vodném výluhu (ČSN EN 13652), v obou případech je vyluhovací poměr 1v/5v (viz stanovení hodnoty pH). Metodika dále popisuje použití metody ČSN EN 13651 s použitím činidla CAT (chlorid vápenatý,  $c = 0,01 \text{ mol/L}$ , kyselina diethylentriaminopentaoctová,  $c = 0,002 \text{ mol/L}$ ,  $\text{pH} = 2,6$ ), které se v ČR, včetně laboratoří VÚKOZ, používá pro hodnocení pěstebních substrátů. Ve výluhu CAT nelze, vzhledem k jeho složení, stanovit přijatelný vápník. Obsah přijatelného vápníku lze stanovit ve vodném výluhu (ČSN EN 13652) spolu s hodnotami pH a EC.



Normy ČSN EN 13651 a ČSN EN 13652 připouštějí pro koncové laboratorní stanovení jednotlivých živin více metod. Pro stanovení K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn a Cu je možné použít optickou emisní spektrometrii anebo plamenovou emisní spektrometrii. Pro stanovení B a Mo je doporučena pouze optická emisní spektrometrie. Pro stanovení K a Ca je možné využít i plamenovou absorpční fotometrii.

Pro stanovení fosforu je rozšířena optická emisní spektrometrie a absorpční spektrofotometrie. Pro stanovení dusičnanového a amonného dusíku je nejčastější absorpční spektrofotometrie.

Hodnocení jednotlivých fyzikálních a chemických vlastností byla prováděna v agrochemické laboratoři VÚKOZ s tímto základním vybavením: pH metr, konduktometr, spektrofotometr a plamenový fotometr. Dusík v dusičnanového a amonné formě a obsah přijatelného fosforu byly stanoveny spektrofotometricky, K a Ca plamenovou fotometrií. Stanovení hlavních přijatelných živin N, P a K je v metodice detailně popsáno. Obsahy přijatelného Mg a stopových živin byly stanoveny optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem v laboratoři FAAPZ ČZU.

*Předúprava vzorku:* Směs navážky vlhkého vzorku, která odpovídá 60 ml vzorku a 300 ml činidla resp. destilované vody pro stanovení hodnoty pH a EC, se jednu hodinu třepe na rotační třepačce. Pro filtraci se použije filtrační papír zpevněný, s velkou rychlostí filtrace o průměru 185 mm, resp. 150 mm pro stanovení EC. Pro stanovení přijatelných živin je zapotřebí 70 – 80 ml filtrátu, pro stanovení hodnoty EC, případně přijatelného Ca, 35 – 50 ml filtrátu. Pro získání potřebných objemů z výluhu digestátu nebo fugátu narůstá doba filtrace na 6 – 8 hodin v případě výluhu CAT a 4 – 6 hodin v případě vodného výluhu. U pevného vzorku separátu se naměřená hodnota ve výluhu (mg/L), výluh 1v/5v, vynásobí pětkrát a vypočte se obsah dané živiny ve vzorku (mg/L). Při hodnocení vzorků digestátu a fugátu s velmi nízkým obsahem sušiny se hodnota ve výluhu (mg/L) násobí šestkrát.

### **3.3.1 Spektrofotometrické stanovení amonného dusíku ( $N-NH_4^+$ ) Nesslerovým činidlem**

*Činidla:* vinan sodný (10 g vinanu sodného p.a. se rozpustí v destilované vodě, kvantitativně přenesse do odměrné baňky 100 ml, doplní po rysku, uzavře a promíchá); Nesslerovo činidlo; standardní roztok (0,1337g  $NH_4Cl$  p.a. se rozpustí v destilované vodě, přilije se 1 ml chloroformu, roztok se kvantitativně přenesse do odměrné baňky 500 ml, doplní po rysku, uzavře a promíchá. Ze standardního roztoku se odpipetuje 10 ml do odměrné baňky 100 ml, doplní destilovanou vodou po rysku, uzavře a promíchá. Získá se tak pracovní roztok, jehož 1 ml obsahuje 0,007 mg N.

Tab. 1. Příprava kalibračních roztoků pro spektrofotometrické stanovení  $N-NH_4^+$

Kalibrační roztok číslo	1	2	3	4	5	6
Objem pracovního roztoku / 50 ml	1	2	4	8	10	14
mg $N-NH_4^+$ /50 ml roztoku, resp. mg/1 ml výluhu (a)	0,007	0,014	0,028	0,056	0,07	0,098
mg $N-NH_4^+$ /L standardního roztoku (b)	0,14	0,28	0,56	1,12	1,4	1,96
mg $N-NH_4^+$ /L výluhu (a × 1000, b × 50)	7	14	28	56	70	98

*Postup:* Kalibrační roztoky - do odměrných baněk 50 ml se pipetuje daný objem pracovního roztoku (Tab. 1), přidá cca 30 ml destilované vody, 1 ml činidla CAT, 1 ml roztoku vlnanu sodného a 2,5 ml Nesslerova činidla, doplní se po rysku destilovanou vodou, uzavře a protřepe. Po 25 minutovém stání je kalibrační roztok připraven k měření absorbance proti slepé zkoušce při vlnové délce 410 nm.

Vzorky - do odměrných baněk 50 ml se pipetuje 1 ml vzorku, přidá cca. 30 ml destilované vody, 1 ml roztoku vlnanu sodného a 2,5 ml Nesslerova činidla, doplní po rysku destilovanou vodou, uzavře a protřepe. Po 25 minutovém stání (zbarvení je stále 30 – 45 minut) se měří absorbance proti slepé zkoušce při vlnové délce 410 nm.

*Výpočet:* U separátu se při přípravě výluhu 1v/5v naměřená hodnota (mg/L) vynásobí pět krát a získá se tak obsah amonného dusíku ve vzorku (mg/L). Maximální hodnota amonného dusíku, kterou lze stanovit je podle rozsahu použitých kalibračních roztoků 490 mg  $N-NH_4^+$ /L vzorku (98 mg/L × 5). Výluhy u většiny vzorků není nutné pro stanovení amonného dusíku ředit.

Pro hodnocení vlhkého separátu je nutné výluh 1v/5v ještě ředit činidlem CAT v poměru 1:1 (např. 10 ml výluhu + 10 ml CAT se smíchá krouživým pohybem v 50 ml Erlenmayerově baňce). Hodnoty amonného dusíku v nenařazeném výluhu se pohybují v rozsahu 80 – 180 mg/L, v nařazeném výluhu pak v rozsahu 40 – 90 mg/L). Obsah amonného dusíku se v separátech pohybuje v rozmezí 400 – 900 mg  $N-NH_4^+$ /L vzorku.

Výrazně vyšší obsah amonného dusíku mají digestáty a fugáty. Před laboratorním stanovením je nutné výluh z těchto vzorků naředit činidlem CAT v poměru 1:3 (např. 5 ml výluhu + 15 ml CAT se smíchá krouživým pohybem v Erlenmayerově baňce). Hodnoty amonného dusíku v nenařazeném výluhu se pohybují mezi 200 – 300 mg/L, v nařazeném výluhu pak v rozsahu 50 – 75 mg/L. Při hodnocení tekutých vzorků digestátu a fugátu se hodnota výluhu (mg/L) násobí šestkrát, obsah amonného dusíku se pohybuje v rozmezí 1200 – 1800 mg  $N-NH_4^+$ /L vzorku digestátu nebo fugátu.

### 3.3.2 Spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku ( $N-NO_3^+$ ), brucinová zkouška

*Činidla:* Brucin (4g brucinu se rozpustí ve 200 ml chloroformu p.a. a uschová v hnědé lahvi s kapátkem; koncentrovaná kyselina sírová p.a.; standardní roztok (0,361g  $KNO_3$  p.a. se rozpustí v činidle CAT, přidá se 1 ml chloroformu, roztok se kvantitativně přenesse do odměrné baňky 500 ml, doplní destilovanou vodou po rysku, uzavře a promíchá), 1 ml tohoto pracovního roztoku obsahuje 0,01 mg dusíku.

Tab. 2. Příprava standardních roztoků pro spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku, brucinová zkouška

Standardní roztok číslo	1	2	3	4	5	6
Objem pracovního roztoku (ml) /50 ml standardního roztoku	0,5	2,5	5	15	25	35
mg $N-NO_3^-$ /50 ml roztoku	0,005	0,025	0,05	0,15	0,25	0,35
mg $N-NO_3^-$ /L standardu	0,1	0,5	1	3	5	7

*Postup:* Do odměrných baněk 50 ml se pipetuje dané množství pracovního roztoku a doplní činidlem CAT (Tab. 2). Vzorke se dále ředí desetkrát v objemovém poměru 1 : 9, odměří se 5 ml do 50 ml odměrné baňky a doplní po rysku činidlem CAT, uzavře a promíchá.

Do Erlenmayerovy baňky (25 ml) se odpipetuje 1,5 ml standardu, výluhu nebo činidla CAT (slepá zkouška), přidají se 3 – 4 kapky činidla s brucinem. Pak se přidají 3 ml kyseliny sírové, směs se opatrně promíchá a nechá 15 minut stát. Následně se změří absorbance proti slepé zkoušce při vlnové délce 410 nm.

Při naměřené hodnotě pod hodnotu standardu číslo 1 se pipetuje 1,5 ml neředěného vzorku, při hodnotě nad standard číslo 6 se vzorek ředí 20 – 50 krát a pipetuje se 1,5 ml takto naředěného vzorku. Při ředění desetkrát vychází maximální obsah 350 mg  $N-NO_3^-$  /L pevného vzorku ( $7 \text{ mg } N-NO_3^- \times 10 \times 5$ ), resp. 420 mg  $N-NO_3^-$  /L tekutého vzorku ( $7 \text{ mg } N-NO_3^- /L \times 10 \times 6$ ).

### 3.3.3 Spektrofotometrické stanovení přijatelného fosforu molybdenanem amonným

*Činidla:* Roztok molybdenanu amonného (25 g molybdenanu amonného se rozpustí ve 200 ml destilované vody a zahřeje se na 60 °C. Ochlazený roztok se smíchá s 280 ml koncentrované kyseliny sírové p.a., která se přidává postupně, roztok se ochladí, převede se kvantitativně do odměrné baňky 1000 ml, doplní se po rysku destilovanou vodou, uzavře a promíchá); roztok chloridu cínatého se připraví tak, že se k 0,5 g  $SnCl_2$  přidá 20 ml koncentrované  $HCl$  p.a., 2 – 3 minuty se směs povaří a po rozpuštění se smíchá s 30 ml destilované vody (přikryto hodinovým sklíčkem), roztok se ochladí (cca 45 minut) a pak ho lze použít, stálý je pouze 4 hodiny; standardní roztok (1,9169 g  $KH_2PO_4$  p.a. se rozpustí v destilované vodě, přidá se 1 ml

chloroformu, směs se kvantitativně převede do 1000 ml odměrné baňky, doplní po rysku, uzavře a promíchá). Jeden mililitr zásobního roztoku obsahuje 0,44 mg P. Zásobní roztok se zředí 100 krát destilovanou vodou (2,5 ml do 250 ml odměrné baňky). Jeden mililitr pracovního roztoku obsahuje 0,0044 mg P (0,01 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

*Tab. 3. Příprava standardních roztoků pro spektrofotometrické stanovení přijatelného fosforu*

<b>Standardní roztok číslo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Objem pracovního roztoku (ml) /50 ml standardního roztoku	11	4	8	15	20
mg P/50 ml roztoku, resp. mg/L výluhu (a)	0,0044	0,0176	0,0352	0,066	0,088
mg P/L standardního roztoku (b)	0,088	0,352	0,704	1,32	1,76
mg P/L výluhu (a x 1000, b x 50)	4,4	17,6	35,2	66	88

*Postup:* Do odměrných baněk 50 ml se pipetuje dané množství pracovního roztoku (Tab. 3), přidáme 1 ml činidla CAT (slepá zkouška pouze 1 ml CAT) nebo 1 ml vzorku, hrdlo se spláchne destilovanou vodou, přidají se 2 ml roztoku molybdenanu amonného (roztok se nemíchá), dále se přilije 0,5 ml roztoku SnCl<sub>2</sub> a roztok se ihned krouživým pohybem zamíchá, doplní po rysku destilovanou vodou, uzavře a promíchá. Po 15 minutách stání se měří absorbance proti slepé zkoušce při vlnové délce 720 nm. Při tomto postupu je limitní hodnota 440 mg P/L pevného vzorku (88 mg P/L x 5), resp. 528 mg P/L tekutého vzorku (88 mg P/L výluhu x 6).

### **3.3.4 Stanovení přijatelného draslíku plamenovou fotometrií**

*Činidla:* Zásobní standardní roztok (1,9068 g KCl p.a. vysušeného při 105 °C po dobu 2 hodin se rozpustí v destilované vodě, přidá se 1 ml chloroformu, roztok se kvantitativně převede do odměrné baňky o objemu 1000 ml, doplní po rysku, uzavře a promíchá); pracovní standardní roztok (10 ml zásobního roztoku se odpipetuje do 100 ml odměrné baňky, doplní činidlem CAT po rysku, uzavře a promíchá), jeden mililitr takto připraveného pracovního roztoku obsahuje 0,1 mg K.

*Tab. 4. Příprava standardních roztoků pro stanovení přijatelného draslíku plamenovou fotometrií*

<b>Standardní roztok číslo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
ml pracovního roztoku/100 ml standardního roztoku	0,5	1	3	5	7	8
mg K/L standardního roztoku	0,5	1	2,99	4,98	6,97	7,97

Standardní roztoky se připravují ve 100 ml baňkách ředěním roztokem CAT. Při měření na plamenném fotometru s vlastní kalibrací se používají standardy 1 a 6 (Tab. 4) a vzorky se ředí roztokem CAT, tak aby byly v rozsahu těchto standardů. Pro hodnocení digestátu, separátu a fugátu se používají výluhy desetkrát ředěné (5 ml výluhu se odměří do 50 ml odměrné baňky a doplní činidlem CAT). Při výsledku pod

hodnotu standardu číslo 1 se analyzuje neředěný výluh, při výsledku nad standard 6 se výluh ředí 20 – 100 x.

Při desetinásobném ředění je limitní hodnota 398 mg K/L substrátu (7,97 mg K/L vzorku x 10 x 5), separáty se ředí 30 – 50 x, digestáty a fugáty s vysokým obsahem živin 50 – 100 x.

Při hodnocení vlhkých separátů je účelné výluh 1v/5v ředit 50 x (1 ml výluhu se odměří do 50 ml odměrné baňky a doplní činidlem CAT), obsah draslíku v naředěném výluhu se pak pohybuje v rozmezí výše uvedené kalibrace. Hodnoty obsahu přijatelného draslíku v nenaředěném výluhu se pohybují v rozsahu 160 – 260 mg/L, v naředěném výluhu pak v rozsahu 3,2 – 5,2 mg/L. Obsah přijatelného draslíku se v separátech pohybuje v rozmezí 800 – 1300 mg K/L vzorku.

Výrazně vyšší obsah přijatelného draslíku mají digestáty a fugáty. Před laboratorním stanovením je účelné výluh z těchto vzorků naředit stokrát (1 ml výluhu se odměří do 100 ml odměrné baňky a doplní činidlem CAT). Hodnoty obsahu přijatelného draslíku v nenaředěném výluhu se pohybují v rozmezí 400 – 680 mg/L, v naředěném výluhu pak v rozsahu 4 – 6,8 mg/L. Při hodnocení digestátu a fugátu (velmi nízký obsah sušiny) se hodnota v mg/L výluhu násobí šestkrát, obsah přijatelného draslíku se pak pohybuje v rozmezí 2400 – 4100 mg K/L vzorku digestátu nebo fugátu.

### 3.3.5 Hodnoty vybraných fyzikálně-chemických parametrů a obsahy přístupných živin vyjádřené v objemu čerstvého vzorku

Tab. 5. Fyzikální a chemické vlastnosti digestátu

BPS	OHV (g/L)	Sušina (%)	Spalitelné látky (% v sušině)	pH	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (mS/cm)
Krásná Hora	1014±12	6,5±0,7	71,7±2,0	7,7±0,1	8,1±0,1	3,16±0,14
Petrovice	1018±10	6,4±0,4	72,5±1,5	7,7±0,1	8,1±0,1	3,13±0,06
Jaroměř	1027±17	8,1±1,3	55,3±0,8	7,6±0,1	8,1±0,1	2,83±0,24

Tab. 6. Obsah přístupných makroživin v digestátu

BPS	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
Krásná Hora	1694±151	27±9	104±31	3033±283	308±81	183±11
Petrovice	1761±276	29±13	79±11	3117±326	289±73	196±7
Jaroměř	977±176	24±11	22±11	3809±563	185±49	261±30

Tab. 7. Obsah přístupných mikroživin v digestátu

BPS	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	B (mg/L)	Mo (mg/L)
Krásná Hora	27,8±10,3	8,2±0,8	3,0±0,5	1,11±0,29	0,53±0,07	0,055±0,016
Petrovice	6,5±1,2	7,7±1,8	3,1±0,6	1,11±0,21	0,40±0,07	0,041±0,012
Jaroměř	290±67,5	9,6±2,9	1,4±0,2	0,55±0,04	1,60±0,49	0,025±0,014

Hodnocení obsahu přístupných živin v digestátech ze tří BPS prokázalo, že tyto jsou významnými zdroji zejména amonného dusíku a draslíku, a to bez ohledu na použité vstupní suroviny (tab. 5-7). S ohledem na aplikační dávky je třeba kalkulovat i s vnosem dalších makroživin i mikroživin, z nichž je přínosné zejména železo. Z hlediska jednotlivých obsahů přístupných živin je rozhodující kvalita a složení vstupních surovin. Relativně malé rozdíly v digestátech z Krásné Hory (KH) a z Petrovic (P) ukázaly, že vyšší podíl kukuřice se projevil ve vyšším obsahu přístupného P a Fe v digestátu z Krásné Hory. Většina dalších parametrů byla obdobná. Mnohem větší rozdíly byly zaznamenány mezi BPS KH a P a třetí Jaroměř (J), která využívá především odpadních materiálů zpracovatelů zemědělské a zahradnické produkce. Digestát z této BPS měl, z důvodu absence kejdy na vstupu, významně nižší obsah amonného N, přístupného P a naopak zvýšený obsah K a Fe. Nelišil se však v hodnotě pH, která byly ve všech případech vysoká a znamenala riziko ztrát amoniaku a to jak při skladování, tak při jeho aplikaci.

Tab. 8. Fyzikální a chemické vlastnosti separátu

BPS	OHV (g/L)	Sušina (%)	OHS (g/L)	Spalitelné látky (% v sušině)	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (mS/cm)
Krásná Hora	311±48	19,7±2,6	60±2	85,2±0,4	8,9±0,1	0,97±0,07
Petrovice	288±29	20,0±2,4	57±3	85,2±0,6	8,8±0,1	0,99±0,16
Jaroměř	629±4	28,5±0,5	179±2	53,5±0,4	8,2±0,0	2,35±0,05

Pozn.: OHV – objemová hmotnost vlhkého vzorku, OHS – objemová hmotnost suchého vzorku

Tab. 9. Obsah přístupných makroživin v separátech

BPS	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
Krásná Hora	568±126	21±10	107±21	1027±207	221±23	82±13
Petrovice	531±101	16±7	100±14	874±106	183±36	84±24
Jaroměř	884±48	23±1	16±1	2528±50	190±94,64	307±2

Tab. 10. Obsahy přístupných mikroživin v separátech

BPS	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	B (mg/L)	Mo (mg/L)
Krásná Hora	6,7±1,7	3,9±0,6	4,5±1,0	0,91±0,07	0,51±0,16	0,015±0,007
Petrovice	5,5±1,8	4,6±1,2	4,4±0,8	0,81±0,11	0,53±0,14	0,012±0,005
Jaroměř	170,0±14	14,7±1,8	7,0±1,8	0,80±0,10	1,11±0,05	0,106±0,004

Separovaná pevná složka digestátu, separát, je tvořena především stabilní nede-gradovatelnou složkou organické hmoty a významně se liší od digestátu (tab. 8-10). Objemová hmotnost byla u stanic KH a P přibližně třetinová ve srovnání s BPS Jaroměř - důvodem je fakt, že BPS KH a P zpracovávají suroviny s vyšším obsahem ligninu a celulózy. U BPS Jaroměř byl separát vyroben pouze pro účely testování, separace byla velmi obtížná a jeho vlastnosti byly nestandardní, vysoká objemová hmotnost, nízký obsah spalitelných látek a vysoká konduktivita. I přes stabilitu orga-

nické hmoty se ukázalo, že separát při cca 20 % sušiny obsahuje i nezanedbatelné množství přístupných živin, které rozšiřují jeho využití nejen jako náhradu organické hmoty v půdě, ale i jako zdroje živin. Významné byly především obsahy P, které mírně převyšovaly jeho obsahy v digestátu. Významně nižší než v digestátu byly obsahy amonného N a K, pokles byl zaznamenán také u dalších sledovaných živin, ale i tato množství mohou významně snížit aplikace minerálních hnojiv při použití separátů v pěstebních substrátech.

Tab. 11. Fyzikální a chemické vlastnosti fugátů

BPS	OHV (g/L)	Sušina (%)	Spalitelné látky (% v sušině)	pH	pH (H <sub>2</sub> O)	EC mS/cm
Krásná Hora	1027±24	5,3±0,2	65,4±5,5	7,7±0,1	8,1±0,1	3,13±0,12
Petrovice	1015±5	5,2±0,2	69,1±1,4	7,8±0,1	8,1±0,1	3,12±0,09

Tab. 12. Obsah přijatelných makroživin ve fugátech

BPS	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
Krásná Hora	1704±117	25±8	104±34	3141±340	318±75	175±10
Petrovice	1487±271	29±10	91±34	3111±313	289±69	177±8

Tab. 13. Obsah přístupných mikroživin ve fugátech

BPS	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	B (mg/L)	Mo (mg/L)
Krásná Hora	21,1±1,7	7,2±1,0	3,1±0,5	1,27±0,32	0,47±0,11	0,056±0,012
Petrovice	4,6±0,8	8,3±1,0	3,2±0,6	1,24±0,44	0,36±0,04	0,036±0,014

Ve fugátech se použitou technologií separace nepodařilo významně snížit obsah sušiny, nedošlo k odstranění mikročástic, a hodnocené parametry v řadě případů odpovídaly původnímu digestátu (tab. 11 – 13). Z důvodu nedokonalé separace a nestandardních vlastností fugátu nebyly hodnoceny vzorky z BPS Jaroměř. Při podrobnějším hodnocení byl velmi mírný pokles koncentrace amonného N zjištěn u obou fugátů oproti digestátům, u ostatních živin nebyly u obou materiálů zjištěny významné změny.

## IV. Stanovení forem dusíku

### 4.1 Stanovení celkového dusíku Kjeldahlovou metodou

Kjeldahlova metoda je založena na mineralizaci organických látek koncentrovanou kyselinou sírovou. Z mineralizátu se po alkalizaci destilací s vodní parou uvolní amoniak, jež je jímán v předloze v roztoku kyseliny borité a následně jeho obsah stanoven odměrnou neutralizační titrací. Mineralizace probíhá v přítomnosti práškového

selenu a přísavku síranu draselného a modré skalice pro zvýšení bodu varu reakční směsi na potřebných 380 °C až 420 °C. Reakční doba se stanoví provedením zkušební série. Vzhledem k původnímu materiálu, který přichází do BPS k digesci, lze čas mineralizace odhadnout na 90 minut. Dostatečně zmineralizovaný vzorek má být čirý, lehce zabarvený do žluta. V případě kontaminace surovin či výstupních odpadních materiálů z BPS zeminou lze na dně kyvety předpokládat nepatrné množství nerozložených částic. Kjeldahlova metoda vyžaduje provedení mineralizace koncentrovanou kyselinou sírovou při vysoké teplotě a proto je bezpodmínečně nutné umístit mineralizační blok do digestoře s dostatečným odtahem.

*Postup mineralizace:* Do mineralizační kyvety o objemu 250 ml se odváží u digestátu a fugátu (po ručním promíchání odlitím) cca 10 g materiálu, u separátu 4 g (s přesností 0,001g).

Přidá se 1,7 g katalyzátoru připraveného v třecí misce smísením 100 g  $K_2SO_4$ , 1 g  $CuSO_4 \cdot 5 H_2 O$  a 0,1 g práškového selenu. Kyvety se vzorkem a katalyzátorem se umístí do stojanu mineralizačního bloku automatického topného systému KJELDATHERM, zde je ke vzorkům automatickým dávkovačem s prodlouženou výtokovou hadicí přilito 10 ml koncentrované kyseliny sírové. Stojan je poté zasunut na vidlice výtahu mineralizačního bloku, zakryt víkem odsávacího zařízení, které zabezpečuje kondenzaci (chlazení vodou) a neutralizaci odsátých par. Čas a teplotní režim mineralizace je programován vzhledem k charakteru mineralizovaných materiálů následovně. U digestátu a fugátu je zapotřebí prodloužit dobu dosažení požadované teploty (380 °C), naprogramovat růst teploty po 10 minutách o 20 °C (při rychlém nárůstu teploty materiál z kyvet vykipí), po dosažení cca 150 °C lze nárůst urychlit. Pro dosažení reakční teploty v případě mineralizace separátu postačuje 30 minut. Teplotu reakce (380 °C- 420 °C) pak v obou případech udržovat 30 minut, 40 – 50 minut je doba potřebná k ochlazení, které probíhá za chodu odsávacího zařízení.

*Postup destilace:* Destilační přístroj VAPODEST 50s pracuje s integrovaným titrátorem. Pro uvedená zmineralizovaná množství materiálu lze doporučit toto nastavení programu destilace:

Přidání destilované vody.....	80 ml
Přidání 30 % ního roztoku NaOH.....	40 ml
Doba destilace.....	4 minuty
Pára.....	100 %
Odsávání vzorku z kyvety.....	25 sekund
Odsávání roztoku z titrační nádoby.....	25 sekund
Přidání 1% ního roztoku $H_3 BO_3$ .....	80 ml
Spotřeba HCl, c = 0,05 mol/l pro slepý pokus.....	(0,05 – 0,25 ml)
Výsledek.....	% N



## 4.2 Stanovení amonného a dusičnanového dusíku

V laboratoři FAAPZ ČZU bylo ověřeno stanovení amonného dusíku s využitím destilačního přístroje Gerhardt Vapodest 50s a stanovení dusičnanového dusíku ve fotometrických zkumavkách (spektrofotometr HACH) metodou s 2,6-dimethyl fenolem.

### 4.2.1 Odměrné neutralizační stanovení amonného dusíku ( $N-NH_4^+$ ) s použitím destilačního systému

*Předúprava vzorku:* Do polyethylenové nádoby se, u digestátu a fugátu po předchozím ručním promíchání, naváží 100 g materiálu a přilije 1000 ml destilované vody, separát se pouze odváží a zalije. Po uzavření nádoby se obsah ručně promíchá a následně třepe ve vodorovné poloze na vratné třepačce při maximálním pohybu po dobu 60 minut. Poté se zhruba 600 ml suspenze přelije přes laboratorní síto o průměru ok 1mm. Přelitý výluh se odstředí na odstředivce Hettich Universal 30RF po dobu 10 minut při 4500 otáčkách za minutu, za použití centrifugačních kyvet Nalgene o objemu 60 ml. Po odstředění se filtrát smíchá a část, přibližně 200 ml, se přelije do polyethylenových nádob o objemu 250 ml s uzávěrem s těsnícím kroužkem a je tak připravena k měření, popř. skladování při 4 °C. Tento vodný výluh lze po násobném odstředění (9 500otáček za minutu, po dobu 12 minut) použít pro spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku metodou s 2,6- dimethylfenolem.

*Postup:* Odměrnému neutralizačnímu stanovení amoniakálního dusíku s použitím destilačního systému Gerhardt Vapodest 50s předchází ověření správnosti stanovení amonného dusíku. Kontrola správnosti stanovení se zajišťuje pravidelným zařazováním slepého vzorku (používaná destilovaná voda v objemu stejném jako vzorky) a standardu na počátku každé série maximálně 20-ti vzorků. Jako standard se použije roztok chloridu amonného (před přípravou roztoku sušený po dobu 2 hodin při teplotě 105 °C), koncentrace se volí dle obsahu amonného dusíku ve stanovovaných materiálech, například navážka 0,7413 g  $NH_4Cl$  p.a. se doplní do objemu 1 L, při 20 °C a získá se roztok o koncentraci 250 mg  $NH_4^+/L$ , jež lze použít jako standard při předpokládaných obsazích kolem 200 mg  $NH_4^+/L$  výluhu, roztok se uchovává při 4 °C a po 4 týdnech se obnovuje.

Při odměrném neutralizačním stanovení amonného dusíku postup prací souhlasí s instruktážním manuálem systému Gerhardt Vapodest 50s.

Pro metodu stanovení amonného dusíku v materiálech z BPS se zadá následující nastavení: 40 ml destilované vody, 10 ml roztoku NaOH (30 % hmotnostních), 80 ml roztoku  $H_3BO_3$  (1 % hmotnostní), destilační čas 6 minut, delta pH = 1, slepý vzorek v rozmezí (0,05 – 0,1) ml HCl, c = 0,05 mol/L, výsledky v mg  $NH_4^+/L$ . Vzorek se do destilační kyvety pipetuje automatickou pipetou v objemech od 5-ti do 50-ti ml dle

předpokládaného obsahu amonného iontu, nižší obsahy se předpokládají u separátu, vyšší u digestátu a fugátu. Každý vzorek se destiluje minimálně dvakrát, v případě rozdílu hodnot vyšším jak 20 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L se předúprava vzorku a destilační stanovení opakuje.

*Přepočet výsledků se provede následovně:*

$$X_{NH_4} = \frac{18039 \times c \times f \times (V_{HCl} - V_0)}{V_i}$$

$X_{NH_4}$ ..... obsah amonného iontu (mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ L)

$c$ ..... koncentrace HCl (mol/l)

$f$ ..... faktor HCl

$V_{HCl}$ ..... spotřeba HCl pro vzorek  $i$  (ml)

$V_0$ ..... spotřeba HCl pro slepý vzorek (ml)

$V_i$ ..... objem vzorku  $i$  (ml)

$$X_N = 0,7765 \times X_{NH_4} \times 10$$

$X_N$ ..... obsah amonného dusíku (mg/kg čerstvé hmoty)

#### **4.2.2 Spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku metodou s 2,6-dimethylfenolem**

Dusičnanové ionty přítomné ve výluhu vzorku reagují s 2,6-dimethylfenolem v prostředí směsi kyselin sírové a fosforečné, vytváří se cihlově zabarvený 4-nitro-2,6-dimethylfenol, zabarvení je spektrofotometricky stanovitelné při vlnové délce 340 nm.

*Činidla:* Roztok 2,6-dimethylfenolu se připraví rozpuštěním 0,300±0,002g 2,6 - dimethylfenolu ve 250 ml ledové kyseliny octové p.a. (roztok je stálý jeden týden), směs kyselin se připraví opatrným smísením 500 ml koncentrované kyseliny sírové p.a. a 500 ml kyseliny fosforečné p.a. ve dvoulitrové kádince. Roztok amidosírové kyseliny se připraví rozpuštěním 0,800 ± 0,002 g amidosírové kyseliny, kvantitativním přenesením a doplněním destilovanou vodou do 100 ml odměrné baňky, uzavřením a promícháním. Zásobní roztok standardu dusičnanu draselného se připraví navážením 1,6310 ± 0,001g KNO<sub>3</sub> (předem sušeným při 105 °C do konstantní teploty), rozpuštěním, kvantitativním převedením do 1000 ml odměrné baňky, doplněním, uzavřením a promícháním. Roztok uchovávaný v chladničce je stálý jeden měsíc. Zředěním zásobního roztoku desetkrát se připraví pracovní roztok, z něhož se pipetují roztoky pro kalibraci.

Tab. 14. Příprava standardních roztoků pro spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku, metoda s 2,6-dimethylfenolem

Standardní roztok číslo	1	2	3	4	5
ml pracovního roztoku /50 ml standardního roztoku	5	10	15	20	25
mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L standardního roztoku	10	20	30	40	50
mg N/L standardního roztoku	2,259	4,518	6,777	9,036	11,295

*Postup:* Do fotometrické zkumavky se pipetuje 500 µl vzorku (vodný výluh 100g + 1 l destilované vody) a 50 µl amidosírové kyseliny, obsah se opatrně promíchá. Přidá se 3,5 ml směsi kyselin a směs se opět opatrně promíchá. Poté se přidá 0,5 ml 2,6-dimethylfenolu, zkumavka se uzavře a obsah se důkladně promíchá. Absorbance se měří po deseti minutách stání při vlnové délce 340 nm. Pro dodržení reakční doby je vhodné pracovat v sériích do deseti vzorků a reakční čas měřit od okamžiku přidání 2,6-dimethylfenolu do zkumavky s prvním vzorkem.

*Výpočet:* Koncentrace dusičnanového dusíku se odečte z kalibrační závislosti s přepočtem (číselnou hodnotu v mg/L násobit deseti) v případě vyjádření obsahu v mg N/kg čerstvé hmoty.

Tab. č. 15 Obsah přístupného dusíku v digestátu

BPS	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(1)</sup> mg/kg č.h.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(2)</sup> mg/kg č.h.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sup>(3)</sup> mg/kg č.h.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sup>(4)</sup> mg/kg č.h.
Krásná Hora	1670±148	2010±15	26,6±8,9	67,2±3,0
Petrovice	1729±271	2316±33	28,5±12,8	95,4±2,1
Jaroměř	951±171	1617±34	23,4±10,7	---

Tab. č. 16 Obsah přístupného dusíku v separátu

BPS	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(1)</sup> mg/kg č.h.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(2)</sup> mg/kg č.h.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sup>(3)</sup> mg/kg č.h.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sup>(4)</sup> mg/kg č.h.
Krásná Hora	1826±104	1949±36	67±3,11	60,5±13,8
Petrovice	1843±95	2160±31	55±8,0	91±12,7
Jaroměř	1405±30	---	36±0,12	---

Tab. č. 17 Obsah přístupného dusíku ve fugátu

BPS	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(1)</sup> mg/kg č.h.	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(2)</sup> mg/kg č.h.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sup>(3)</sup> mg/kg č.h.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sup>(4)</sup> mg/kg č.h.
Krásná Hora	1659±146	2097±38	24,6±7,8	66,2±3,2
Petrovice	1465±321	2250±50	28,6±9,9	94,5±2,0

<sup>(1)</sup> Spektrofotometrické stanovení amonného dusíku Nesslerovým činidlem (měřeno VÚKOZ)

<sup>(2)</sup> Odměrné neutralizační stanovení amonného dusíku (měřeno ČZU)

<sup>(3)</sup> Spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku – brucinová zkouška (měřeno VÚKOZ)

<sup>(4)</sup> Spektrofotometrické stanovení dusičnanového dusíku s 2,6 – dimethylfenolem ve fotometrických zkumavkách (měřeno ČZU)

Tabulky č. 15 – 17 uvádějí obsah přijatelného dusíku v digestátu, separátu a fugátu a pro usnadnění porovnání odlišných metod stanovení přebírají hodnoty z tabulek č. 6, 9 a 12 přepočtené na 1 kg čerstvé hmoty.

Z výsledků obsahů přijatelného dusíku v digestátech, separátech a fugátech bylo zjištěno, že více jak 95 % přijatelného dusíku je tvořeno dusíkem amonným, což vychází se samotného procesu digesce a striktně anaerobních podmínek v jeho průběhu. Spektrofotometrickým stanovením amonného N bylo ve všech případech stanoveno nižší množství v porovnání s destilační metodou. Nejvyšší rozdíly (30 – 50 %) byly zjištěny u fugátu (tab. 17), kde pravděpodobně byly teplotou a alkalizací vzorku rozloženy i labilní organické sloučeniny vázající redukované formy dusíku. Nejmenší rozdíly byly stanoveny v případě separátu (5 – 20 %) což je v souladu s nižším obsahem amonného N v tomto materiálu a jeho pevnou vazbou v nerozloženém organickém zbytku. Podobně jako v případě amonného N, tak i při stanovení dusičnanového N byly zjištěny významné rozdíly mezi oběma metodami. Metoda s dimethylfenolem prezentovala vyšší obsahy než brucinová zkouška. Zde je však třeba vzít v úvahu obecně nízké hodnoty získané ve všech stanoveních. Metody použité pro měření dusičnanového dusíku nemají v postupu odstraňování barevnosti měřených vzorků - přesto je lze v běžné praxi doporučit s upozorněním, že u výluhů, které jsou i po odstředění lehce zbarveny do hněda, lze předpokládat pozitivní ovlivnění získané hodnoty.

*Tab. č. 18 Celkové obsahy dusíku v digestátu, separátu a fugátu*

<b>BPS</b>	<b>Digestát mg N/kg č. h.</b>	<b>Separát mg N/kg č. h.</b>	<b>Fugát mg N/kg č. h.</b>
Krásná Hora	3700±231	6137±281	3640±350
Petrovice	3675±480	6533±532	3625±480

*Pozn.: získané hodnoty měřeny Kjeldahlovou metodou*

Ze srovnání hodnot přijatelného (tab. 15-17) a celkového dusíku (tab. 18) vyplývá, že v digestátech a fugátech amonný dusík tvoří více jak 55 % celkového obsahu dusíku. Vzhledem k povaze materiálu, zejména u fugátu, můžeme předpokládat, že tento N bude po aplikaci do půdy relativně snadno mineralizován a využit rostlinami či podlehne ztrátám. U separátů tvoří podíl amonného dusíku jen 33 % z celkového jeho obsahu. Využití organicky vázaného dusíku v separátu bude obtížnější, vzhledem ke stabilitě organické hmoty.

## **V. Stanovení fyzikálně-chemických vlastností, celkových živin a rizikových prvků**

---

V laboratoři FAAPZ ČZU bylo ověřeno stanovení celkových obsahů živin a rizikových prvků ve vzorcích digestátu, separátu a fugátu různých BPS. Vzorky byly vždy usušeny při 45 °C do konstantní sušiny a poté zhomogenizovány rozemletím na mlýnku Fritsch na jemnost částic menší 2 mm. Výluh v destilované vodě v poměru 1:10 byl třepán 5 minut, dalších 5 minut ponechán stát a následně byla přímo v suspenzi měřena hodnota pH a EC.

Vedle celkových živin byl měřen i obsah celkových stopových prvků Fe, Mn, Zn, Cu, B a Mo. Zemědělské BPS navracejí digestáty, separáty a fugáty zpět do biologického procesu, proto byly stanoveny i obsahy celkových rizikových prvků Pb, Cd, As, Cr, Zn, Cu, Ni, Mo, Hg a naměřené hodnoty porovnány s limity danými vyhláškou č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva V průběhu sledování bylo hodnoceno 5 odběrů ve třech opakováních.

*Postup:* Pro určení obsahu makro a mikroživin byly vzorky převedeny do roztočku pomocí mikrovlnného procesu. Vzorky byly naváženy do teflonových kyvet mikrovlnného systému ETHOS 1 o objemu 90 ml (navážka cca 0,5 g), poté zality 10 ml lučavky královské. Rozklady probíhaly metodou vysokotlakého mikrovlnného rozkladu, tzn. postupného zvyšování vnitřní teploty (160, 190, 210 °C), vnější (90, 110, 120 °C) a za výkonu 800 – 1000 W. Celkový rozklad probíhal 30 minut, poté následovalo chlazení 60 minut. Po vychlazení rozloženého vzorku následoval odpar kyseliny ve speciálním rotoru. Po odpaření byl vzniklý mineralizát doředěn demineralizovanou vodou do objemu 25 ml, uzavřen a promíchán. Obsahy prvků byly stanoveny atomovou absorpční spektrometrií s plamenovou atomizací na přístroji Varian 280FS a optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji Varian VistaPro, oba firma Varian, Austrálie.

### **5. 1 Celkové obsahy živin v sušině digestátu, separátu a fugátu**

Celkové obsahy živin v digestátech v sušině (tab. 19 a 20) významně převyšovaly stanovené přístupné podíly shodně vyjádřené a opět závisely na složení vstupních surovin. Z makroživin byl zjištěn nejvyšší obsah draslíku, který se pohyboval v rozmezí 4,6 – 5,7 %. Vysoký byl i obsah vápníku (2,9 – 4,3 %), dále fosforu (0,8 – 1,1 %), síry (0,7 – 1,3 %) a hořčíku (0,5 – 1 %). Obsahy mikroživin se pohybovaly v řádově nižších koncentracích, výjimku tvořilo železo (0,15 % - 1,7 %). Významně odlišné vstupní suroviny u BPS Jaroměř ovlivnily zejména významně vyšší obsah železa a síry a nižší obsah hořčíku ve srovnání s dalšími dvěma BPS. Podíl přístupných živin v celkových obsazích digestátů se pohyboval od 2,5 do 82 %. Nejvyšší podíl přístupných forem byl zjištěn v případě K - pohyboval se okolo 80 %. U BPS

KH a J byly dobře přístupné i Mg (cca 45 %), Mn (35 %), Cu a Mo (cca 30 %). Naopak nízkou dostupnost ukazovaly Ca, Zn i P. U digestátu z J byla přístupnost živin s výjimkou K a Mn odlišná a zpravidla nižší.

*Tab. 19. Celkové obsahy makroživin v digestátech*

<b>BPS</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>Ca (mg/kg)</b>	<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>S (mg/kg)</b>
Krásná Hora	10188±380	48337±3010	43900±1919	9704±681	7089±348
Petrovice	8838±1235	46929±1318	29575±4491	7568±228	8438±4951
Jaroměř	10778±1766	57817±5376	32159±864	5202±388	13119±296

*Tab. 20. Celkové obsahy mikroživin v digestátech*

<b>BPS</b>	<b>Fe (mg/kg)</b>	<b>Mn (mg/kg)</b>	<b>B (mg/kg)</b>	<b>Mo (mg/kg)</b>
Krásná Hora	1493±90	315±39	47,2±2,7	2,20±0,26
Petrovice	1410±505	258±69	38,8±2,3	1,87±0,40
Jaroměř	17020±201	409±23	53,1±9,7	3,05±19,2

*Tab. 21. Celkové obsahy makroživin v separátech*

<b>BPS</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>Ca (mg/kg)</b>	<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>S (mg/kg)</b>
Krásná Hora	5436±498	13230±299	30021±433	5544±47,1	5556±377
Petrovice	7055±1757	17875±2867	24703±2812	6292±584	4654±847
Jaroměř	9807±317	64089±2239	25286±2317	5596±668	13351±639

*Tab. 22. Celkové obsahy mikroživin v separátech*

<b>BPS</b>	<b>Fe (mg/kg)</b>	<b>Mn (mg/kg)</b>	<b>B (mg/kg)</b>	<b>Mo (mg/kg)</b>
Krásná Hora	1928±361	255±138	32,8±5,26	1,56±0,88
Petrovice	1035±531	150±46,5	29,8±0,97	1,02±0,26
Jaroměř	14471±574	323±29,2	50,30±3,3	2,95±0,9

Celkový obsah živin v separátech (tab. 21 a 22) byl v případě makroživin nižší než v digestátech u BPS KH a P, v případě BPS J nebyl tento trend jednoznačný. U hodnocených separátů byl z makroživin zjištěn nejvyšší obsah draslíku u BPS Jaroměř a to 4 násobný v porovnání s dalšími dvěma hodnocenými BPS, jež dosahovaly obsahů 1,3 – 1,8 %, což je dáno odlišnými vstupními surovinami – výlisky z ovoce a cukrovarnické řízky. Druhý nejvyšší obsah byl v separátech zjištěn u vápníku v rozmezí 2,4 – 3 %, dále byl zjištěn výrazněji vyšší obsah síry BPS Jaroměř (1,3 %), oproti dalším dvěma BPS (0,47 – 0,56 %). Vyšší obsah fosforu byl naměřen v separátu BPS J, téměř 1 %, obsah hořčíku u všech hodnocených BPS byl relativně obdobný 0,6 %. Z mikroživin byl v separátech zjištěn nejvyšší obsah železa BPS J,

kteře dosahovalo 1,4 %. U dalších dvou BPS byl naměřen obsah železa 0,1 – 0,2 %. Obsah manganu se pohyboval v rozmezí 0,02 – 0,03 %, obsah bóru v separátu BPS Jaromeř potvrzoval odlišnost vstupních surovin hodnotou 0,005 % v porovnání s dalšími dvěma BPS 0,003 %.

*Tab. 23. Celkové obsahy makroživin ve fugátech*

<b>BPS</b>	<b>P (mg/kg)</b>	<b>K (mg/kg)</b>	<b>Ca (mg/kg)</b>	<b>Mg (mg/kg)</b>	<b>S (mg/kg)</b>
Krásná Hora	11491±730	58847±3697	48743±1111	10654±930	7615±32,6
Petrovice	10103±282	63267±11600	33128±998	8500±750	6484±225

*Tab. 24. Celkový obsah mikroživin ve fugátech*

<b>BPS</b>	<b>Fe (mg/kg)</b>	<b>Mn (mg/kg)</b>	<b>Mo (mg/kg)</b>	<b>B (mg/kg)</b>
Krásná Hora	1411±916	223±14	1,34±0,94	37,2±1,2
Petrovice	1578±193	306±10	2,45±0,18	41,2±5,5

Celkový obsah živin v sušině fugátů byl v průměru nejvyšší ze všech sledovaných složek, vzhledem k nízkému obsahu sušiny (tab. 23 a 24). U draslíku činil 5,8 – 6,3 %, u vápníku 3,3 – 4,9 %, u fosforu 1 – 1,1 %, u hořčíku 0,9 – 1 % a obsah síry byl 0,6 – 0,8 %. Zjištěné obsahy makroživin korespondují s hodnotami stanovenými v digestátech. Obsah železa se ve fugátech pohyboval v rozmezí 0,14 – 0,16 %, obsah manganu 0,02 – 0,03 %, obsah bóru byl cca 0,004 %. Obsah molybdenu se pohyboval v nepatrných koncentracích (1 - 2,5 mg/kg).

## **5. 2 Celkové obsahy rizikových prvků v sušině digestátů, separátů a fugátů**

Tabulka č. 25 uvádí limitní hodnoty rizikových prvků v organických a statkových hnojivech podle vyhlášky č. 474/2000 Sb. ze dne 1. srpna 2014. Vyhláška stanovuje limitní hodnoty u organických a statkových hnojiv se sušinou nejvýše 13 % a se sušinou nad 13 %.

*Tab. 25. Limitní obsahy rizikových prvků dle vyhlášky č. 474/2000 Sb.*

Organická a statková hnojiva do 13 % suš. (mg/kg sušiny)								
Zn	Pb	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Mo	Hg
1200	100	20	2	100	250	50	20	1,0
Organická a statková hnojiva nad 13 % suš. (mg/kg sušiny)								
Zn	Pb	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Mo	Hg
600	100	20	2	100	150	50	20	1,0

Tab. 26. Celkové obsahy rizikových prvků v digestátech

BPS	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Krásná Hora	495±69	< 0,05	2,63±0,11	0,27±0,03	6,18±0,66	65,0±9,24
Petrovice	257±55	1,95±0	2,59±0	0,190±0,08	5,59±1,02	46,5±9,2
Jaroměř	246±41	13,7±0,3	6,33±0,8	0,38±0,16	38,2±11,2	71,3±7,7
BPS	Ni (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Hg (mg/kg)	---	---	---
Krásná Hora	3,66±1,08	2,20±0,26	0,024±0,005	---	---	---
Petrovice	9,96±0,16	1,87±0,40	0,028±0,001	---	---	---
Jaroměř	24,64±0,42	3,05±19,2	0,276±0,060	---	---	---

Tab. 27. Celkové obsahy rizikových prvků v separátech

BPS	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Krásná Hora	285±165	1,42±0,45	2,76±0,76	0,06±0	3,38±1,31	45,4±27,3
Petrovice	124±27	1,55±0	2,38±0	0,103±0	2,20±1,14	24,2±4,63
Jaroměř	216±45	9,60±0,4	5,26±0,7	0,34±0,1	38,82±1,5	55,37±6,8
BPS	Ni (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Hg (mg/kg)	---	---	---
Krásná Hora	0,94±0,01	1,56±0,88	0,011±0,001	---	---	---
Petrovice	6,72±0,07	1,02±0,26	0,012±0,007	---	---	---
Jaroměř	---	2,95±0,9	---	---	---	---

Tab. 28. Celkové obsahy rizikových prvků ve fugátech

BPS	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Krásná Hora	277±15	1,99±0	3,22±0	0,09±0,04	2,33±1,98	42,8±25
Petrovice	290±3	1,43±0,34	2,98±0,80	0,253±0,13	11,54±9,3	55,5±0,87
BPS	Ni (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Hg (mg/kg)	---	---	---
Krásná Hora	5,55±0,63	1,34±0,94	0,023±0,004	---	---	---
Petrovice	16,04±0,30	2,45±0,18	0,026±0,005	---	---	---

Všechny stanovené obsahy rizikových prvků v sušině digestátů, separátů a fugátů splnily limity stanovené výše uvedenou vyhláškou. V digestátu BPS Krásná Hora nad Vltavou bylo stanoveno maximálně cca 500 mg zinku na kg, u dalších hodnocených BPS byl obsah poloviční. U digestátu BPS Jaroměř byl zjištěn vyšší obsah olova a



arsenu, u olova sedminásobný, u arsenu 2,5 násobný v porovnání s dalšími BPS. Obsah kadmia se u všech hodnocených BPS pohyboval v rozmezí 0,19 – 0,38 mg/kg.

Obsah zinku se pohyboval v separátech v rozmezí 124 – 285 mg/kg. V separátu BPS Jaroměř byl zjištěn obsah olova 9,6 mg/kg, u dalších dvou BPS v rozmezí 1,4 – 1,6 mg/kg. Obsah arsenu byl v separátu BPS Jaroměř dvojnásobný oproti dalším dvěma. Obsah kadmia se pohyboval v separátu BPS Jaroměř 0,34 mg/kg, u dalších dvou v rozmezí 0,06 – 0,1 mg/kg. U separátu BPS Jaroměř byl zjištěn výrazně vyšší obsah chromu 38 mg/kg v porovnání s dalšími dvěma BPS v rozsahu 2,2 – 3,4 mg chromu na kg. Obsahy naměřené u mědi byly řádově srovnatelné, v rozmezí 24 – 55 mg/kg, vyšší hodnoty byly zjištěny u BPS Jaroměř. Celkově je možno konstatovat, že produkované digestáty ani jejich separované složky nejsou z hlediska obsahu rizikových prvků problematické a mohou být bez problémů aplikovány na zemědělskou půdu.

## **VI. Srovnání novosti postupů**

Metodika podrobně popisuje laboratorně ověřené metody pro hodnocení fyzikálních a chemických vlastností digestátů, separátů a fugátů. Jedná se o stanovení objemové hmotnosti, hodnot pH a obsahu rozpustných solí (EC) a především obsahu přijatelných a celkových živin. Z přijatelných živin se metodika zaměřuje především na stanovení obsahu minerálního dusíku vyjádřeného v amonné a dusičnanové formě a na stanovení fosforu, draslíku vápníku a hořčíku finančně dostupnými metodami. V metodice je podrobně popsána příprava jednotlivých výluhů, odstranění pevné složky z výluhu (filtrace, resp. odstředění), vlastní postupy stanovení jednotlivých parametrů a pro laboratorní koncovku je doporučeno ředění u problematických živin. Toto detailní zpracování je vhodným, dosud nepublikovaným návodem k analýzám digestátů i jeho separovaných složek.

Velkou výhodou této metodiky je, že kromě postupů udává i výsledky řady analýz digestátů, separátů a fugátů a uživatel má tak možnost porovnat si vlastní naměřené výsledky s těmi, které charakterizují standardní zemědělské BPS (Krásná Hora nad Vltavou, Petrovice) s další, zpracovávající odlišné suroviny, BPS Jaroměř. Analýzy většího počtu vzorků ukazují na rozdíly v obsahu živin v produktech jednotlivých BPS i v jednotlivých separovaných komponentech a dokládají možnost použití digestátu a jeho složek jako hnojiva.

Velmi cenné a nové je popsání jednotlivých metod stanovujících jednotlivé formy přístupného N, které dokumentuje, že použitá metoda ovlivňuje absolutní stanovenou hodnotu s ohledem na malou stabilitu některých organických sloučenin či zbarvení.

Unikátní je porovnání celkových a přístupných obsahů makro a mikroživin v digestátech, separátech a fugátech, které jasně dokládá značné rozdíly v přístupnosti

jednotlivých živin v závislosti na sledovaném produktu, zejména vysokou mobilitu draslíku.

Předkládané zpracování hodnot fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu v návaznosti na následné využití daných materiálů je v rámci území České republiky také nové a původní.

## VII. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika poskytuje návod a podává přehled provozovatelům BPS, zpracovatelům a uživatelům digestátů, separátů a fugátů, jaké fyzikální a chemické vlastnosti stanovovat, jak tyto parametry stanovit, ukazuje na poměrně rozsáhlém počtu stanovení, v jakém intervalu se pohybují hodnoty jednotlivých veličin, popřípadě jak se získané hodnoty od sebe liší, v závislosti na použité metodě.

Poskytuje informace o dostupném podílu živin v jednotlivých složkách a umožňuje tak zpřesnit jejich dávkování při aplikaci.

Doporučuje přístrojové vybavení provozní laboratoře v závislosti na četnosti analýz a na vstupních surovinách přicházejících do BPS.

## VIII. Ekonomické aspekty

Jak vyplývá z výše uvedeného textu, instalace BPS se stala v dnešní době běžným provozním zařízením zemědělských podniků. Pro základní hodnocení (tj. stanovení hodnoty pH, vodivosti a dále pak stanovení obsahu amonného a dusičnanového dusíku, draslíku, vápníku, horčíku a fosforu) v případě stálých známých vstupů surovin postačuje provozní laboratoř se základním přístrojovým vybavením. Následující přehled udává orientační náklady na pořízení vybavení laboratoře pro stanovení výše uvedených parametrů a živin popsánymi metodami:

Tab. 29. Náklady na pořízení základního vybavení laboratoře

Přístroj	Přibližná cena (Kč)
Sušárna	40 000,-
pH metr + konduktometr	40 000,-
Spektrofotometr	60 000,-
Plamenový fotometr	95 000,-
Systém pro výrobu destilované popř. demineralizované vody	25 000,-
Celkem laboratorní sklo a plast	15 000,-
Celkem chemikálie	10 000,-
Automatické pipety a dávkovače:	58 000,-
Celkové náklady	343 000,-

Pro přesné stanovení obsahů makro a mikroživin a rizikových prvků je nezbytné použití speciálních přístrojů, u kterých se cena pohybuje v řádech statisíců až jednotek milionů korun, a jejich využití by na jednotlivých stanicích bylo nedostatečné

a neekonomické. Vzhledem k ceně přístrojů doporučujeme využít služeb specializovaných laboratoří. Cena se u jednotlivých akreditovaných laboratoří odvíjí od počtu a četnosti stanovení a náročnosti metody. Následující přehled udává orientační rozmezí cen jednotlivých stanovení za jeden vzorek:

*Tab. 30. Orientační rozmezí cen jednotlivých stanovení v komerčních laboratořích*

<b>Stanovení</b>	<b>Cena (Kč)</b>
Sušina	50, - 80,-
Spalitelné látky	50, - 90,-
Makroživiny	600, - 1200,-
pH	20,- 40,-
Mikroživiny a rizikové prvky (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn, Cr, As, Mo, Hg)	600,- 1000,-
Celkový dusík (Kjeldahl)	150,- 250,-

K uvedeným částkám se připočítává i poplatek za homogenizaci vzorku, jeho rozklad a přípravu k analýze, vyhodnocení, a odeslání protokolu, Cena těchto úkonů může být v některých případech zahrnuta do vlastní analýzy.

## **IX. Závěr**

Metodika podrobně popisuje metody, které lze využít pro laboratorní hodnocení fyzikálních a chemických vlastností digestátů, separátů a fugátů ze zemědělských BPS. V metodice jsou popsána specifika přípravy jednotlivých výluhů, standardních i pracovních roztoků, vlastní stanovení, výpočet hodnocených parametrů i následné vhodné ředění vzorků pro jednotlivá laboratorní stanovení.

Pro stanovení objemové hmotnosti, hodnot pH, obsahu rozpustných solí (EC) a obsahu přijatelných živin ve vyluhovacím činidle CAT jsou doporučeny a v této metodice ověřeny platné normy EN.

Pro stanovení jednotlivých forem dusíku je popsána klasická metoda Kjeldahl (celkový dusík), dále je uvedena příprava vodného výluhu a následná odměrné neutralizační titrace amonného dusíku ( $\text{N-NH}_4^+$ ) s použitím destilačního systému a současně i spektrofotometrické stanovení této formy s použitím Nesslerova činidla. Také stanovení dusičnanového N bylo provedeno dvěma spektrofotometrickými metodami, a to brucinovou zkouškou a metodou s 2,6-dimethyfenolem ve fotometrických zkouškách. V metodice je též popsána předúprava vzorků a následné metody stanovení celkových makro a mikroživin i rizikových prvků.

Vývoj a ověření uvedených metod byly realizovány na digestátech, separátech a fugátech reprezentujících tří tuzemské zemědělské BPS.

Zjištěné obsahy sušiny potvrdily hodnoty uváděné v literatuře u digestátů a fugátů v rozmezí 6 – 10 % hmotnostních. U separátů se sušina pohybovala v rozmezí 19,7

– 28,5 %. Stanovení hodnoty pH ve vodném výluhu potvrdilo alkalickou reakci materiálů korespondující s přímo měřenými hodnotami pH digestátů a fugátů.

Vysoké obsahy rozpustných solí u digestátů a fugátů byly potvrzeny následně stanovenými vysokými obsahy makro a mikroživin, zejména draslíku.

Z relativního porovnání přijatelných a celkových obsahů jednotlivých živin v digestátu, separátu a fugátu hodnocených BPS se prokázalo, že digestáty a fugáty jsou významným zdrojem přijatelných živin, zejména dusíku, draslíku, hořčíku a manganu. Obsah přístupného dusíku byl nejvyšší ve fugátech (cca 50 %), dále v digestátech (cca 40 %), naopak nižší obsah byl zjištěn v separátech (30 %). Na základě stanovení byl potvrzen fakt, že přijatelný dusík je v materiálech vystupující z digesce tvořen z více jak z 95 % dusíkem amonným. Obsah přijatelného draslíku se v digestátech a fugátech pohyboval v rozmezí 70 – 80 %, obsah přijatelného hořčíku se pohyboval v rozmezí 40 – 50 % a obsah přijatelného manganu činil 30 – 40 %. Zjištěný vysoký obsah přijatelného manganu lze využít při hnojení na lehkých a silně kyselých půdách s nedostatkem manganu. V separátech byl podíl přístupných živin významně nižší. U dusíku a draslíku se obsah přijatelných živin pohyboval v rozmezí 16 – 30 %, u ostatních živin byl nižší.

Podíl přístupných mikroživin byl v digestátech a fugátech obdobný, v separátech byl nižší. Z mikroživin byl zjištěn nejvyšší podíl přístupného molybdenu (30 – 50 %), dále mědi (20 – 40 %), bóru (10 – 15 %), zinku (11 – 15 %) a železa.

Jednoduchá finanční rozvaha nákladů na pořízení vybavení pro stanovení základních parametrů vedlejších produktů BPS a orientační náklady na stanovení těchto a dalších parametrů v komerčních laboratořích umožňují uživatelům zvolit si vlastní strategii kontroly kvality.

## **X. Seznam použité související literatury**

- ČSN EN 13037 (2012) Pomocné půdní látky a substráty - Stanovení pH. 12 s., ÚNMZ, Praha
- ČSN EN 13038 (2012) Pomocné půdní látky a substráty - Stanovení elektrické konduktivity. 12s., ÚNMZ, Praha
- ČSN EN 13039 (2012) Pomocné půdní látky a substráty - Stanovení organických látek a popela. 12 s., ÚNMZ, Praha
- ČSN EN 13040 (2013) Pomocné půdní látky a substráty - Příprava vzorků pro chemické a fyzikální zkoušky, stanovení obsahu sušiny, vlhkosti a objemové hmotnosti laboratorně zhutnělého vzorku. 16s., ÚNMZ, Praha
- ČSN EN 13651 (2002) Půdní melioranty a stimulanty růstu - Extrakce živin rozpustných v chloridu vápenatém / DTPA (CAD). 20 s., ÚNMZ, Praha
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia Praha, s. 568
- Vaněk, V. (2001): Doporučení pro vyjadřování výsledků agrochemických rozborů rostlin, půd, hnojiv a potřeby hnojení. Rostlinná výroba, 47 (12): 506.

## **XI. Seznam publikací, které předcházely metodice**

---

Dubský, M., (2006): Metody EU pro hodnocení organických substrátů. Zahradnictví 98/2: 51–53.

Dubský, M., Kaplan, L. (2012): Substráty a zeminy s komposty a separovaným digestátem. Zahradnictví 11 (8), 62–65.

Dubský, M., Tlustoš, P., Kaplan, L. (2012): Využití pevné fáze digestátu pro přípravu pěstebních substrátů. Sborník z konference Racionální použití hnojiv, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2012, 215 s., ISBN 978-80-213-2331-5.

Dubský, M., Kaplan, L. (2013): Fyzikální vlastnosti rašelinových substrátů se separovaným digestátem. Zahradnictví 12 (2), 66–68.

## **XII. Dedikace**

---

Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu NAZV č. QJ 1210085 „*Využití digestátu a jeho separovaných složek v zemědělství a v zahradnictví pro aplikaci v hnojivých systémech výživy rostlin a pro výrobu pěstebních substrátů*”.

## **XIII. Jména oponentů a názvy jejich organizací**

---

Odborný oponent z oboru: Ing. Jaroslav Houček, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Obor krmiv, hnojiv a půdy, Oddělení hnojiv, Za opravnou 4/4, Praha 5, 150 06.

Oponent ze státní správy: Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství ČR, Odbor rostlinných komodit, Oddělení polních plodin, Těšnov 65/17, Praha 1, 110 00.