

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Využití separovaných složek digestátu jako hnojiva

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Dalibor Mondek

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc.

Konzultant: Ing. Lukáš Kaplan

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "**Využití separovaných složek digestátu jako hnojiva**" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a konzultanta s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 11.4. 2014

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Pavlovi Tlustošovi, CSc. za věcné a odborné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Lukášovi Kaplanovi za odborné připomínky a pomoc při zpracování diplomové práce.

Využití separovaných složek digestátu jako hnojiva

Souhrn

V posledních deseti letech došlo k výraznému nárůstu počtu bioplynových stanic v ČR, s tím souvisí problematika efektivního využívání odpadních surovin při výrobě bioplynu. Vedlejším produktem výroby bioplynu je digestát. Po jeho mechanické úpravě vzniká pevná část - separát a kapalná část - fugát. Předpokládáme, že fugát lze využít, po jeho další úpravě, k přípravě kapalného hnojiva.

Cílem práce literární části bylo zhodnocení separovaných složek digestátu – separátu a fugátu z hlediska obsahů makroživin, mikroživin a rizikových prvků. Dále pak způsoby úpravy fugátu. V experimentální části práce se pak zaměřuji na zhodnocení fyzikálních a chemických vlastností separátu a fugátu bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. ve sledovaných obdobích, a dále možnost úpravy fugátu metodou laboratorní filtrace s následným zhodnocením jeho chemických vlastností pro přípravu kapalného hnojiva.

V první kapitole charakterizují bioplynové stanice, jejich výhody či nevýhody. V druhé kapitole uvádím bioplynové stanice v České republice a zahraničí. Ve třetí se zaměřuji na provozy bioplynových stanic a rozdíly jednotlivých bioplynových stanic. Ve čtvrté kapitole uvádím vznik bioplynu a charakteristiku výstupních surovin získaných procesem fermentace, různé způsoby separace digestátu, filtrace fugátu a následné agronomické způsoby využití. V další kapitole popisují legislativu zaměřenou na limitní hodnoty rizikových prvků v substrátech, organických a statkových hnojivech. Poslední kapitola literární části práce je zaměřena na druhy hnojiv, a to převážně minerálních kapalných hnojiv, s ohledem na jejich využití.

Celou diplomovou práci završuji vlastním experimentem s cílem verifikovat možnost využití fugátu pro přípravu kapalného hnojiva. V experimentu dále hodnotím fyzikální a chemické vlastnosti separovaných částí digestátu. Po laboratorní úpravě filtrací vzorků fugátu se potvrdilo, že tato metoda úpravy je vhodná pro přípravu kapalného hnojiva. Ze získaných analýz uvádím obsah a odběr vybraných makroživin, mikroživin a rizikových prvků. Z výsledků experimentu jednoznačně vyplynul vysoký obsah draslíku v upraveném fugátu metodou filtrace, a také zanedbatelný obsah rizikových prvků.

Klíčová slova: bioplynová stanice; separát; fugát; draslík; hnojivo

Use of separated components of digestate as fertilizers

Summary

There has been a significant growth of biogas stations in the Czech Republic in last ten years. It is connected to the issue of effective usage of biogas production waste products. The side effect of biogas production is digestate. After its mechanical modification we get a consistent and a liquid part. We assume that there is a possibility of using the liquid part (after its further modification) for a liquid fertilizer preparation.

The aim of the literary part was to assess separated parts of digestate – both consistent and liquid- as containers of macronutrients, micronutrients and risky elements. Moreover the ways of liquid part modifications. In the experimental part of this work I aim to assess the physical and chemical characteristics of consistent and liquid part of the ZD Krásná Hora nad Vltavou biogas station in tracked periods. Last but not least I assess the possibility of the liquid part of digestate modification via laboratory filtering and its chemical characteristic for a liquid fertilizer preparation.

In the first chapter I describe biogas stations with their advantages and disadvantages. In the second chapter I provide a list of biogas stations in the Czech Republic and abroad. In the third chapter I aim at biogas stations operation and differences between them. In the fourth I mention the genesis of biogas and characteristics of output stock gained by the fermenting procedure as well as different ways of digestate separation, liquid part of digestate filtering and follow-up agronomical means of usage. In the next chapter I describe the legislative of extreme merit of risky elements in substrates, organic and farmhouse fertilizers. The last chapter of the literary part is focused on fertilizer kinds, mainly mineral liquid fertilizers viewed through their usage.

The whole dissertation is capped by an experiment which goal is to verify the possibility of liquid part of digestate usage for a liquid fertilizer preparation. In the experiment I further assess physical and chemical characteristics of the separated digestate parts. A laboratory filtering adjustment of the liquid part of digestate samples showed us the availability of this method for the preparation of a liquid fertilizer. I state the content and withdrawal of chosen macronutrients and risky elements from gained analysis. The experiment results proved a high kalium content in the liquid part of digestate adjusted by filtering as well as a neglecting content of risky elements.

Keywords: biogas station, separate, liquid part of digestate, kalium, fertilizer

Obsah

1	Úvod	1
2	Hypotéza a cíle práce	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Bioplynové stanice pro zpracování biomasy	3
3.2	Bioplynové stanice v České republice a zahraničí	3
3.2.1	Česká republika	3
3.2.2	Dánsko.....	4
3.2.3	Německo.....	4
3.2.4	Rakousko.....	4
3.3	Provoz bioplynové stanice.....	5
3.3.1	Rozdělení fermentace podle vlhkosti zpracovávaného materiálu.....	5
3.3.2	Rozdělení nádrží podle způsobu plnění nádrží fermentoru	6
3.3.3	Rozdělení podle dávkování surového materiálu	7
3.3.4	Rozdělení podle teploty procesu.....	7
3.3.5	Rozdělení dle zpracovaného substrátu.....	8
3.4	Vznik bioplynu.....	11
3.4.1	Technologický proces anaerobní fermentace	11
3.4.2	Produkty anaerobní digesce.....	13
3.5	Legislativa	27
3.5.1	Zákon o hnojivech	27
3.5.2	Organická hnojiva, substráty, statková hnojiva	28
3.6	Organická (statková) hnojiva.....	28
3.6.1	Kapalná minerální hnojiva	29
3.6.2	Kapalná minerální hnojiva aplikovaná v zemědělství	29
3.6.3	Rizikové prvky v hnojivu	30
4	Metodika a materiál.....	32
4.1	Úvod.....	32
4.2	Bioplynová stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.	32
4.2.1	Provoz bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou	34
4.2.2	Výroba bioplynu bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou	34
4.3	Zhodnocení analýz odebraných vzorků separátu a fugátu.....	36
4.3.1	Zhodnocení analýz modifikovaného fugátu	36

4.4	Metody stanovení fyzikálních a chemických vlastností separátu a fugátu.....	37
4.4.1	Stanovení hodnoty pH a obsahu rozpuštěných solí	37
4.4.2	Metoda mikrovlnného rozkladu.....	37
4.4.3	Atomová absorpční spektrometrie (AAS)	38
4.4.4	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (OES-ICP)	38
4.4.5	Vyhodnocení výsledků	38
5	Výsledky.....	39
5.1	Zhodnocení analýz fyzikálních a chemických vlastností separátu a fugátu.....	39
5.2	Zhodnocení chemických vlastností modifikovaného fugátu.....	52
6	Diskuze.....	62
7	Závěr	65
8	Seznam použité literatury	67
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	76
10	Samostatné přílohy	77
10.1	Grafy.....	77
10.2	Obrázky.....	83

1 Úvod

Trh s bioplynem se v posledních několika letech dostává do popředí zájmu a získává stále více na významu. Nicméně udržitelnost výroby bioplynu touto cestou do značné míry závisí i na vhodném využití odpadních surovin vzniklých anaerobní fermentací. Je potřeba nalézt takový způsob nakládání s těmito surovinami, aby se zabránilo eventuálnímu negativnímu vlivu na životní prostředí. Všechny tyto aspekty vede řada autorů k hledání způsobu, jak efektivně využít odpadní suroviny vzniklé při výrobě bioplynu.

Bioplynové stanice zpracovávají nejenom biomasu, ale celou řadu biologicky rozložitelných materiálů. Jsou to i odpady, pocházející z mnoha zdrojů (chovy hospodářských zvířat, potravinářský průmysl, zemědělství, domácnosti). Tyto biologicky rozložitelné materiály je potřeba zpracovat co nejvhodnějšími způsoby. Přirozený proces anaerobního rozkladu těchto materiálů je v bioplynových stanicích technologicky řízen s cílem získat co nejvyšší možný výtěžek kvalitního bioplynu.

Kromě bioplynu je vedlejším produktem procesu anaerobní fermentace fermentační zbytek, tzv. digestát, a jeho separovaná pevná část (separát) a kapalná část (fugát). Využití bioplynu je zcela vyřešeno, v případě využití výstupní suroviny digestátu a jeho separovaných složek existuje řada možností jejich využití, které jsou do značné míry určeny typem použitého vstupního substrátu. Produkovaný digestát lze aplikovat na zemědělských a nezemědělských půdách přímo jako hnojivo. Separát lze kompostovat a fugát lze použít pro přípravu kapalného hnojiva, nebo ho aplikovat na ornou půdu jako kvalitní hnojivo. Fugát je charakterizován jako kašovitá hmota, vzniká mechanickou úpravou procesem separace. Fugát se vzhledem ke své konzistenci ukládá ve skladovacích jímkách a vyváží na pole obdobně jako hnůj.

2 Hypotéza a cíle práce

Efektivní nakládání s odpadními surovinami vznikající produkcí bioplynu je vysoce aktuálním tématem nejen v České republice. Vedlejším produktem procesu anaerobní digesce je digestát, z něhož po mechanické separaci vzniká tuhá složka - separát a kapalná složka - fugát. Předpokládáme, že vzniklá kapalná složka fugát je bohatým zdrojem živin, především dusíku a draslíku. Z tohoto důvodu je možné, po jeho další modifikaci, ho využívat pro přípravu kapalného hnojiva.

Cílem této diplomové práce bylo analyzování fyzikálních a chemických vlastností výstupních surovin bioplynových stanic, dále pak vyhodnocení chemických vlastností fugátu, který byl modifikován metodou laboratorní filtrací, z hlediska obsahu přístupných makroprvků, mikroprvků a rizikových prvků.

3 Literární rešerše

3.1 Bioplynové stanice pro zpracování biomasy

Bioplynové stanice jsou moderní a ekologická zařízení, která se běžně provozují po celém světě. Zpracovávají materiály nebo odpady organického původu prostřednictvím procesu anaerobní digesce za nepřístupu vzduchu v uzavřených reaktorech. Výsledným produktem procesu je bioplyn, který je zatím nejčastěji používán k výrobě obnovitelných zdrojů energie a tepla, a dále digestát, který lze používat jako kvalitní hnojivo (Bačík, 2008).

Carter, *et al.*, (2012) uvádí, že bioplyn lze využít také jako náhrada zemního plynu.

Schön, (2010) uvádí možné výhody bioplynových stanic pro zpracování biomasy, a to využití místně dostupných obnovitelných zdrojů, dále žádné náklady na dopravu v případě využití zemědělských odpadních produktů, téměř uhlíkově neutrální zásobování energií. Výhodou je také místní zásobování energií - žádné nové pozemní linky, možnost regulovatelnosti výkonu a lepší kvalita hnojení ve srovnání se surovými zemědělskými odpady.

Nevýhodami jsou vysoké počáteční investiční náklady a pravidelné mzdové náklady, možnost nepříjemného pachu. Další nevýhoda je výroba bioplynu, která není absolutně plynotěsná a může mít škodlivé účinky na životní prostředí, protože díky metanu je potenciál globálního oteplování 25x vyšší než podíl oxidu uhličitého na skleníkovém efektu. Dále nutnost dostatečné rozlohy pro skladování a šíření digestátu, výhradní pěstování energetických plodin může způsobit ekologické problémy (monokultury, eroze půdy). Při rozšířeném využívání zemědělské půdy pro produkci biomasy pro výrobu energie může mít za následky zvýšené náklady na výrobu potravin, toto neplatí v případě využití zemědělských odpadních produktů (Schön, 2010).

3.2 Bioplynové stanice v České republice a zahraničí

Bioplynové stanice mají tradici v evropských zemích. Nejvíce zkušeností s technologií výroby bioplynu má sousední Německo (35 % z celkové produkce). Na druhém je USA (23 %) a třetí místo patří Velké Británii (17 %). (Šafařík, 2012).

3.2.1 Česká republika

Ke dni 31. 7. 2013 je v České republice v provozu celkem 487 bioplynových stanic, z čehož je 317 zemědělských, 7 komunálních, 11 průmyslových, 55 na skládkách tuhého komunálního odpadu a 97 bioplynových stanic je provozováno v rámci čističek odpadních

vod. V České republice je bioplyn již třetím největším dodavatelem elektrické energie a druhým největším dodavatelem tepla. (Šafařík, 2012).

Podle Národního akčního plánu pro obnovitelné zdroje z roku 2010, by v roce 2020 měly být v České Republice v provozu bioplynové stanice o celkovém instalovaném výkonu 417 MW a vyrábět okolo 3 000 GWh ročně, tedy asi dva a půl násobek dnešní hodnoty (směrnice OZE 28/2009/ES). Celkem je tedy možné očekávat potenciál disponibilního tepla ve výši cca 8 500 TJ ročně (za předpokladu převažující výroby v kogeneračních jednotkách). Jakkoli je tato tepelná energie velmi rozptýlená a často obtížně využitelná z důvodů umístění bioplynové stanice, s ohledem na uvedený potenciál se jistě vyplatí uvažovat o celkové strategii jejího využití, už jen s ohledem na stále citlivější diskusi ohledně zajištění dodávek tepla v budoucnu. (Šafařík, 2012).

3.2.2 Dánsko

V Dánsku je v provozu přibližně 80 převážně zemědělských bioplynových stanic. Rozvoj bioplynových stanic v Dánsku byl silně podpořen národním bioplynovým akčním plánem mezi lety 1988 až 2002, který garantoval 40 % investiční dotace na výstavbu nových bioplynových stanic (Hahn, 2011).

Země s nejdelší tradicí a nejbohatšími zkušenostmi s výstavbou bioplynových stanic v zemědělství je Dánsko. Po řadě malých zařízení postavených koncem 70. a začátkem 80. let byl vypracován vládní program pro podporu výstavby velkých (centralizovaných) bioplynových stanic. Výsledkem vládního programu je vybudování 20 velkých bioplynových stanic zpracovávajících organické odpady ze zemědělství a průmyslu (Hahn, 2011).

3.2.3 Německo

Hahn (2011) uvádí, že je v Německu dnes okolo 4 900 převážně zemědělských bioplynových stanic o průměrném výkonu 400 kW, 3 500 komunálního typu a dále 44 bioplynových stanic s úpravou bioplynu na biometan s následným vtlačení do sítě zemního plynu. Z tohoto hlediska je Německo daleko nejrozvinutějším trhem s bioplynem, ze kterého částečně vychází i náš princip podpory tohoto odvětví, zejména systém garantované výkupní ceny na období 20 let (Hahn, 2011).

3.2.4 Rakousko

Hahn, (2011) dále uvádí, že v Rakousku je v současné době dnes instalováno kolem 320 bioplynových stanic o průměrném výkonu 250 kW, z toho je 100 bioplynových stanic

zemědělských a dále 8 bioplynových stanic pro výrobu biometanu. Nižší průměrná instalovaná kapacita bioplynových stanic v Rakousku je dána dvěma faktory. Prvním faktorem je systém podpory bioplynových stanic výkupními tarify soustředující zejména malé bioplynové stanice za účelem zvýšení jejich celkového posuzování životního cyklu (LCA = Life Cycle Assessment) a snížení negativních vlivů bioplynových stanic na své okolí (doprava vstupních substrátů). Druhým faktorem je nižší zemědělská intenzita ve srovnání například s Německem, kdy jsou jako zdroj vstupních surovin a travní biomasy se využívá horských alpských luk, jejichž výnosy jsou mnohem nižší a doprava vstupních substrátů je mnohem komplikovanější (Hahn, 2011).

Rozvoj bioplynových stanic v Rakousku je podporován formou investičních dotací od 25 % do 40 % investičních nákladů a zejména formou výkupních tarifů za prodej elektrické energie (Hahn, 2011).

3.3 Provoz bioplynové stanice

V bioplynové stanici biomasa podléhá v reaktoru – fermentoru procesu anaerobní digesce po určité době. Optimální teplota pro anaerobní digesci je vázána na různé kmeny bakterií. Bioplyn vznikající ve fermentoru je odváděn do zásobníku a upravován pro další využití – spalování, při kterém je výslednou energií buď odpadní teplo, nebo v případě kogeneračního zařízení i elektřina (Li *et al.*, 2013).

Proces anaerobní digesce vyžaduje zajištění životních podmínek pro mikroorganismy. Základním předpokladem je anaerobní prostředí (bez přístupu vzduchu) s dostatečnou vlhkostí (minimálně 50 %), optimální hodnota pH (6,5 – 7,5) a výše zmíněná stálá teplota (Li *et al.*, 2013).

3.3.1 Rozdělení fermentace podle vlhkosti zpracovávaného materiálu

3.3.1.1 Technologie mokré fermentace

Jedná se o nejběžnější metodu fermentace organických materiálů. Optimální sušina substrátu se zde pohybuje maximálně do 12 % (Škvoran *et al.*, 2012). Při obsahu sušiny kolem 5 % nastává příliš velká spotřeba tepla na ohřátí materiálu. Jako substráty se využívají prasečí a hovězí kejda, siláže (kukuřičné, travní), senáže aj. Materiály s vyšším obsahem sušiny (podestýlka) se před vstupem do fermentoru ředí na odpovídající obsah sušiny kejdou nebo procesní vodou (Karafiát *et al.*, 2009).

3.3.1.2 Technologie suché fermentace

Pro zemědělské provozovny, které nemají k dispozici kejdu či jiný kapalný základní substrát, lze realizovat tzv. suchou fermentaci. Tato technologie používá substrát s obsahem sušiny minimálně 20%, většinou se však jedná o obsah sušiny v rozmezí 30 až 35 %. Jako substráty se používají bioodpady, fytomasa a slamatá mrva. Rozmezí používaných teplot je zde v mezofilní (teplotní pásmo 35 – 40 °C) a termofilní oblasti (teplota okolo 55 °C). Termofilní oblast se využívá při fermentaci hygienicky závadného materiálu, kdy termofilní bakterie jsou schopny lépe degradovat nebezpečné látky (Karafiát *et al.*, 2009).

3.3.2 Rozdělení nádrží podle způsobu plnění nádrží fermentoru

3.3.2.1 Dávkový způsob

U dávkového způsobu se vyhnivací nádrž - fermentor naplní najednou. Dávka pak vyhnívá do konce doby kontaktu, aniž se další substrát přidává nebo odnímá. Produkce plynu po naplnění pomalu roste, dosahuje maxima a poté klesá. Na konci se vyhnivací nádrž najednou vyprázdní. Přitom se menší množství vyhnílého kalu (cca 5 až 10 %) ponechá v nádrži, aby se nová dávka naočkovala „zapracovanými“ bakteriemi (Schulz *et Eder*, 2004).

3.3.2.2 Průtokový způsob

Schulz *et Eder* (2004) uvádí, že většina bioplynových stanic na světě využívá průtokový způsob, buď v čisté formě, nebo v kombinaci se zásobníkovým způsobem. Tento způsob se oproti jiným technologiím vyznačuje tím, že vyhnivací nádrž je neustále plněna a vyprazdňuje se pouze příležitostně kvůli opravám nebo odstranění usazenin. Z malé nádrže je čerstvý substrát dodáván do vyhnivací nádrže, přičemž zároveň odchází přiměřené množství vyhnílého substrátu přepadem do skladovací nádrže. Výhodou této metody je rovnoměrná výroba plynu, dobré využití vyhnivacího prostoru a tím také cenově příznivá, kompaktní konstrukce s nízkými tepelnými ztrátami. Nevýhodou oproti dávkovému systému je možnost míchání čerstvého substrátu s vyhnílejším materiálem (Schulz *et Eder*, 2004).

U metody se zásobníkem jsou vyhnivací a skladovací nádrž spojeny do jedné nádrže. Při vyvážení vyhnílé kejdy se zásobník vyprázdní až na malý zbytek potřebný k naočkování další náplně. Výhodou jsou především nízké náklady, provozovatel potřebuje pouze velkou a tedy relativně levnou nádrž. Kromě toho je provoz těchto zařízení jednoduchý a přehledný (Schulz *et Eder*, 2004).

3.3.3 Rozdělení podle dávkování surového materiálu

3.3.3.1 Diskontuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové)

Doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení ve vyhnívací nádrži. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace je náročný na obsluhu (Petr, 2005).

3.3.3.2 Semikontinuální

Doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než zdržení materiálu ve vyhnívací nádrži. Je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů. Technologie lze dále rozlišovat jako technologie na zpracování tekutých organických materiálů s podílem sušiny 6 až 15 %. Substrát se dávkuje vícekrát za den, přičemž má malý vliv na změnu pracovních parametrů vyhnívací nádrže (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat, protože není náročný na obsluhu (Petr, 2005).

3.3.3.3 Kontinuální

Používá se při plnění vyhnívacích nádrží, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny (Petr, 2005). Podle podílu vlhkosti materiálu lze technologie dále rozlišovat jako technologie na zpracování tuhých materiálů s podílem sušiny 18 až 30 %, technologie na zpracování tekutých materiálů s nízkým podílem sušiny 0,5 % až 3 % se zápornou energetickou bilancí, technologie s vyšším podílem sušiny 3 % až 14 % s kladnou energetickou bilancí a technologie na výrobu bioplynu kombinované (Pastorek *et al.*, 2004).

3.3.4 Rozdělení podle teploty procesu

3.3.4.1 Psychrofilní teplotní pásmo

Psychrofilní teplotní pásmo je charakterizováno jako rozmezí teplot 15 – 20 °C. Psychrofilní bakterie mají své optimum při teplotách až do 25 °C. Při takových teplotách odpadá vyhřívání substrátů, popř. biofermentoru, avšak výkon rozkladu a výroba bioplynu jsou silně sníženy (Pastorek *et al.*, 2004).

3.3.4.2 Mezofilní teplotní pásmo

Mezofilní teplotní pásmo je charakterizováno jako rozmezí teplot 35 – 40 °C. Největší část známých metanových bakterií má své růstové optimum v mezofilním teplotním rozmezí

mezi 32 a 42 °C. Zařízení, která pracují v tomto rozmezí, jsou v praxi nejvíce rozšířena, neboť při těchto teplotách je dosahováno relativně vysokého výtěžku plynu i dobré procesní stability (Pastorek *et al.*, 2004).

3.3.4.3 Termofilní teplotní pásmo

Termofilní teplotní pásmo je charakterizováno jako rozmezí teplot 50 – 55 °C. Mají-li být hygienizací v substrátu zničeny zdraví škodlivé zárodky, nabízejí se pro zfermentování termofilní kultury bakterie, které mají své optimum v rozmezí mezi 50 a 57 °C. Zde je díky vyšší procesní teplotě dosahováno většího výtěžku plynu. Je také zapotřebí pomyslet na to, že je potřeba více energie pro ohřívání fermentačního procesu, který je v tomto teplotním rozmezí citlivější vůči rušení nebo nepravidelnostem v dodávkách substrátu či v provozním způsobu biofermentorů (Pastorek *et al.*, 2004).

3.3.5 Rozdělení dle zpracovaného substrátu

Podle toho, jakou biomasu bioplynová stanice zpracovává, rozlišujeme tři typy stanic: zemědělské, čistírenské a bioplynové stanice s označením ostatní.

3.3.5.1 Zemědělská bioplynová stanice

Vstupy tvoří statková hnojiva (kejda a jiné odpady z živočišné výroby) a plodiny tvořící biomasu (např. kukuřice). Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblasti pachovými látkami. Právě tato zařízení se stala typickými představiteli bioplynových stanic v Německu a Rakousku a proces jejich schvalování by měl být co nejjednodušší (Bačík, 2008).

Dříve anaerobní fermentací byla zpracovávána hlavně kejda, ale dnes, z důvodu podporovaných výkupních cen energie z bioplynu a nízkých vstupních cen řady komodit, je velká pozornost věnována zpracování substrátů s vyšším energetickým potenciálem. Jedná se hlavně o energeticky výnosné plodiny, jako je např. kukuřice (Kajan, 2006).

Ekonomicky zajímavým substrátem pro výrobu bioplynu v České republice se jeví i fytomasa z trvalých travních porostů. Hlavně proto, že trvalé travní porosty- louky a pastviny, tvoří přibližně čtvrtinu výměry (950 000 ha) obhospodařované zemědělské půdy České republiky. Obrovský pokles stavu skotu v posledních letech a zvyšující se produktivita zemědělství jsou hlavními důvody produkce obrovských přebytků rostlinné biomasy. Jednou z nejperspektivnějších technologií jejího využití z hlediska ekonomického i environmentálního je právě anaerobní fermentace, která je spojená s využitím vznikajícího

bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla. Zbytek po anaerobní fermentaci (digestát), obsahující nerozloženou část organické hmoty a prakticky nezměněné množství minerálních látek, je možno použít ke zpětnému hnojení- recyklaci živin (Kajan, 2006).

Pastorek *et al.*, (2004) uvádí tři hlavní důvody pro využití anaerobní fermentace organických materiálů, které pocházejí ze zemědělství, lesnictví, komunálního hospodářství a venkovské krajiny.

První důvod je produkce organických hnojiv. Tento důvod je významný především pro zemědělské podniky. Pokud zpracovávají vlastní organický materiál a vyprodukované hnojivo využívají ve vlastním podniku a neuvádějí je na trh, nemusí se řídit legislativními ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb. (sbírky) o hnojivech ve znění pozdějších předpisů, týkajícími se povinnosti registrovat hnojiva uváděná na trh. To samozřejmě neplatí pro podnikatele, který soustřeďuje odpady, anaerobní fermentací je zpracovává a hnojivo uvádí na trh (Pastorek *et al.*, 2004).

Následujícím důvodem je získání doplňkového zdroje energie. Nejvýhodnější variantou se jeví využít bioplyn pro své vlastní potřeby buď přímo pro ohřev teplé užitkové vody, nebo lépe pomocí kogenerační jednotky vyrobit teplou užitkovou vodu a elektrickou energii, příp. chlad. Využití médií pro vlastní spotřebu je nejvýhodnější variantou ze všech možných, protože výkupní ceny zvláště elektrické energie dodávané do distribuční sítě jsou stále relativně nízké, i když se situace zlepšila cenovým rozhodnutím energetického regulačního úřadu, který stanovil sazby výkupních cen elektřiny z obnovitelných zdrojů (v roce 2013 pro spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF2: 3,55 Kč. MWh-1, kategorie jsou AF1 a AF2 a jsou rozdělené dle zpracovávané biomasy: AF1 - zahrnuje biomasu určenou pro zpracování v procesu anaerobní fermentace s původem v energetických plodinách, AF2 - zahrnuje veškerou ostatní biomasu vhodnou pro zpracování v procesu anaerobní fermentace než je uvedeno v kategorii AF1). Cena je tedy závislá na druhu zpracovávané suroviny (Pastorek *et al.*, 2004).

Jako poslední důvod uvádí Pastorek *et al.*, (2004) zlepšení pracovního a životního prostředí. Tento faktor bude mít stále větší motivační význam při rozhodování o výstavbě bioplynových stanic. Příčinou je stále stupňující tlak ekologické legislativy, ať už se jedná o inovaci zákona o odpadech, nebo IPPC, neboli o integrované prevenci před znečištěním ovzduší a registraci znečišťovatelů. Změny obou legislativních norem jsou v kompetenci MŽP (Ministerstvo životního prostředí).

3.3.5.2 Čistírenské bioplynové stanice

Čistírenské bioplynové stanice zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod a jsou organickou součástí čistírny odpadních vod. Technologie anaerobní digesce je využívána za účelem anaerobní stabilizace kalu vznikajícího na čistírnách odpadních vod. Tyto technologie nejsou určeny ke zpracování bioodpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství čistíren odpadních vod jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z čistíren odpadních vod, žump a septiků a také odpadní voda (Auterská, 2010).

3.3.5.3 Ostatní bioplynové stanice

Největším problémem z hlediska řízení procesu a emisí pachových látek jsou bioplynové stanice ostatní. Tyto bioplynové stanice mnohdy zpracovávají vedlejší živočišné produkty jako je např. masokostní moučka nebo substrát prochází sterilizací a bioplynová stanice se chová jako malá kafilérie. Zde jsou problémy s pachy již při samotné dopravě a manipulaci se surovinou (Auterská, 2010).

V případě, že jsou do čistírenské bioplynové stanice přidávány také odpady podle zákona o odpadech, potom se rovněž jedná se o ostatní bioplynovou stanici. Zde může docházet k výkyvům v dávkování, a je tedy i vysoké riziko pachových emisí. Na dané zařízení se pak vztahují všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů. U bioplynových stanic ostatních, je mnohem složitější i řízení procesu, protože se mění vstupy podle charakteru odpadu, který se zrovna zpracovává. Stejně tak i digestát bývá z hlediska emisí pachů mnohem problematičtější, než u předešlých typů bioplynových stanic. Zásobníky na digestát je bezpodmínečně nutné zakrýt. Doprava suroviny na bioplynovou stanici musí být v uzavřených kontejnerech. Příjmové haly by měly být uzavřeny a vzduchotechnika by měla tvořit v hale lehký podtlak. Odsávaný vzduch by měl být dočištěván (spalování, biologické filtry nebo pračky vzduchu apod.). Biologický proces by měl být důsledně sledován a dodržována receptura dávkování (Auterská, 2010).

V rámci ostatních bioplynových stanic můžeme bioplynové stanice rozdělit na průmyslové a komunální (Bačík, 2008).

3.4 Vznik bioplynu

3.4.1 Technologický proces anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je řízený proces rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu, jehož konečnými produkty je bioplyn a jeho vedlejší produkt tzv. digestát. Proces anaerobní digesce je též nazýván metanová fermentace nebo metanizace. Anaerobní rozklad organických látek probíhá ve čtyřech fázích (Schulz *et* Eder, 2004).

3.4.1.1 Hydrolýza

První fáze procesu začíná v době, kdy je v prostředí kyslík. Kyslík se postupně spotřebovává aktivitou aerobních bakterií (Gerhardt *et al.*, 2007).

Při hydrolýze se rozpuštěné i nerozpuštěné polymery (především škrob, celulóza a hemicelulóza), dále bílkoviny a tuky rozkládají působením mikroorganismů na nízkomolekulární látky, jako jsou cukry, peptidy, glycerin, vyšší mastné kyseliny a aminokyseliny. Tyto vzniklé nízkomolekulární látky jsou schopné transportu do obsahu buňky, kde pokračuje další rozklad (Gerardi, 2003); (Appels *et* Harold, 2008).

3.4.1.2 Acidogeneze

Acidogeneze je druhou fází anaerobního rozkladu organické hmoty. V této fázi dochází k tvorbě organických kyselin. Produkty hydrolýzy se odbourávají na jednodušší skupinu karboxylových kyselin s krátkými řetězci, jako jsou kyselina octová, propionová, máselná, izomáselná, valerová, isovalerová a kapronová, v malých koncentracích se tvoří také ještě kyselina mléčná, vodík a oxid uhličitý (Seadi, 2008).

Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukováných produktů, které jsou závislé na charakteru původního substrátu a podmínkách prostředí. Při nízkém parciálním tlaku vodíku je produkována kyselina octová, oxid uhličitý a vodík. Při vyšším jsou tvořeny organické kyseliny, kyselina mléčná, ethanol (Ust'ak *et* Váňa, 2004).

Hydrolýzu a acidogenezi zajišťují početné kultury z čeledi *Streptococcaceae* a *Enterobacteriaceae* a z rodů *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* a další (Malat'ák *et* Vaculík, 2008).

3.4.1.3 Acetogeneze

Produkty látkové výměny z hydrolýzní a acidofilní fáze, jako jsou mastné kyseliny s krátkými řetězci (kyselina propionová, máselná, izomáselná, valerová, isovalerová a kyselina kapronová), kyselina mléčná, alkoholy a glycerin se nyní rozkládají a přeměňují v průběhu

anaerobní oxidace obligátními či fakultativními mikroorganismy na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou, která je také tvořena autogenní respirací oxidu uhličitého a vodíku homoacetogenními mikroorganismy (Appels *et* Harold, 2008); (Seadi, 2008).

Účast mikroorganismů produkující vodík je nezbytná, v rámci rozkladu kyseliny propionové a ostatní organické kyseliny vyšší než kyselina octová, alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Na druhou stranu, vysoký obsah vodíku brzdí tvorbu kyseliny octové, protože zde žijí bakterie tvořící kyselinu octovou v symbióze s bakteriemi metanotvornými, starají se o nízký obsah vodíku, který váží ihned ve formě methanu. Octotvorné mikroorganismy přitom dodávají poloprodukty pro tvorbu methanu. Jsou zde zastoupeny i minoritní skupiny organismů produkující vedle kyseliny octové a vodíku také sulfan a dusík (Ust'ak *et* Váňa, 2004).

Syntrophomonas wolfei štěpí delší alifatické kyseliny se sudým počtem uhlíku na kyselinu octovou a vodík, lichouhlíkové řetězce jsou štěpeny na kyselinu propionovou, kyselinu octovou a vodík. Syntrofní mikroorganismy pracují v nejtěsnějších společenstvech s metanogeny. *Syntrophus buswelli* se nachází ve společenstvech jak s metanogeny, tak i se sulfát-reduktanty. Tento mikroorganismus je schopen konvertovat i kyselinu benzoovou na kyselinu octovou (Ust'ak *et* Váňa, 2004).

3.4.1.4 Methanogeneze (tvorba methanu)

Je to poslední fáze procesu, kde metanogenní organismy rozkládají jednoduhlíkaté látky (metanol), kyselinu mravenčí, metylamin a kyselinu octovou na finální produkt methan a oxid uhličitý (Appels *et* Harold, 2008); (Seadi, 2008).

Metanogenní organismy náleží k druhu archaických bakterií a jsou jedním z nejstarších původů života na světě. Jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají specifické požadavky na prostředí, jsou striktně anaerobní – při přítomnosti kyslíku rychle odumírají. Vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. Málo z nich je schopno zpracovat kyselinu octovou a jen jeden druh z nich dokáže změnit methanol přímo na methan (Ust'ak *et* Váňa, 2004).

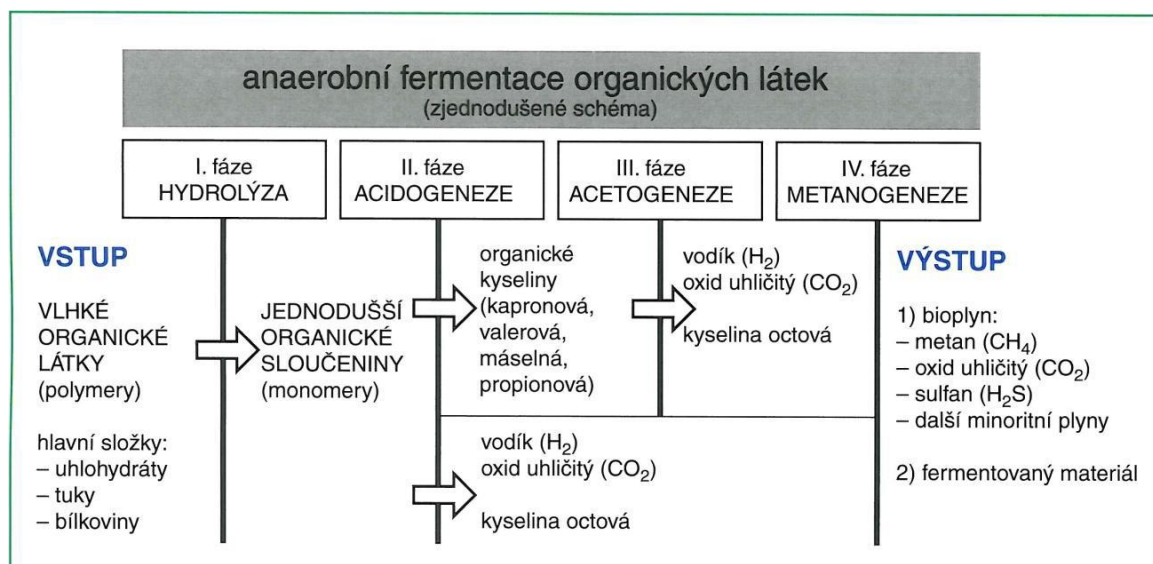


Schéma výroby bioplynu (Pastorek, et al., 2004); (Kára et al., 2007)

3.4.2 Produkty anaerobní digestce

3.4.2.1 Bioplyn

Princip vzniku bioplynu, dříve nazývaný „kalový plyn“, je ve všech případech (zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn, reaktorový plyn) stejný. Jeho fyzikální a chemické vlastnosti závisejí na materiálových a procesních parametrech. V ideálním případě by bioplyn obsahoval pouze dva plyny, a to methan a oxid uhličitý (Pastorek *et al.*, 2004).

Nejčastěji se spaluje v kotlích a vyprodukované teplo se používá na vytápění budov a ohřev vody. Další možností je kombinovaná výroba tepla a elektrické energie v kogenerační jednotce. Bioplyn lze také využívat k pohonu dopravních prostředků (Pastorek *et Wolff*, 1992).

Vysoký obsah oxidu uhličitého znamená, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. Přítomnost volného kyslíku, s výjimkou počáteční fáze procesu, může být zapříčiněna zavzdušňováním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z bezpečnostního hlediska tvorby výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem (Monnet, 2003).

Velmi významnou minoritní složkou bioplynu je v některých případech sulfan, vycházející zpravidla z biochemických procesů při rozkladu siřných proteinů. Obsah sulfanu v bioplynu je velmi proměnlivý. Při zpracování exkrementů z chovu skotu je jeho obsah zanedbatelný, u exkrementů prasat a drůbeže je naopak velmi vysoký, což působí potíže při následném konečném využití bioplynu (Pastorek *et al.*, 2004).

Využitím řízené částečné oxidace přidavkem přibližně 2 % vzduchu do bioplynu vystupujícího z reaktoru lze obsah sulfanu značně snížit (Sladký, 2009).

Bioplyn se před uložením do zásobníku ještě čistí a odsiřuje. Výtěžnost se liší podle povahy použitého biosubstrátu. Zatímco z 1 tuny kejdy o obvyklém podílu sušiny 5-7 % lze reálně získat přibližně 25 - 30 kWh energie v podobě bioplynu, z 1 tuny kukuřičné sušiny je to již 190 kWh, tedy sedmkrát více. V případě oleje či tuku, které jsou biologického původu, je možné získat až 961 kWh, což je pětaticetkrát více energie na jednotku vstupu, než tomu v případě kejdy. Trendem současnosti je přednostně zpracovávat látky s vyšší měrnou energetickou výtěžností a původní suroviny (Quashning, 2010).

3.4.2.1.1 Biochemický proces tvorby bioplynu

Biochemické procesy jsou v posledních třiceti letech předmětem velmi intenzivního výzkumu (Malaták *et* Vaculík, 2008). Na výrobě bioplynu se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů, produkty jedné skupiny se stávají substrátem skupiny druhé a proto výpadek jedné skupiny má za následek narušení celého systému. Kyslík je pro tyto organismy toxický (Schweigkofler *et al.*, 2001).

3.4.2.1.2 Chemické složení bioplynu

V bioplynu se však nacházejí i další plyny než pouze methan a oxid uhličitý. Tyto plyny jsou majoritní, ale součástí jsou také složky minoritní a ty jsou zastoupeny v úrovních desetin procent. (Straka *et* Ciahotný, 2010). V bioplynech bylo identifikováno více než 140 látek, které dosahují celkové koncentrace až 2 000 mg/m³ (0,15 % obj.) (Schweigkofler *et al.*, 2001).

3.4.2.1.3 Majoritní složky bioplynu

Majoritní složky u bioplynů jsou v nejužším hodnocení pouze dvě, methan a oxid uhličitý. Jejich běžný poměr je CH₄ (45 - 75 %) : CO₂ (25 - 48 %). Obsahy dalších plynů jsou o více než jeden řád nižší, tedy v úrovních desetin procenta (u kvalitního bioplynu). Vlivem biologických pochodů může se vyskytovat i malé množství elementárního dusíku, oxidu dusného a někdy i vyšší obsahy sulfanu (Straka *et al.*, 2006).

Poměrné zastoupení obou hlavních složek bioplynu je značně proměnlivé podle reagujícího substrátu. V produkci methanu proteiny a lipidy poskytují vyšší výtěžky a vyšší koncentrace oproti polysacharidům. Přesné určení produkce methanu a oxidu uhličitého je nereálné, neboť jeho produkci ovlivňuje řada jiných aspektů. Je to především skladba a stav přizpůsobení bakteriálních kultur, teplota, pH, typ reaktoru, zatížení reaktoru a podobné vlivy.

Na těchto parametrech závisí nejen poměrné zastoupení methanu a oxidu uhličitého v bioplynu, ale i celkový měrný výtěžek methanu vztažený na hmotnostní jednotku zpracovaného substrátu. Obsah methanu v reaktorovém bioplynu je ve stabilizovaném provozu biometanizace stabilní a jeho kolísání o více než 2 % již signalizuje měnící se fermentační podmínky. Obsahy methanu pod 55 % by měly zadávat příčinu k odhalení technologického problému (Straka *et al.*, 2006).

3.4.2.1.4 Minoritní složky bioplynu

Chemické složení minoritních látek je oproti majoritní velmi pestrá. Chemické sloučeniny byly v bioplynech identifikovány a stanoveny v řádech stovek mg/m³. Minoritní složky vyskytující se v bioplynech lze rozdělit na látky přirozené, pocházející z rozkladů přírodních materiálů a na složky pocházející z materiálů uměle vyrobených. Většina minoritních látek jsou přirozeně pocházející. Je jim upřena pozornost z důvodu vlivu na technické zařízení. Minoritní látky mohou být zdrojem korozních problémů, nebo jsou nositeli toxických vlastností. Mezi hlavní minoritní látky patří organohalogenové sloučeniny a zcela nezanedbatelné jsou i organokřemičitanové látky (Straka *et al.*, 2006).

Síra je v bioplynu většinou pouze za minoritní látku. Sulfan je jedinou složkou síry, která dokáže narůst do významnějších obsahů. V bioplynu byly stanoveny i další formy organicky vázané síry, tyto složky jsou vždy nalézány v minoritních obsazích (Straka *et al.*, 2009).

3.4.2.2 Fermentační zbytek - digestát

Je charakterizován, jako tuhý zbytek po procesu anaerobní fermentace obsahem biologicky rozložitelných látek (Dostál *et Richter* 2008).

Po mechanickém procesu je digestát uhnílá tuhá složka – separát a tekutá složka fugát (Váňa, 2010). Fermentační zbytek ze stabilizačních fermentorů na kalových hospodářstvích čistíren odpadních vod je nazýván čistírenský kal a jeho aplikace na půdu je dána zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhláškou č. 382/2001 Sb. (Dostál *et Richter* 2008).

Na základě předpisů legislativy hnojiv mohou být dále použity jako rekultivační digestát na nezemědělské půdě podle vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Digestáty mohou být též následně kompostovány nebo upravovány na pěstební substráty. Fugát po odvodnění digestátu může být částečně recyklován v provozu bioplynové stanice nebo vypouštěn na čistírny odpadních vod, nikoliv do vodních toků (Dostál *et Richter* 2008).

Mezi hlavní výhody využívání digestátu v porovnání s ostatními statkovými hnojivy autoři uvádí (Dostál *et* Richter 2008; Váňa, 2009):

- výrazné snížení zápachu,
- korozní působení,
- zlepšení tekutosti anebo možnost účinného odvodnění,
- zmenšení zatížení ovzduší skleníkovými plyny,
- nižší obsah nakažových bakterií až o 90 %,
- snížení zaplevelení plodin a orné půdy.

Alternativní možností využití digestátu je zhodnocení jeho zbytkového energetického potenciálu. Tento způsob využití je vhodný zejména v případě, kdy provozovatel bioplynové stanice nemá možnost uplatnit digestát jako hnojivo, ať už z důvodu absence rostlinné výroby v blízkém okolí či z důvodu, že digestát nespĺňuje legislativní požadavky na hnojivo či rekultivační materiál. Pro výrobu alternativních biopaliv na bázi separátu je třeba digestát nejdříve odvodnit. K odvodnění digestátu se setkáváme se šnekovými a válcovými separátory, odstředivkami a zřídka i sítopásovými lisy (Dvořáček, 2008).

Každý z uvedených způsobů odvodňování kalů má odlišnou účinnost a měrnou spotřebu energie. Výhodnost jednotlivých řešení ovlivňují vlastnosti zpracovávaných digestátů a jejich množství. Proto nelze jasně určit nejvhodnější způsob odvodnění digestátu a je třeba hledat optimální řešení pro každou bioplynovou stanici individuálně (Hutla, 2006).

3.4.2.3 Separace

Separátory jsou zařízení, které umožňují oddělit směsi látek pevných, kapalných nebo plyných (Žídková, 2007).

K separaci se využívají různé metody např. rozměry (síťové), aerodynamických vlastností (pneumatické separátory – aspirátory) povrchových vlastností atd. Z technických parametrů separátoru má největší vliv na účinnost procesu (výslednou sušinu tuhé fáze) geometrie bubny. Z nastavitelných parametrů jsou to otáčky a zrychlení rotoru, moment hybnosti a otáčky šnekového dopravníku (Žídková, 2007).

Z technologických parametrů procesu má na celkový obsah sušiny tuhé fáze nejvyšší efekt nastavený výkon tj. objemové množství přiváděného kalu za jednotku času ($\text{m}^3/\text{hod.}$), (Žídková, 2007).

3.4.2.3.1 Šnekové separátory

Šnekový separátor je charakterizován jako kompletní zařízení pro separaci, odvodnění a lisování. Jedná se o zařízení poháněné elektromotorem. Uplatnění nachází zejména v potravinářském, papírenském průmyslu, zemědělství a k zužitkování biologických a jiných odpadů, při výrobě zateplovacích materiálů aj. Může být součástí technologických linek (Lorenz *et Seidel-Morgenstern*, 2014).

Pracovní část tvoří cylindrické (válcové) šterbinové síto uvnitř s ocelovou šnekovnicí, která vytlačuje tuhou vylisovanou suspenzi. Částice menší než šterbina síta spolu s vodou vytékají spodní částí (Lorenz *et Seidel-Morgenstern*, 2014).

3.4.2.3.2 Válcové separátory

Válcový separátor je zařízení určené k odlučování pevných částic ze suspenzí. Uplatnění nachází v různých výrobních procesech, zejména v potravinářském průmyslu, při čištění průmyslových a komunálních odpadních vod. Může být součástí technologických linek (Mihlbachler *et al.*, 2004).

V separátoru pracuje otočné cylindrické (válcové) šterbinové síto s individuálně volenou šterbinou (od 0,1 do 10 mm). Suspenze natéká pomocí čerpadla nebo gravitačně přes plnicí komoru z vnější části na šterbinové síto. Válcové síto je uloženo v ložiscích a poháněno elektromotorem. Částice suspenze větší jak šterbina síta jsou po ploše síta stírány pomocí stěrky a odváděny do sběrné nádoby (Mihlbachler *et al.*, 2004).

3.4.2.3.3 Odstředování

Odstředování (*centrifugace*) je velmi účinná separační metoda, která využívá intenzivního účinku odstředivé síly na obvodu odstředivky (*centrifugy*). Odstředivka rotuje a materiál se odděluje na základě rozdílné hustoty do vrstev. Látky s vyšší hustotou (tuhé) se usazují na dně kyvety, kapalina s nižší hustotou tvoří horní vrstvu. Pokud tvoří stěnu odstředivky separační membrána, může kapalina procházet póry membrány, zatímco tuhá fáze se zachytí na membráně (Lopes *et Keshavarz-Moore*, 2012).

Při odstředování existuje reálné nebezpečí poškození zařízení nebo výbuchu. Proto se musí striktně dodržovat pravidla plnění, která spočívají v rovnoměrném rozmístění materiálu a vyvážení směrem k ose otáčení. Při spouštění odstředivky se rychlost otáčení zvyšuje postupně a plynule (Lopes *et Keshavarz-Moore*, 2012).

Z bezpečnostních důvodů se odstředivka nesmí otevírat, dokud je v chodu (Lopes *et Keshavarz-Moore*, 2012).

3.4.2.3.4 Sítopásový lis

Sítopásový lis s vestavěným zahušťovačem umožňuje otočením zpracovávaného kalu o 180 stupňů, vyšší procento odvodnění v gravitační zóně stroje. V další fázi procesu odvodnění dochází k postupnému odvodňování vysráženého kalu v klínové zóně až k závěrečnému odvodňování přes odvodňovací a následně vysokotlaké válce. Při technologickém procesu odvodnění se z vysráženého kalu oddělí tuhá složka, tzv. kalový koláč, který se likviduje odvozem na skládku nebo kompostováním, případně se ještě dodatečně hygienizuje suchým práškovým vápnem a tekutá složka tzv. filtrát, která odtéká k dalšímu zpracování (Mihlbachler *et al.*, 2004).

3.4.2.4 Vlastnosti digestátu

Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivy má digestát vzhledem k použitým surovinám poměrně vysoký celkový obsah dusíku (0,2 % ale i 1 % ve hmotě), vyšší pH (7 – 8), nižší obsah uhlíku a sušina se pohybuje v rozmezí od 2 % – 13 %. Při průměrném obsahu 0,5 % celkového dusíku v hnojivu se dodá při dávce 1 t (1m³) digestátu 5 kg dusíku na ha. Složení digestátu představuje riziko ztrát dusíku v plynné formě. Digestát je hnojivo, které obsahuje hodnotné organické látky a minerální živiny a projevuje pouze malé znaky zápachu, popř. v ideálním případě nezapáchá vůbec. Toho je dosaženo díky vhodné skladbě vstupních surovin, jejich předúpravě a zejména dostatečné době zdržení vstupních surovin ve fermentoru při mezofilních (cca 40 °C) nebo termofilních teplotách (cca 55 °C), (Marada *et al.*, 2008).

3.4.2.5 Odseparovaný digestát - separát

Po odseparování digestátu vznikne separát. Separovaný digestát je možné využít pro přípravu kompostů, ale i pěstebních substrátů a zemin. Separát obsahuje tuhou nerozloženou frakci organických látek vláknité povahy (Dubský *et Kaplan*, 2012), které následně v půdě podléhají intenzivní mineralizaci. Separát obsahuje v průměr přibližně 29,3 % obsahu sušiny (Pawlica, 2010).

Svojí strukturou ovšem ovlivňuje fyzikální vlastnosti substrátu a je významným zdrojem živin. Hodnota pH surového separovaného digestátu se pohybuje v rozmezí 8,8 – 9,2. Po vysušení byly tyto hodnoty v rozmezí od 8,3 do 9,5 (Dubský *et Kaplan*, 2012).

Separovaný digestát s původní vlhkostí má vysoký obsah amonného dusíku. Pokud se ale separát vysuší, obsah amonného dusíku výrazně klesne a podíl přídatku do substrátu tak

může být až 50 % objemu. U rostlin náročných na živiny až 60 % celkového objemu (Dubský *et Kaplan*, 2012).

3.4.2.5.1 Fyzikální vlastnosti separátu

Základní fyzikální vlastností substrátů je objemová hmotnost (OH), používá se pro stanovení objemu rašelin nebo substrátu při obchodování (EN 12580), pro stanovení navážky substrátu a pro vyjádření obsahu přijatelných živin v mg na litr substrátu při chemických rozbořech (EN 13040). Mezi základní fyzikální vlastnosti lze zařadit i obsah organických (spalitelných) látek a obsah popele (EN 13039) (Tlustoš *et al.*, 2013).

3.4.2.5.2 Chemické vlastnosti separátu

Základními chemickými vlastnostmi separátu, jež ovlivňují růst rostlin, patří hodnota pH, hodnota elektrické vodivosti (EC) a hodnota vodního výluhu, která udává obsah rozpustných solí a obsah přijatelných živin. Především dusík ve formě amonné i nitrátové, fosfor, draslík, hořčík a vápník, ale také stopové prvky jakými jsou železo, mangan, zinek, měď, bor, molybden (Tlustoš *et al.*, 2013).

Richter *et al.*, (2010) uvádí, že hodnota pH se pohybovala v rozmezí 8,0 až 9,1 a hodnota elektrické vodivosti dosahovala hodnot od 0,79 do 1,03 mS/cm.

Dále byly stanoveny hodnoty makro a mikroživin. Obsah dusíku v amonné formě (N-NH₄⁺) se pohyboval v rozmezí od 512 do 823 mg/L. Oproti tomu dusík ve formě nitrátové (N-NO₃⁻) dosahoval hodnot od 13 do 37 mg/L (Richter *et al.*, 2010)

Podle studie McEniry *et al.*, (2011), kteří stanovovali obsahy makroživin v separátech, došli k závěru, že obsahy byly následující: P 18 – 125 mg/L, K 956 – 2 977 mg/L, Mg 112 – 138 mg/L a S 12 – 25 mg/L.

Lansche *et al.*, (2012) stanovovali obsahy mikroživin v separátech, z jejich výsledků vyplývá, že obsahy byly následující: Fe 3,4 – 22 mg/L, Mn 2,5 – 10,7 mg/L, B 0,5 – 1,1 mg/L a Zn 4,4 – 7,9 mg/L.

Bonetta *et al.*, (2011) stanovili obsahy rizikových prvků, které byly následující: Pb 0,1 – 0,2 mg/L, Cd 0,1 – 0,2 mg/L.

3.4.2.5.3 Přijatelný obsah živin v separátu

Podle studie McEniry *et al.*, (2011), kteří stanovovali obsahy makroživin v separátech, došli k závěru, že obsahy byly následující: P 3 728 – 5 623 mg/kg, K 7 321 – 9 734 mg/kg, Mg 3 251 – 5 821 mg/kg a S 2 881 – 4 453 mg/kg. Lansche *et Müller* (2012) stanovovali obsahy mikroživin v separátech, z jejich výsledků vyplývá, že obsahy byly následující: Fe 1

471 – 2 242 mg/kg, Mn 74 – 168 mg/kg, B 26 – 39 mg/kg a Zn 81 – 142 mg/kg. Bonetta *et al.*, (2011) stanovili obsahy rizikových prvků, které byly následující: Pb 0,2 – 0,7 mg/kg, Cd 0,1 – 0,2 mg/kg.

3.4.2.6 Fugát

Fugát vzniká mechanickou úpravou procesem separace. Fugát může být použit jako kapalné hnojivo, ale také jako přísada pěstebních substrátů. Fugát se vzhledem ke své konzistenci ukládá ve skladovacích jímkách a vyváží na pole obdobně jako hnůj (Pawlica, 2010).

Fugát je charakteristický svým obsahem sušiny pohybující se v rozmezí 2 % – 4 % a lze ho aplikovat jako kapalné hnojivo (Pawlica, 2010). Fugát obsahuje dusík v minerální formě, tudíž je rostlinám přístupný. V sušině fugátu může být až 10 % dusíku. Obsah dusíku v kapalném fugátu je však jen 0,15 % – 0,30 %. Abychom tedy pohnojili půdu dávkou 200 kg N/ha, museli bychom na 1 ha aplikovat 100 m³ fugátu (Kolář *et al.*, 2010).

Fugát může být použit zpětně v procesu bioplynové stanice např. k ředění. Fugát obsahuje specifické množství živin, tudíž při úplném převedení zpět do oběhu zařízení může dojít ke zvýšení koncentrace různých látek. Při opakovaném používání zbytkové vody je nutné dávat pozor, aby se v procesu nezkonzentrovaly soli nebo např. amonná forma dusíku, což by mohlo ohrozit fermentační proces (Kratochvílová *et al.*, 2009).

Fugát z procesu mechanické separace je možné také fyzikálně – chemickými nebo biologickými procesy upravovat od zvýšeného obsahu dusíku, CHSK apod., jedná se např. o technologii reverzní osmózy, podtlakového odpařování apod. (Dvořáček *et al.*, 2009).

3.4.2.6.1 Fyzikální vlastnosti fugátu

Základní fyzikální vlastností substrátů je objemová hmotnost (OH), používá se pro stanovení objemu rašelin nebo substrátu při obchodování (EN 12580) a pro stanovení navážky substrátu 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. (EN 13039) (Tlustoš *et al.*, 2013).

3.4.2.6.2 Chemické vlastnosti fugátu

Základními chemickými vlastnostmi fugátu, jež ovlivňují růst rostlin, patří hodnota pH, hodnota elektrické vodivosti (EC) a hodnota vodního výluhu, která udává obsah rozpustných solí a obsah přijatelných živin. Především dusík ve formě amonné i nitrátové, fosfor, draslík,

hořčík a vápník, ale také stopové prvky jakými jsou železo, mangan, zinek, měď, bor, molybden (Tlustoš *et al.*, 2013).

Uggetti *et al.*, (2014) uvádí, že hodnota pH se pohybovala v rozmezí 7,7 až 8,0 a hodnota elektrické vodivosti dosahovala hodnot od 3,13 do 3,14 mS/cm.

Dále byly stanoveny hodnoty přijatelných makroživin a mikroživin. Obsah dusíku v amonné formě (N-NH_4^+) nabýval hodnot od 1 185 do 1 379 mg/L. Oproti tomu dusík ve formě nitrátové (N-NO_3^-) dosahoval hodnot od 23 do 25 mg/L (Möller *et Müller*, 2012).

Podle studie Gong *et al.*, (2010), kteří stanovovali obsahy makroživin ve fugátech, došli k závěru, že obsahy byly následující: P 21 – 42 mg/L, K 2 352 – 2 655 mg/L, Mg 189 – 242 mg/L a S 48 – 82 mg/L.

Andruschkewitsch *et al.*, (2013) stanovovali obsahy mikroživin ve fugátech. Z jejich výsledků vyplývá, že obsahy byly následující: Fe 7,5 – 22,6 mg/L, Mn 3,4 – 4,3 mg/L B 0,7 – 1,2 mg/L a Zn 1,5 – 1,8 mg/L.

Bonetta *et al.*, (2011) stanovili obsahy rizikových prvků, které byly následující: As 0,2 – 0,3 mg/L, Pb 0,1 – 0,2 mg/L.

3.4.2.6.3 Přijatelný obsah živin ve fugátu

Podle studie Gong *et al.*, (2010), kteří stanovovali obsahy makroživin ve fugátech, došli k závěru, že obsahy byly následující: P 11 280 – 12 370 mg/kg, K 41 382 – 45 829 mg/kg, Mg 6 566 – 8 237 mg/kg a S 5 929 – 8 336 mg/kg.

Andruschkewitsch *et al.*, (2013) stanovovali obsahy mikroživin ve fugátech, z jejich výsledků vyplývá, že obsahy byly následující: Fe 2311 – 2924 mg/kg, Mn 192 – 283 mg/kg, B 38 – 46 mg/kg a Zn 234 – 377 mg/kg.

Bonetta *et al.*, (2011) stanovili obsahy rizikových prvků, které byly následující: Pb 0,9 – 1,5 mg/kg, Cd 0,1 – 0,2 mg/kg .

3.4.2.6.4 Obsah dusíku ve fugátu

Mineralizací organické hmoty se uvolňuje dusík ve formě NH_4^+ , NO_3^- . Nejběžnější, ale také nejrizikovější forma dusíku v anaerobních systémech je NH_4^+ (Monnet, 2003). Většina dusíkatých látek je v průběhu anaerobních procesů přeměněna na zmíněný NH_4^+ , který je produktem rozkladu bílkovin a dalších organických látek obsahujících dusík, vzniká také redukcí $(\text{NO}_2)^-$ a $(\text{NO}_3)^-$. Jako pro řadu podobných látek i zde platí, že v nízkých koncentracích je dusík nezbytný pro optimální funkci mikroorganismů, ve vyšších koncentracích však inhibuje jejich činnost (Henze *et Harremoes*, 1983).

Při procesu tedy dochází k přeměně organického dusíku na $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, který se částečně rozkládá na NH_3 , H_2O + CO_2 a částečně přechází do kalové vody (Möller *et Müller*, 2012). Roschke (2003) publikoval, že při 54 % degradaci organických látek sušiny, může až 70 % celkového dusíku přejít do formy NH_4^+ (Henze *et Harremoes*, 1983).

Stejně důležitou roli jako koncentrace N-NH_4^+ hraje i hodnota pH ovlivňující rovnováhu $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, protože mnohem toxičtější je volný nedisociovaný NH_3 . Se vzrůstajícím pH tedy stoupá toxicita N-NH_4^+ . Je-li hodnota pH v reaktoru nízká, může být tolerována koncentrace 5 - 8 g/l N-NH_4^+ (Henze *et Harremoes*, 1983). Hodnota pH nefermentované kejdy se pohybuje v neutrální, popř. ve slabě alkalické oblasti 7,3 až 7,4. Po fermentaci je zaznamenáváno zvýšení hodnoty pH ve fermentačním zbytku na 8 nebo 8,5 což má vliv na uvolňování NH_3 z fermentovaného substrátu. Se stoupající hodnotou pH jsou NH_4^+ přeměňovány v NH_3^- . Podíl NH_3^- v kejdě tímto narůstá, oproti čemuž podíl N-NH_4^+ proporcionálně ubývá. Při hodnotě pH 8,0 činí podíl N-NH_4^+ asi 98 %. Celkové obsahy minerálního dusíku nejsou fermentačním procesem snižovány (Kratochvílová *et al.*, 2009).

3.4.2.6.5 Skladování fugátu

Podle vyhlášky č. 274/1998 Sb. se digestát, případně fugát musí skladovat v nepropustných nadzemních, popřípadě částečně zapuštěných nádržích nebo v zemních jámkách. Při provozu jímek a nádrží se musí zamezit přítoku povrchových nebo srážkových vod do jámky nebo nádrže, pokud není v kolaudačním rozhodnutí uvedeno jinak. Digestát se musí skladovat ve stavbách zabezpečených stejným způsobem jako stavby pro skladování tuhých statkových hnojiv s vyloučením přítoku povrchových nebo srážkových vod, jejichž součástí je sběrná jámka tekutého podílu. Digestát připravený pro vlastní účely ze statkových hnojiv, může být před jeho použitím uložen na zemědělské půdě nejdéle po dobu 24 měsíců. Kapacita skladovacích prostor pro digestát musí odpovídat skutečné produkci digestátu (Marada *et al.*, 2008).

3.4.2.6.6 Agronomické využití fugátu

Způsob použití fugátu se může měnit v závislosti na specifických podmínkách a jeho kvalitě. Fugát je možné aplikovat jako organické hnojivo na zemědělskou půdu. Dalším možným způsobem použití fugátu je aplikace jako rekultivační materiál mimo zemědělskou a lesní půdu (Schievano *et al.*, 2009).

Ke hnojení je možné používat pouze fugáty produkované při dosažení správného technologického postupu a optimálního procesu fermentace. Hlavním problémem jsou substráty s vysokými obsahy organicky vázaného dusíku, a proto je nutné věnovat velkou

pozornost vstupním surovinám a především celkovému poměru C:N. Vsádka do fermentorů v optimální hodnotě živin a pH, čehož je možné docílit například kofermentací kejdy s rostlinnými materiály (Schievano *et al.*, 2009).

Fugát je hnojivo, které obsahuje organické látky a minerální živiny a projevuje pouze malé znaky zápachu, popř. v ideálním případě nezapáchá vůbec (Schievano *et al.*, 2009).

S rozvojem závlahových a postřikových systémů dochází k aplikaci rozpustných hnojiv v podobě roztoků, kterými se rostliny postřikují během vegetace. Roztoky se dostávají z povrchu listů průduchy přímo do asimilačních orgánů rostliny (Dostál *et Dykyjová*, 1962).

Je možno dodávat rostlinám živiny rozděleně během celé vegetace a upravit výživu jednotlivými živinami právě v tom vývojovém období, kdy je rostlina nejvíce potřebuje. Dusíkatá výživa je důležitá pro vývoj asimilačních orgánů, kdežto fosfor a vápník potřebují rostliny více v období dozrávání plodů a semen. Při dlouhodobém hromadění hnojiva v půdě se značná část živin ztrácí vyplavením do spodních vrstev nebo tím, že se váže do nerozpustných sloučenin. To má význam zejména u některých stopových prvků, které rostlina nemůže z půdy absorbovat, kdežto přímým postřikem na list se dostanou přímo z roztoků do asimilačního okruhu v buňce (Dostál *et Dykyjová*, 1962).

3.4.2.6.6.1 Kapková závlaha

Kapková závlaha je charakterizována jako specifické hnojení zemědělských a zahradnických kultur, které je založeno na úsporném dávkování živin, které je cíleně vybráno pro každý specifický rostlinný druh. Systém umožňuje zásobovat pouze kořeny rostliny či oblast kolem nich. Díky této metodě se zabrání zbytečným ztrátám a je prokázáno, že dojde k úspoře až dvou třetin zálivky. Je možné individuální nastavení závlahy pro různé typy pěstovaných plodin (Lodyha, 2008).

Princip spočívá v pomalém přivádění živin k rostlinám, resp. k jejich kořenovému systému ve velmi malých dávkách – po kapkách. Kapkovou závlahu lze využívat při pěstování téměř všech rostlin (polní plodiny, speciální kultury na venkovních i v krytých plochách, v okrasném zahradnictví atd.) (Lodyha, 2008).

U kapkové závlahy se aplikují živiny pouze na určitou část půdy, zatímco okolní půda zůstává bez aplikačních dávek. S uvedeným jevem je třeba počítat při instalaci závlahy a zajistit optimální umístění kapkovačů. Rozvodné systémy jsou tvořeny potrubím a dalšími prvky vyrobenými nejčastěji z plastických hmot (Lodyha, 2008).

3.4.2.7 Mechanizmy filtrace

3.4.2.7.1 Dekantace

Jedním z postupu oddělení tuhé a kapalné látky je slévání (*dekantace*), která využívá přirozené tendence pevných částic k usazování (*sedimentaci*) vlivem gravitace. Nejlépe se realizuje ve vysoké kádince nebo odměrném válci, který se postaví na podložku šikmo, aby se kapalina snáze slévala. Po usazení pevných částic se kapalina opatrně odlije. Existují také speciální dekantační nádoby, které mají v různých výškách otvory pro odpouštění filtrátu (Augis *et al.*, 2005).

Tato metoda je časově náročná. Její účinnost se dá zvýšit opakováním postupu. Je vhodná tam, kde se odděluje objemný, rychle se usazující sediment málo rozpustné sraženiny. Pro dokonalé oddělení fází je ale nutné použít filtrace (Augis *et al.*, 2005).

3.4.2.7.2 Kolírování (cezení)

Další metodou filtrace je kolírování. Jedná se o filtrace přes textilní přepážku (tzv. *kolatorium*), např. plátno nebo gázu složenou do několika vrstev. Tkanina se upevní do speciálního rámu, kterému se říká *tenakulum*. Filtrovaná směs se nechá volně protékat do vhodné nádoby a tkanina se na závěr lehce vymačká, aby se získal zbytek tekutiny (Larour *et al.*, 2013).

Kolírování se využívá především ve farmacii, a to k filtrace viskózních kapalin, např. sirupů nebo rostlinných extraktů (Larour *et al.*, 2013).

3.4.2.7.3 Čeření

Řada roztoků je znečištěna velmi jemnými nečistotami, které vytvářejí zákal znehodnocující produkt. Takové malé částice se velmi těžko odstraňují běžnými postupy. Často se jedná o koloidní částice bílkovin nebo slizů obsažené ve vyluzích z rostlinného materiálu (Traykovski, 2007).

Účinnou separační metodou v takovém případě je čeření. Využívá adsorpce koloidních částic na částice jiných látek s velkým povrchem. Čeřící materiál se odstraní dekantací nebo filtrace spolu s adsorbovanými nečistotami (Traykovski, 2007).

Lze použít drť filtračního papíru, se kterou se roztok smísí a důkladně promíchá. Podle potřeby je možné směs mírně zahřát. Podobně lze použít také částice aktivního uhlí. Znamé je také čeření pomocí našlehaného vaječného bílku, který se vmíchá do roztoku a za stálého míchání zahřeje k varu. Sraženina bílku s adsorbovanými nečistotami se potom odstraní. Velmi často se k čeření používá také mastek. Je to prášková látka s jemnými

částicemi, které je nutné nejdříve smáčet, aby se dostaly do kontaktu s čerenu kapalinou. K tomu se použije třenka, v níž se mastek rozetře s malým množstvím kapaliny a teprve potom se přimísí k celému podílu čištěné směsi (mísení práškové látky a kapalin) (Traykovski, 2007).

3.4.2.7.4 Prostá filtrace

Prostá filtrace využívá separace pevné látky od kapaliny za atmosférického tlaku. Podle povahy částic se volí vhodný typ filtru. V některých jednoduchých případech lze k prosté filtraci použít vatou. Filtrace přes vatou je vhodná u těkavých látek, které by se na velké ploše filtru odpařovaly. Většinou se ale využívá filtrační papír, který se vloží do filtrační nálevky s dlouhým stonkem. Používá se hladká nebo žebrovaná nálevka, která se umístí do filtračního kruhu tak, aby se stoněk dotýkal stěny nádoby na zachycení filtrátu. Velikost filtru se přizpůsobí velikosti nálevky (Wagner *et al.*, 2002).

Je možné použít hladký filtr nebo se pro zvýšení povrchu filtr skládá do vějíře (tzv. *francouzský filtr*). Hladký filtr se připraví ze čtverce filtračního papíru, který se přeloží na polovinu a dále na čtvrtinu. Volné rohy se zastříhnou dokulata podle velikosti nálevky tak, aby filtr dosahoval cca 0,5 cm pod okraj nálevky. Skládané filtry jsou dostupné hotové nebo se složí tak, že se čtverec papíru přeloží na polovinu a poté na čtvrtinu. Dále se skládají malé záhyby, které směřují přibližně doprostřed filtru. Skládaný filtr se vkládá jen do hladké nálevky (Wagner *et al.*, 2002).

Filtr se vloží do nálevky. V hladké nálevce se filtr před vlastní filtrací zvlhčí rozpouštědlem a opatrně přitiskne, aby dobře přilnul ke stěně nálevky. V žebrované nálevce se filtr pouze zvlhčí, aby lépe seděl. Poté se na filtr opatrně nalévá po tyčince filtrovaná směs, aby se papír nepoškodil. Pro urychlení filtrace je vhodné směs nejprve nechat usadit a nalévat nejdříve kapalinu nad sedimentem. Teprve poté se sediment rozvíří a přemístí na filtr. Pokud je cílem získat čistý filtrační koláč, je vhodné ho několikrát promýt malou dávkou čistého rozpouštědla (Wagner *et al.*, 2002).

Pro správný a rychlý průběh filtrace je nutné, aby stoněk nálevky byl stále nad hladinou filtrátu a hladina filtrované směsi byla co nejvyšší (rychlost filtrace ovlivňuje hydrostatický tlak kapaliny). Proto se kapalina do nálevky musí průběžně dolévat. Optimální je, když hladina dosahuje cca 0,5 cm pod okraj filtru (Wagner *et al.*, 2002).

Pokud není filtrát zcela čirý, vrátí se na filtr nebo je nutné filtraci opakovat s jiným filtrem, který má jemnější póry (Wagner *et al.*, 2002).

3.4.2.7.5 Membránová separace

Tato specifická metoda procesů využívá jako hnací sílu gradient tlaku a řadí se do ní mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Jednotlivé procesy se vzájemně odlišují především velikostí pórů v membráně, tudíž velikostí separovaných částic a současně i potřebným transmembránovým tlakem. Použitý pracovní tlak roste úměrně s klesajícím průměrem pórů v membráně. U technologie reverzní osmózy a nanofiltrace je důležitý proces vlivu osmotického tlaku separovaných roztoků (Strathmann, 2005).

Membránový separační systém rozdělí filtrací zpracovávanou surovinu (surová voda, odpadní voda, aktivovaný kal, atd.) do dvou samostatných proudů, známých jako permeát a retentát. Membrána, která oba proudy odděluje, je fyzikální bariéra s vysoce specifickými vlastnostmi, díky nimž pouze určité vybrané složky zpracovávané látky mohou membránou procházet (Strathmann, 2005).

3.4.2.7.6 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace je takový technologický proces, který se svým charakterem podobá nejvíce běžné filtraci. Mikrofiltraci lze charakterizovat v rámci specifických podmínek jako látku o velikosti 0,1-10 μm . Jedná se o specifickou metodu pro odstraňování částic koloidního charakteru. U mikrofiltrace je zanedbatelný osmotický tlak, a proto mohou být membrány vyrobeny z organických (např. polymerních) nebo anorganických (sklo, kovy, keramika) materiálů. Technologický proces separace je založen na síťovém efektu a částice jsou separovány na základě jejich velikosti (Strathmann, 2005).

3.4.2.7.7 Ultrafiltrace

Používá se při separování koloidně disperzního podílu od disperzního prostředí i od nízkomolekulárních látek, současně přítomných ve formě pravého roztoku filtrací polopropustnými membránami, kterými neprocházejí koloidní částice (velikost pórů 1 nm až 0,1 μm). Tok membránou je úměrný použitému tlaku podobně jako u mikrofiltrace. Obě metody jsou vhodné pro předčištění odpadní vody před hlavní čisticí technologií (Strathmann, 2005).

3.4.2.7.8 Nanofiltrace

Strathmann (2005) uvádí, že princip nanofiltrace je v zásadě stejný jako princip reverzní osmózy. Separační schopnost nanofiltrace je však obvykle výrazně nižší. I tato membránová technologie je schopna zachytit ionty (především vícemocné), avšak v menším množství, než

je tomu v případě reverzní osmózy. Hlavním mechanismem nanofiltrace již není síťový efekt, který je založen na velikosti pórů a částic, ale spíše difúze (Strathmann, 2005).

3.4.2.7.9 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza umožňuje separaci na úrovni anorganických iontů a nízkomolekulárních látek organické povahy. Je proto aplikována všude tam, kde je potřeba snížit celkový obsah rozpuštěných látek, zejména anorganických solí, nebo tam, kde je ve zdrojové vodě zastoupena některá složka v nadlimitní koncentraci (chloridy, dusičnany, sírany nebo NH_4^+). S tím je spojena potřeba použití neporézních membrán. Čím má roztok vstupující na membránu vyšší koncentraci solí, tím vyšší bude jeho osmotický tlak a tím vyššího pracovního tlaku bude potřeba dosáhnout, aby došlo k překonání osmotického tlaku vstupujícího roztoku. Rozpouštědlo působením tlaku prochází membránou a rozpuštěné složky jsou zadrženy (Strathmann, 2005).

Kajan *et al.*, (2010) zjistili další vyvíjené procesy oddělení kapalné části z digestátů.

Fugát je přečerpán do filtračního zařízení (ultrafiltrace). Zde jsou odděleny drobné částice a poté je zakoncentrován. Po ultrafiltraci obsahuje tekutina pouze živiny a to zejména dusík a draslík. V dalším procesu je vzniklá tekutina přečerpána do zařízení pro reverzní osmózu. Při tomto procesu je využito speciálních membrán (filtrů), které propouští pouze vodu. Zachycené drobné částice na membráně jsou znovu koncentrovány, čímž se získá cenné hnojivo, bohaté na dusík a draslík (Ust'ak *et Váňa*, 2006).

Pro čištění různých odpadních vod se dnes využívá široké spektrum koncentrace fyzikálně-chemických i biologických metod i jejich kombinace. Některé z těchto metod ovšem s rozvojem nových technologií a kladením velkého důrazu z hlediska environmentální náročnosti jsou zcela zanedbatelné. Pro účely čištění odpadních vod se v zahraničí rozšířily membránové separační procesy. Jsou charakterizovány rozvíjející se dimenzí všestrannosti a možnosti jejich použití (Melzoch, 2007).

3.5 Legislativa

3.5.1 Zákon o hnojivech

Zákon o hnojivech č. 156/2008 Sb. stanovuje podmínky pro uvádění do oběhu, skladování a používání hnojiv, pomocných půdních látek, pomocných rostlinných přípravků a substrátů, podmínky agrochemického zkoušení zemědělských půd, podmínky zjišťování půdních vlastností lesních pozemků a některé podmínky uvádění do oběhu, skladování a používání sedimentů, a také

působnost orgánů odborného dozoru nad dodržováním povinností a jejich oprávnění ukládat sankce.

3.5.2 Organická hnojiva, substráty, statková hnojiva

Dle vyhlášky 474/2000 Sb. rozdělujeme limity rizikových prvků v substrátech, organických a statkových hnojivech do následujících tří tabulek:

a) substráty:

mg/kg sušiny								
kadmium	olovo	rtuť	arsen	chrom	měď	molybden	nikl	zinek
2 ²⁾	100	1	20	100	100	5 ³⁾	50	300

b) organická a statková hnojiva se sušinou nad 13 %:

mg/kg sušiny								
kadmium	olovo	rtuť	arsen	chrom	měď	molybden	nikl	zinek
2	100	1	20	100	150	20	50	600

Poznámka: Maximální aplikační dávka 20 tun sušiny.ha⁻¹ v průběhu 3 let.

c) organická a statková hnojiva se sušinou nejvýše 13 %:

mg/kg sušiny								
kadmium	olovo	rtuť	arsen	chrom	měď	molybden	nikl	zinek
2	100	1	20	100	250	20	50	1200

Poznámka: Maximální aplikační dávka 10 tun sušiny.ha⁻¹ v průběhu 3 let.

3.6 Organická (statková) hnojiva

Používání organických hnojiv má nezastupitelnou roli v dodávání organických látek a živin do půdy a tím i v udržování a zvyšování půdní úrodnosti. K organickým hnojivům patří zelené hnojení, hnůj, močůvka, kejda a sláma, jakož i jiné zbytky rostlinného původu a další vedlejší produkty vzniklé chovem hospodářských zvířat, vznikající zejména v zemědělské prvovýrobě, nejsou-li dále upravovány. Jedná se o hnojiva, ve kterých hlavní složkou tvoří organické látky rostlinného nebo živočišného původu (sacharidy, celulóza, hemicelulóza, lignin, aminokyseliny, bílkoviny, auxiny aj.), které nelze v souvislosti se zvyšováním půdní úrodnosti nijak nahradit (Kasal *et al.*, 2010). Pro úpravu tekutých statkových hnojiv a jejich využívání v rostlinné výrobě mají základní důležitost správné údaje o jejich chemickém složení, zejména obsahu organických látek a živin, jakož i o proměnlivosti tohoto složení

(Stehlík, 1988). Patří sem také průmyslově vyráběné komposty, substráty, ale i digestát z bioplynových stanic, nebo kaly z čistíren odpadních vod (Kasal *et al.*, 2010).

3.6.1 Kapalná minerální hnojiva

Mezi kapalná minerální hnojiva zařazujeme například amoniakáty a jiná minerální kapalná hnojiva. Jsou to většinou vodné roztoky, olejové emulze minerálních látek, nebo tuhé látky rozpustné ve vodě. Předností kapalných minerálních hnojiv je hlavně to, že jejich výroba je levnější a manipulace s nimi je snadnější. Na druhou stranu vlivem malé hmotnosti je poměrně vysoká možnost, že částice během aplikace i po ní díky větru nedoputují na námi chtěné místo. Toto riziko se v poslední době snížilo použitím rozmetadel s vyhrnovacím mechanismem, na který se přidá pružná zástěna. Stejně jako tuhá minerální hnojiva jsou rozdělena na jednosložková a vícesložková. Jednosložkové hnojivo obsahuje pokaždé jednu ze tří základních látek, a to buď K, P, nebo N. Vícesložková kapalná hnojiva jsou závislá na požadovaném složení, tudíž mají velmi rozdílné vlastnosti. Oproti jednosložkovým mají korozivní účinky na nelegovanou ocel a potřebují při skladování a aplikaci míchací zařízení, aby se jednotlivé složky neoddělovaly (Neubauer, 1989).

3.6.2 Kapalná minerální hnojiva aplikovaná v zemědělství

Kapalné humusové preparáty jsou libovolně mísitelné se všemi známými druhy kapalných hnojiv. V polních pokusech se používal dusíkatý roztok DAM – 390 ve směsi s humusovými látkami. Modelově bylo ověřeno mísení s různými typy NP – roztoků a s NPK – suspenzemi. Možné je rovněž mísení s různými speciálními hnojivy obsahujícími stopové prvky. Vedle zvýšení agronomické účinnosti na tvorbu výnosů plodin mají humusové látky i některé technologické výhody pro výrobní chemické podniky. Konkrétně byl humusový preparát úspěšně použit ke stabilizaci NP – roztoku. Došlo například k potlačení růstu krystalů a k zvýšení mrazuvzdornosti a také ke zvětšení sedimentačního objemu (Vrba *et Huleš*, 2007).

3.6.2.1 Huminosilikát PK

Je označení pro kapalná hnojiva, získané z kyseliny fosforečné, nebo hydroxidu draselného, křemičitanu sodného a humusového koncentrátu. Různými poměry výchozích surovin lze získat různé koncentrace PK – živin. Pro použití v polních pokusech bylo připraveno hnojivo, které při specifické hmotnosti $1,75 \text{ g.cm}^{-1}$ obsahovalo cca 40 % obj. oxidu fosforečného a 53 % obj. oxidu draselného. Při dávce 10 kg oxidu fosforečného na 1 ha v tomto hnojivu bylo proti hnojení běžným superfosfátem v množství 70 kg oxidu

hořečnatého na 1 ha dosaženo zvýšení výnosu kukuřice o relativně 12 %. Tento výsledek dokumentuje vysokou účinnost aplikovaného fosforu (Vrba *et* Huleš, 2007).

3.6.2.2 N – lignin

Je připravován mísením dusíkatých hnojiv s roztoky ligninu. Vrba *et* Huleš, (2007) uvádí použití močoviny a jako zdroj ligninu sulfitový výluh z dřevní hmoty. Získalo se kapalné hnojivo s obsahem 20 % dusíku, které v polních podmínkách vykázalo vyšší účinnost aplikovaného dusíku v porovnání s klasickou močovinou. (Vrba *et* Huleš, 2007). Byl proveden experiment na účinky ligninu se sulfitovým výluhem v půdě po přidání močoviny při teplotě 20 – 30 °C po dobu 7 – 14 dnů. Účinky prokázaly, že lignin ovlivňuje emise oxidu dusného v půdě a že lignin byl účinnější při inhibici síranu amonného a hydrogenfosforečnanu amonného ve srovnání s močovinou. Účinnost ligninu byla výrazně ovlivněna typem půdy a teplotou. Použití močoviny s ligninem výrazně snižuje emise oxidu dusného a to až o 93 %. Zároveň má aplikace ligninu s močovinou potenciál zlepšit účinnost dusíkatých hnojiv v půdě (Vrba *et* Huleš, 2007).

3.6.2.3 Humusové koncentráty

Obohacené stopovými prvky jsou vývojovým typem hnojiv, v nichž jsou kovy na humusové látky vázány především chelátovými vazbami. Při nižším obsahu prvků zůstává preparát tekutý, při vyšší koncentraci se tvoří suspenze, která však po dalším rozředění přechází do téměř tekutého stavu, v němž je možné hnojivo snadno aplikovat (Vrba *et* Huleš, 2007).

Experimentálně byla připravena hnojiva například s obsahem až 6 % zinku, 3 % mědi, 2 % manganu a další. Stopový prvek bóru je na humusové látky vázán povrchově množství 1 – 2 %. Vedle jednosložkových hnojiv je možné připravovat i hnojiva, obsahující směsi stopových prvků (Vrba *et* Huleš, 2007).

3.6.3 Rizikové prvky v hnojivu

Zdrojem kontaminace životního prostředí je především atmosférická depozice. Rizikové prvky se v atmosféře vyskytují přirozeně např. ze sopečné činnosti, větrné eroze a lesních požárů a antropogenně hlavně z emisí z elektráren, tepláren, metalurgie, chemického průmyslu, dopravy a zemědělství (Tlustoš *et al.*, 2006).

Příjem prvků kořeny rostlin se děje pomocí difúze. V bezprostřední blízkosti kořenů dochází k reakci rizikových prvků s organickými kyselinami vylučovanými rostlinou a k

tvorbě chelátů a tím se urychluje příjem prvku. Transport prvku z vnějšího roztoku buněčnou stěnou je proces pasivní a ionty jsou transportovány difúzí (Tlustoš *et al.*, 2006).

Pokud by digestát obsahoval nadlimitní koncentrace rizikových prvků a látek (např. při použití směsného komunálního odpadu jako vstupní suroviny), musel by se likvidovat jako odpad podle zákona o odpadech. Další možné využití je jako alternativní tuhé palivo z usušeného tuhého podílu digestátu, kdy můžeme separát kombinovat i s dalšími druhy biomasy. Tato varianta je však energeticky i ekonomicky náročná (Žalmanová, 2010).

4 Metodika a materiál

4.1 Úvod

V rámci experimentální části této diplomové práce, byly řešeny dva cíle. Prvním cílem bylo zhodnocení analýz fyzikálních a chemických vlastností výstupních surovin bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s., nacházející se v oblasti Příbramska. Na základě verifikace prvního cíle bylo druhým cílem vyhodnocení chemických vlastností fugátu, který byl modifikován metodou laboratorní filtrace.

4.2 Bioplynová stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.

(Následující informace pocházejí z vlastního zjištění v ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.)

Bioplynová stanice zemědělského družstva v Krásné Hoře nad Vltavou je situována v areálu vlastního podniku ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. nacházející se ve Středočeském kraji, v okrese Příbram.

Jedná se o zemědělskou bioplynovou stanici uvedenou do provozu v září roku 2008 s výkonem 526 kW/hod. Bioplynová stanice zpracovává kukuřičnou siláž (70 %), travní senáž (30 %) a hovězí kejdu. Celkový objem výstupních surovin zahrnuje denně cca 20 tun. Z výstupních surovin produkuje digestát. Separovaný digestát a fugát vzniká separací digestátu separátorem.

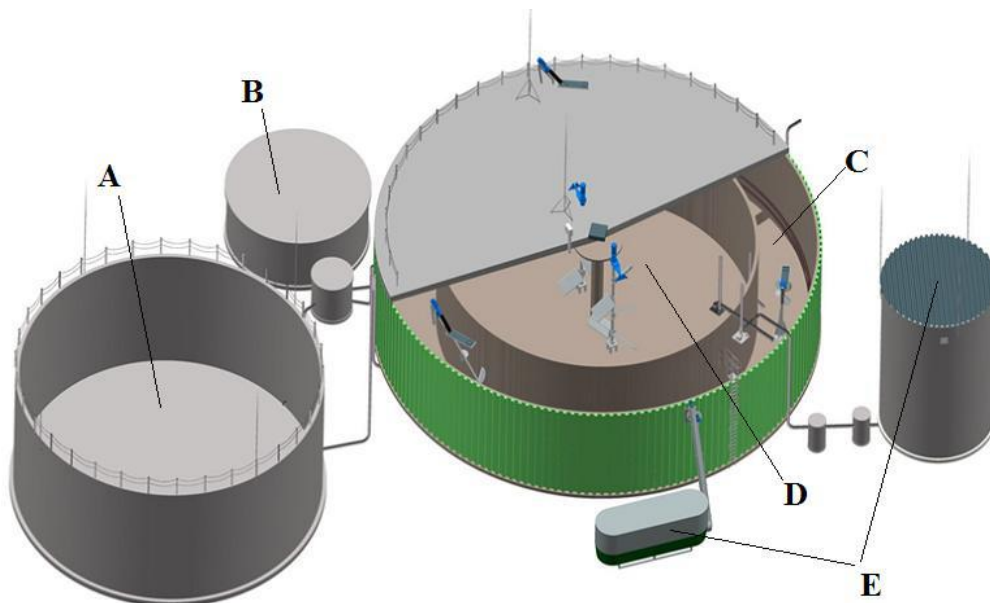
Obrázek 1 Umístění bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou



zdroj: < <http://mapy.cz/> >

Obrázek 2 Model bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou

A - odpadní jímka na digestát, B - plynojem C - hlavní fermentor, D - konečný fermentor,
E - zásobník na vstupní materiál



Obrázek 3 Bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou

A - zásobník na vstupní materiál, B - konečný fermentor, C - hlavní fermentor, D -
zásobník se separátorem, E – zásobník separátu



4.2.1 Provoz bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou

Bioplyn díky rozdílným druhům použité suroviny vykazuje rozdílné koncentrace metanu. Bioplynová stanice je určena převážně na použití energetických rostlin a kejdy. Primárním zdrojem bývají převážně energetické rostliny (kukuřičná siláž a travní senáž) a statková hnojiva (hovězí kejda). Používá se substrát s vlhkostí 8 % až 10 %.

Tabulka 1 Orientační hodnoty o množství využívaných surovin BPS Kr.H.

	množství	sušina	sušina	množství
vstupní množství surovin	t.den ⁻¹	%	t.d ⁻¹	t.rok ⁻¹
hovězí kejda	35,8	10	3,6	13 100
kukuřičná siláž	16,2	32	5,5	5 900
travní senáž	8,1	35	2,8	3 000
Celkem	60,1	/	11,6	22 000

V zemědělském podniku se pro výrobu kukuřičné siláže využívají odrůdy kukuřice s různými stupni FAO. Průměrný obsah sušiny je 35 %. Kvůli vysokému výnosu biomasy a výborné silážovatelnosti je kukuřičná siláž nejvhodnější substrát pro bioplynovou stanici. Tráva pro výrobu travní senáže se na rozdíl od kukuřice nepěstuje záměrně pro bioplynovou stanici. Maximální délka řezanky pro výrobu travní senáže je 3 - 4 cm s průměrným obsahem sušiny 35 %. Z ranějších sklizní je senáž nejideálnější pro tvorbu bioplynu. Jeho kvalita a produkce se snižuje s pozdější sklizní trav. Mezi další energetické rostliny, které se dají využívat pro výrobu bioplynu, patří obiloviny.

4.2.2 Výroba bioplynu bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou

K výrobě plynu dochází v procesu mokré fermentace s vlhkostí substrátu 8 – 10 % v mezofilním prostředí (teplota 38 – 40 °C). Energetické rostliny, které jsou používány k výrobě energie, jsou konzervovány a skladovány v silážním žlabu v blízkosti bioplynové stanice. Z chlévů je vedena kejda do příjmové jímky. Tyto primární zdroje jsou dodávány do hlavního fermentoru v pevné podobě (siláže) a tekuté podobě (kejda). Přepadovým potrubím se uskutečňuje přechod substrátu do koncového fermentoru. Zbytkový substrát (digestát) se odděluje na pevnou část (separát) a kapalnou složku (fugát). Separát se vyváží na polní hnojiště a fugát se dočasně ukládá v otevřeném koncovém skladu a stávajících jímkách, dále je rozvážen jako hnojivo na zemědělské plochy.

Zásobní nádrž se zakládá siláží jedenkrát denně a siláž se dostává do fermentoru pomocí podávacího zařízení. K plnění dochází pravidelně, a to jednou za hodinu. Velikost zásobníku je 50 m³.

Příjmová kejdomá jímka slouží k uložení kejdy v případě výpadku dodávky kejdy. Je do ní dodávána přímo ze stájí v areálu podniku, a to samospádem potrubím. Z příjmové jímky je kejda dopravována v pravidelných hodinových intervalech do fermentoru. Denně se do fermentoru dopravuje 35 – 50 m³ kejdy o sušině 10 %.

Bioplynová stanice má hlavní fermentor ve vnějším prstenci a koncový fermentor ve vnitřním prstenci. Kapacita hlavního fermentoru je 2 083 m³. Substrát ve fermentorech zůstává 70 – 80 dnů. Denní produkce metanu je 2 960 m³.hod⁻¹. Výroba substrátu a rovnoměrné rozložení teploty substrátu, který je ve fermentoru, jsou zajišťovány mícháním v pravidelných intervalech třemi šikmo uloženými lopatkovými míchadly. Substrát se ohřívá pomocí topného potrubí, které je umístěno ve vnější stěně hlavního fermentoru. Substrát se v hlavním fermentoru zdrží přibližně 34 dnů.

Volným přepadem se do koncového fermentoru dostává substrát vytlačováním z hlavního fermentoru. K promíchávání zde dochází dvěma pádlovými míchadly. Kapacita koncového fermentoru je 2 285 m³ a substrát se zde zdrží 38 dní.

V koncovém fermentoru přetéká neseparovaný digestát do dvoukomorové přečerpávací jímky, když je dosažena maximální hladina kapaliny. Digestát se zde jímá před separací. Denní produkce digestátu je přibližně 51 tun. Při horním okraji nádrže fermentoru je umístěn válcový separátor, který slouží k oddělení digestátu na pevnou část (cca 25 %) a tekutou část (cca 75 %). Separát propadá na pevnou plochu pod ním a dále je odvážen na polní hnojiště a slouží jako hnojivo nebo stelivo do stájí. Fugát se čerpá do koncových skladů a je používán stejně jako močůvka k hnojení.

Kogenerační jednotka této bioplynové stanice má elektrický výkon 526 kW a tepelný výkon 558 kW. Motor je plynový čtyřtákní zážehový s turbodmychadlem.

K bioplynové stanici patří také plynojem. Je umístěn mezi fermentorem a provozní budovou a slouží k uložení vytvořeného plynu, který je žádoucí k vyrovnání kolísání v produkci plynu a tím zabránění vypínání a zapínání kogenerační jednotky.

(Informace pocházejí z vlastního zjištění v ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.)

4.3 Zhodnocení analýz odebraných vzorků separátu a fugátu

V rámci hodnocení byly prováděny odběry vzorků výstupních surovin u separátu (viz. obrázek 10 Seznam příloh) a fugátu (viz. obrázek 11 Seznam příloh) v bioplynové stanici v roce 2013, a to ve čtyřech sledovaných obdobích první odběr (I.) byl proveden 27.6., druhý odběr (II.) 24.7., třetí odběr (III.) 28.8. a čtvrtý odběr (IV.) 24.9.

Vzorky separátu se odebíraly do plastových pytlů a vzorky fugátu do umělohmotných lahví o objemu 1 litr. Následně byly vzorky převezeny v chladicím boxu na Katedru agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. V rámci převozu byla zajištěna relativně nižší teplota, která je potřebná pro uchování dusíku. Po příjezdu na pracoviště byly vzorky ihned zpracovány. Vzorky byly zhomogenizovány a následně analyzovány.

Z chemických vlastností byly u vzorků separátu a fugátu stanoveny obsahy živin. Z fyzikálních vlastností byl zjištěn obsah sušiny, hodnota pH a obsah rozpustných solí (EC). Hodnoty pH a obsahy rozpustných solí (EC) byly stanoveny ve vodném výluhu demineralizované vody v poměru 1:5 (w/v). Obsah fosforu byl stanoven spektrofotometricky, draslík a vápník plamenovou fotometrií, hořčík a stopové živiny optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (OES-ICP).

4.3.1 Zhodnocení analýz modifikovaného fugátu

V rámci druhého cíle byly vždy odebírány ve sledovaných obdobích vzorky fugátu v bioplynové stanici ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s.

Vzorek fugátu byl odebrán do plastové nádoby o objemu 1 litr, odkud byl v chladicím boxu dovezen na pracoviště Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v Praze. Po příjezdu na katedru byly vzorky ihned zpracovány a následně analyzovány.

Odběry vzorků fugátu v bioplynové stanici probíhaly v šesti obdobích. První odběr (I.) byl proveden 7.1., druhý odběr (II.) 28.1., třetí odběr (III.) 4.2., čtvrtý odběr (IV.) 26.2., pátý odběr (V.) 5.3. a šestý odběr (VI.) byl proveden 26.3.

Vzorek byl zhomogenizován a poté bylo odebráno z plastové nádoby vždy 100ml vzorku, který byl následně filtrován skrze filtrační papír pro kvalitativní analýzu (KA2, Ø 150 mm, filtrační rychlost - rychlá), za účelem získat čirou kapalinu, která by mohla být aplikována jako kapalné hnojivo do kapkových závlah. Dílčím cílem laboratorní modifikace fugátu byly vždy stejné vzorky ředěny s demineralizovanou vodou v poměru 1:1. Vzniklé vzorky byly stejným způsobem analyzovány. Tato metoda modifikace probíhala proto, že v provozních

podmínkách fugát přetéká do nádrží, kde dochází ke koncentraci s vodou a následně tak ke snížení obsahu živin. Pokus byl zaměřený na filtraci neředěného vzorku fugátu o objemu 100 ml (neředěný) a fugátu ředěného s demineralizovanou vodou v poměru (1:1) k celkovému objemu 100 ml (ředěný). Experimentálně bylo provedeno 6 opakování. Při každém opakování se připravilo 10 skleněných nálevek (viz. Seznam příloh obrázek 8), do kterých se umístil filtrační papír a nalil se připravený vzorek zředěného a nezředěného fugátu. Po filtraci byly u zfiltrovaných vzorků (viz. Seznam příloh obrázek 12) zjišťovány výluhy chemických vlastností prvků na přístroji optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (OES-ICP).

4.4 Metody stanovení fyzikálních a chemických vlastností separátu a fugátu

Stanovení obsahu makroživin, mikroživin a rizikových prvků ve vzorcích bylo realizováno v laboratoři na Katedře agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie potravinových a přírodních zdrojů v Praze. Příprava k analýzám daných surovin spočívala usušením po dobu 2 týdnů při teplotě 45 °C do konstantní sušiny a poté byly vzorky zhomogenizovány rozemletím přes síto o průměru 2,5 mm.

4.4.1 Stanovení hodnoty pH a obsahu rozpuštěných solí

Z chemických vlastností byla stanovena hodnota pH a obsah rozpuštěných solí ve vodném výluhu vzorku a demineralizované vody v poměru 1 : 10. Bylo naváženo 10 g vzorku do plastových PE lahviček s víkem a zalito 100 ml destilované vody. Měření bylo realizováno kalibrovaným pH metrem a kalibrovaným konduktometrem.

4.4.2 Metoda mikrovlnného rozkladu

Mikrovlnný rozklad probíhal v kyvetách, do kterých bylo naváženo 0,5 g vzorku. Poté ke vzorku bylo přidáno 8 ml kyseliny dusičné (HNO_3) a 2 ml peroxidu vodíku (H_2O_2). Následně vzniklý mineralizát byl odpařen po 20 minutách.

Vedle hlavních živin byl zjištěn i obsah celkových stopových prvků Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo a dále obsahy Pb, Cd, As, Cr a Ni. 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.

4.4.3 Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Vzorky a jejich výluhy byly proměřeny přístrojem AA280FS atomovým absorpčním spektrofotometrem pro určení obsahu makroprvků ve vzorku.

Tato metoda využívá schopnost měřených elementů absorbovat záření jejich volnými atomy. Úbytek tohoto záření nám ukazuje míru koncentrace volných atomů prvku, který záření absorboval. Zdrojem tohoto primárního záření je výbojka. Výbojka obsahuje katodu, ve které musí být prvek, který stanovujeme.

Díky atomizátoru dochází k přeměně stanovovaného prvku na volné atomy za využití tepelné a chemické energie plamenů. Chceme dosáhnout co nejvyšší koncentrace volných atomů analytu (sledovaného prvku) a dosáhnout tak závislosti koncentrace analytu ve vzorku a koncentrace analytu v plynné fázi, ve které probíhá měření (Száková *et al.*, 2005).

4.4.4 Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (OES-ICP)

Vzorky ze stanovení celkových obsahů prvků a výluhy z výše uvedených extrakcí byly proměřeny optickým emisním spektrometrem Vista-Pro. Pomocí zahřívání látek přecházejí z pevného skupenství přes kapalné až do skupenství plynného. Čím více se pak teplota zvyšuje, tím snadněji se sloučeniny mění na jednodušší a až na volné atomy. Ty dále přecházejí na vyšší energetické stavy až po buzení vyšších iontových stavů, kdy se pro jejich identifikaci využívá elektromagnetické záření emitované při samovolné deexcitaci vzbuzených iontů a atomů, stejně tak pro jejich kvalitativní stanovení metodami optické emisní spektrometrie. (Száková *et al.*, 2005).

4.4.5 Vyhodnocení výsledků

Pro základní popisné charakteristiky byl použit software Excel (2010). K podrobnější statistické analýze (ANOVA = Tukeyův test) byl využit program Statistica (Statistica 2012).

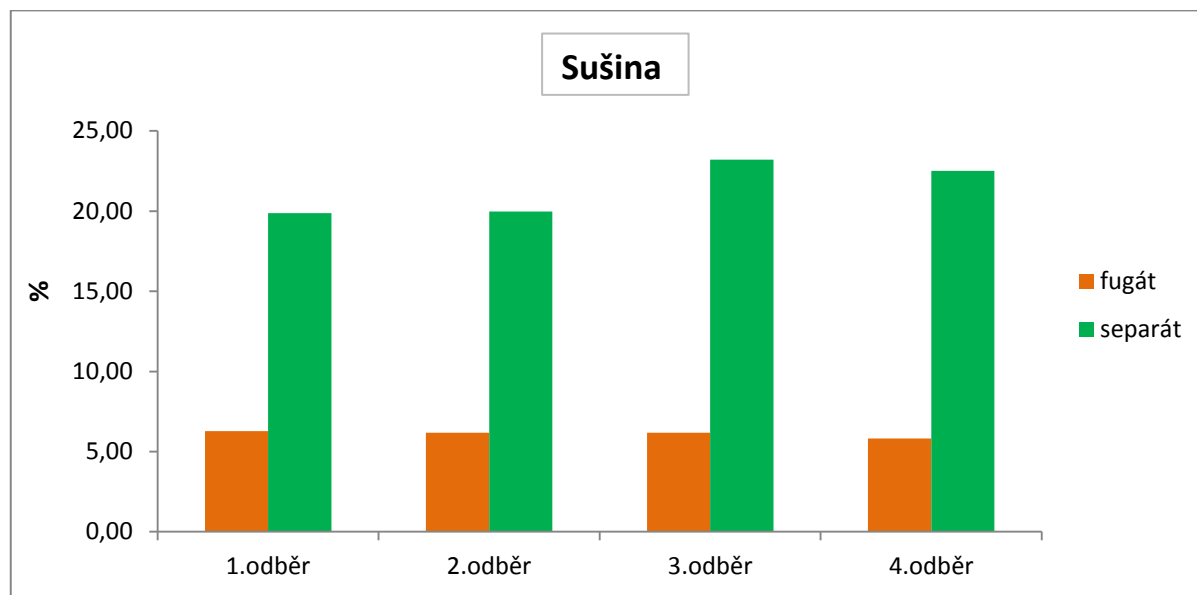
5 Výsledky

5.1 Zhodnocení analýz fyzikálních a chemických vlastností separátu a fugátu

Graf 1 znázorňuje obsah sušiny ve výstupních surovinách ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu je patrné, že obsah sušiny ve vzorcích fugátu během sledovaného období byl přibližně 6 %, oproti separátu, jejichž hodnota byla mnohem vyšší a průměrné hodnoty se pohybovaly kolem 20 %. Hodnota obsahu sušiny jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

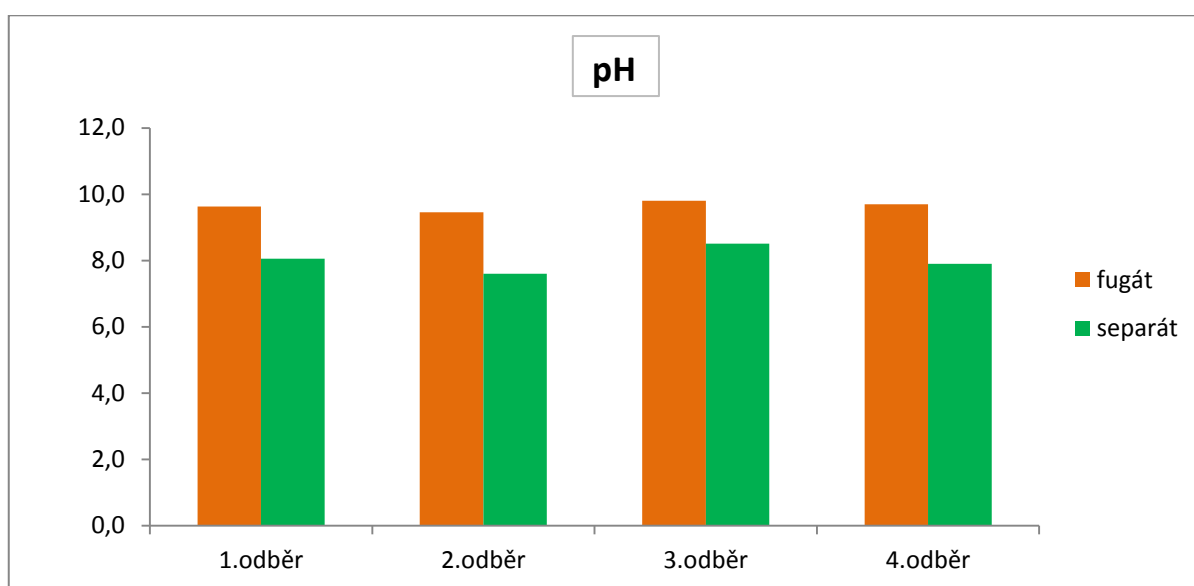
Graf 1 Obsah sušiny výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 2 znázorňuje hodnoty pH ve výstupních surovinách ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu je patrné, že hodnota pH ve vzorcích fugátu během sledovaného období byla přibližně 10, oproti separátu, jejichž hodnota byla nižší a průměrné hodnoty se pohybovaly přibližně kolem 8. Hodnota pH jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

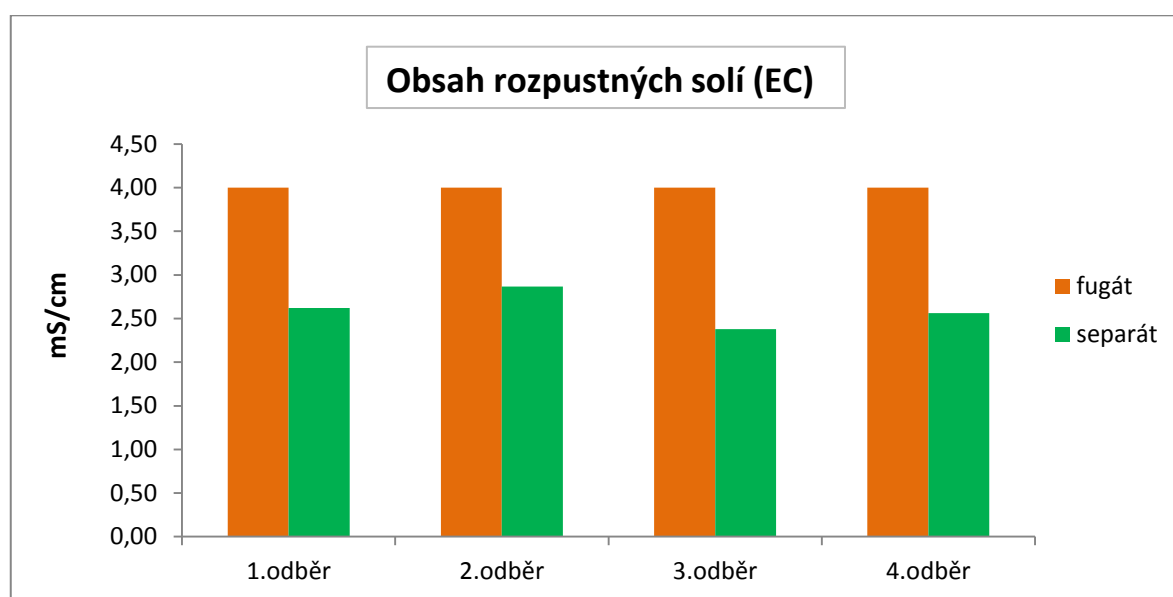
Graf 2 Hodnoty pH výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 3 znázorňuje obsah rozpustnosti solí ve výstupních surovinách ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu je patrné, že obsah rozpustných solí ve vzorcích fugátu během sledovaného období byl 4,00 mS/cm oproti separátu, jejichž hodnota byla mnohem nižší a průměrné hodnoty se pohybovaly kolem 2,61 mS/cm. Hodnota obsahu rozpustnosti solí jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

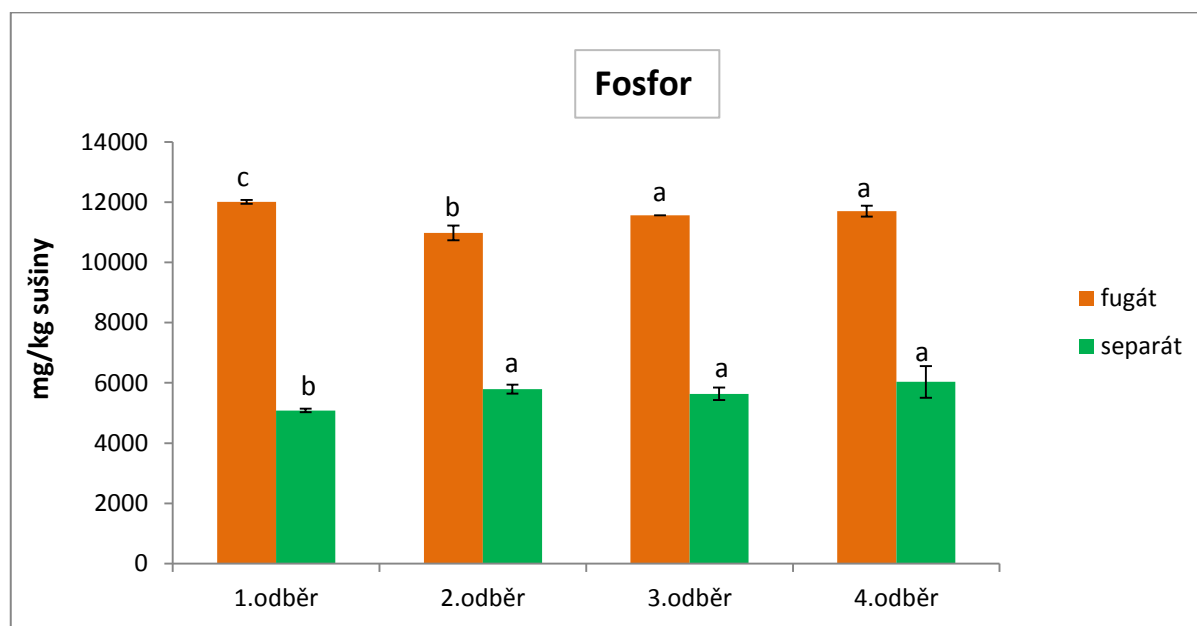
Graf 3 Obsah rozpustných solí (elektrická vodivost) BPS Kr. H.



Graf 4 znázorňuje obsah fosforu v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá dvojnásobný obsah fosforu ve fugátu oproti separátu. Obsah fosforu u fugátu se pohyboval kolem 12 000 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 5 500 mg/kg. Hladina obsahu fosforu jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, ale taky u 3. a 4. odběru je rozdíl mezi 1. a 2. odběrem. Ve vzorcích separátu je statisticky významný rozdíl 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru separátu mezi 1., 2. a 3. odběrem fugátu, ale taky u 2., 3. a 4. odběru separátu mezi 1. a 2. odběrem fugátu.

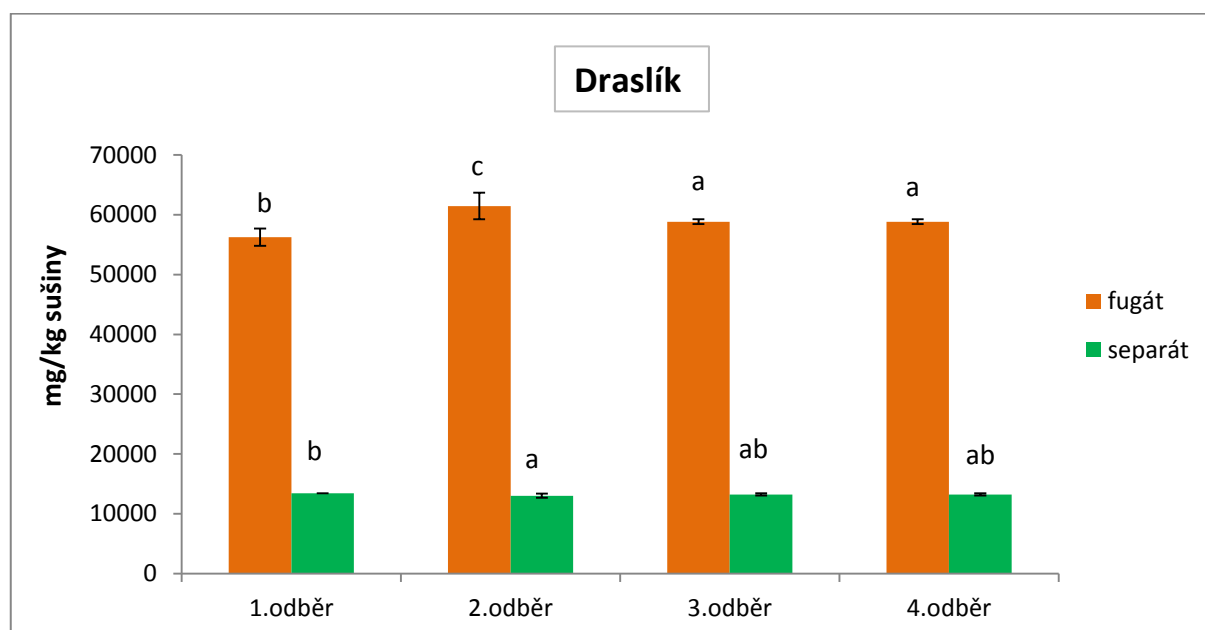
Graf 4 Obsah fosforu výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 5 znázorňuje obsah draslíku v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá několikanásobně vyšší obsah draslíku ve fugátu oproti separátu. Obsah draslíku u fugátu se pohyboval kolem 58 000 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 13 000 mg/kg. Hladina obsahu draslíku jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, ale taky u 3. a 4. odběru je rozdíl mezi 1. a 2. odběrem. Ve vzorcích separátu je statisticky významný rozdíl mezi 1. a 2. odběrem. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru separátu mezi 2., 3 a 4. odběrem fugátu, u 2. odběru separátu mezi 1. a 2. odběrem fugátu, ale taky u 3. a 4. odběru separátu mezi 2. odběrem fugátu.

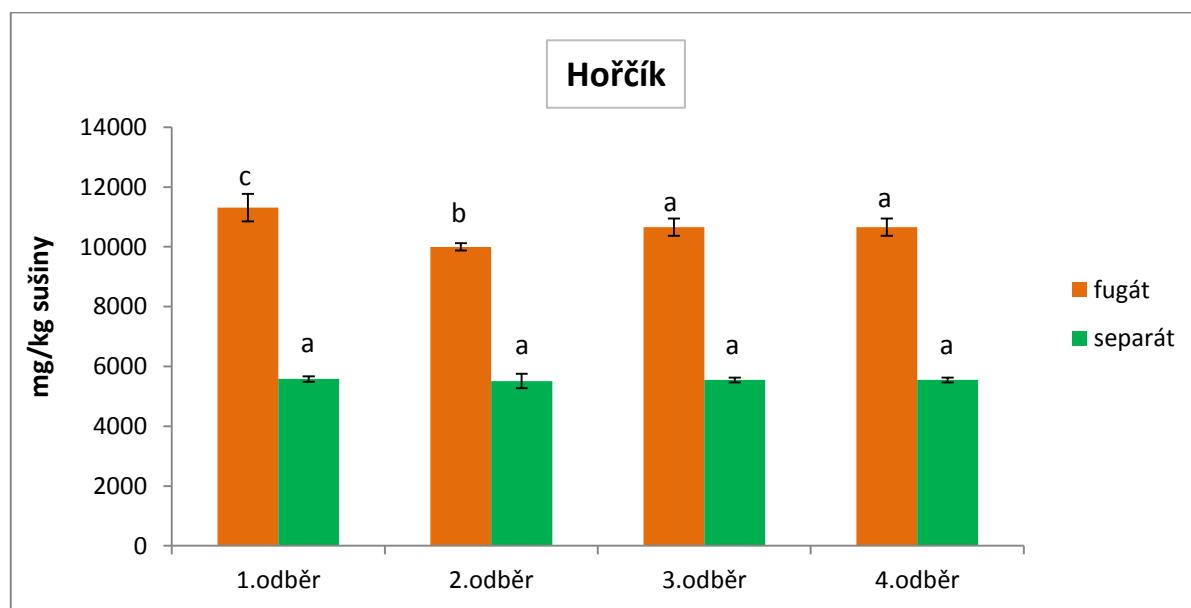
Graf 5 Obsah draslíku výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 6 znázorňuje obsah hořčíku v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá dvojnásobný obsah hořčíku ve fugátu oproti separátu. Obsah hořčíku u fugátu se pohyboval kolem 10 500 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 5 500 mg/kg. Hladina obsahu hořčíku jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, ale taky u 3. a 4. odběru je rozdíl mezi 1. a 2. odběrem. Ve vzorcích separátu není zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1., 2., 3. a 4. odběru separátu mezi 1. a 2. odběrem fugátu.

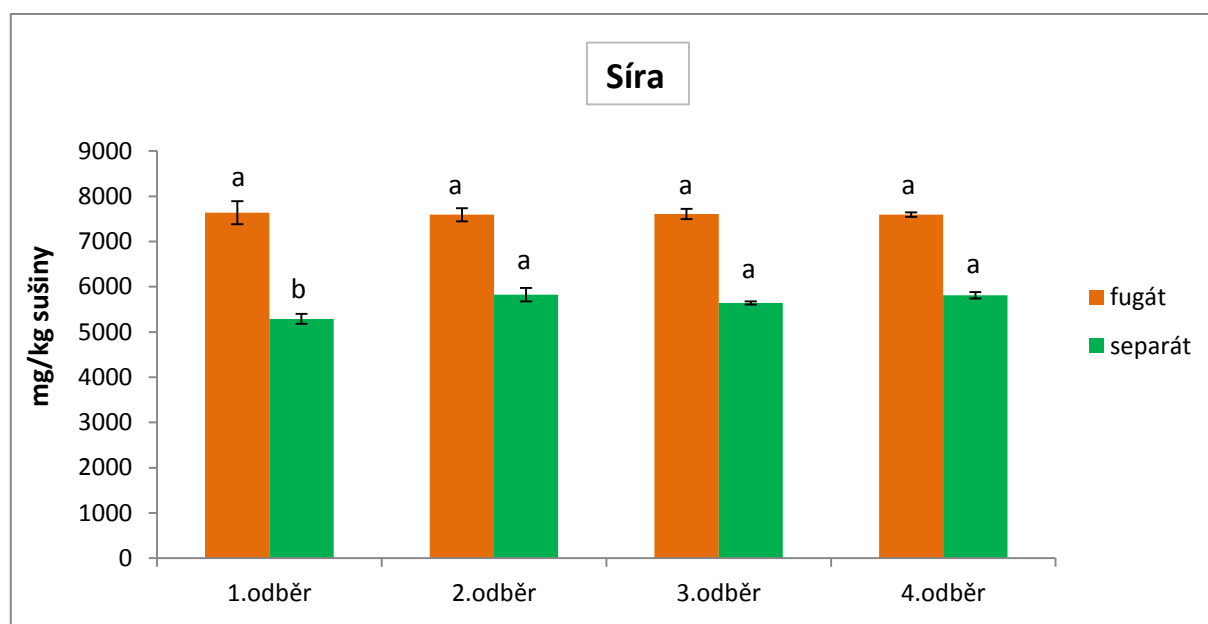
Graf 6 Obsah hořčíku výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 7 znázorňuje obsah síry v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá přibližně o čtvrtinu vyšší obsah síry ve fugátu oproti separátu. Obsah síry u fugátu se pohyboval kolem 7 500 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 5 500 mg/kg. Hladina obsahu síry jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

Z grafu dále vyplývá, že ve vzorcích fugátu není zaznamenán statisticky významný rozdíl. Ve vzorcích separátu je statisticky významný rozdíl mezi 1. odběrem a 2., 3. a 4. odběrem. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru separátu mezi 1., 2., 3 a 4. odběrem fugátu.

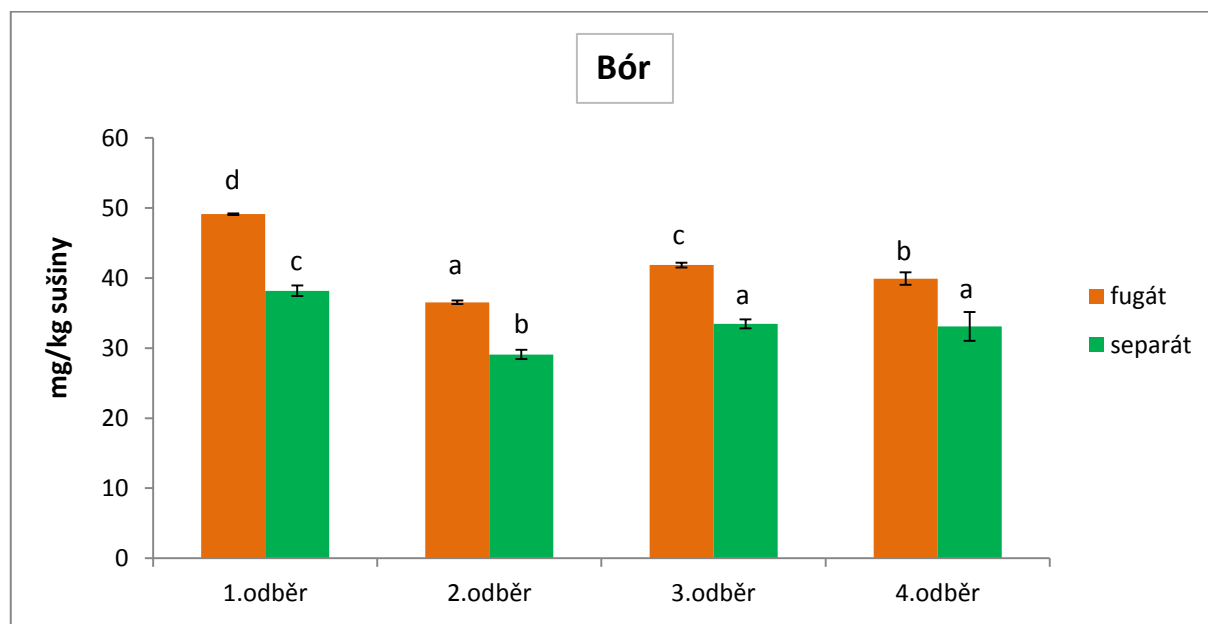
Graf 7 Obsah síry výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 8 znázorňuje obsah bóru v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá přibližně o čtvrtinu vyšší obsah bóru ve fugátu oproti separátu. Obsah bóru u fugátu se pohyboval kolem 40 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 30 mg/kg. Hladina obsahu bóru jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2. a 4. odběrem, ale taky u 4. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem. Ve vzorcích separátu je statisticky významný rozdíl 1. odběru mezi 2., 3. a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, taky u 3. a 4. odběru mezi 1. a 2. odběrem. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru separátu mezi 1., 2. a 4. odběrem fugátu, u 2. odběru separátu mezi 1., 2. a 3. odběrem fugátu, ale taky u 3. a 4. odběru separátu mezi 1., 3. a 4. odběrem fugátu.

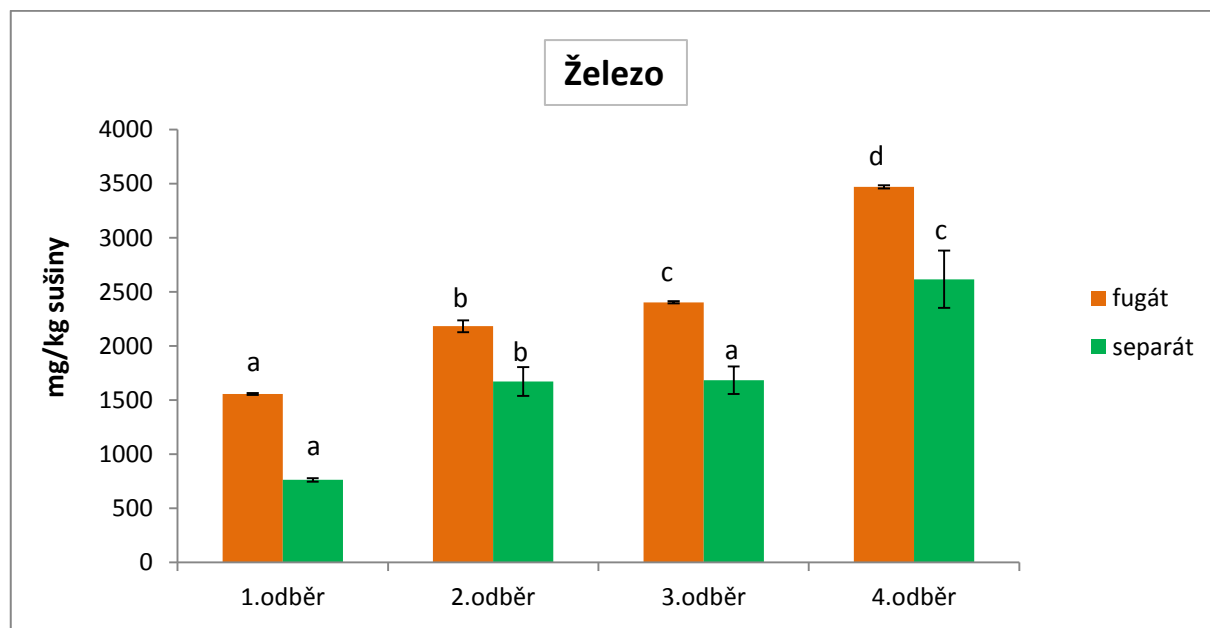
Graf 8 Obsah bóru výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 9 znázorňuje obsah železa v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá přibližně o čtvrtinu vyšší obsah železa ve fugátu oproti separátu. Obsah železa u fugátu se pohyboval kolem 2 500 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 1 700 mg/kg. Hladina obsahu železa jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích kolísala. Významný je nárůst železa mezi 1. a 4. odběrem.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2. a 4. odběrem, ale taky u 4. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem. Ve vzorcích separátu je statisticky významný rozdíl 1. a 3. odběru mezi 2. a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, taky u 4. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. a 3. odběru separátu mezi 2., 3. a 4. odběrem fugátu, u 2. odběru separátu mezi 1., 3. a 4. odběrem fugátu, ale taky u 4. odběru separátu mezi 1., 2. a 4. odběrem fugátu.

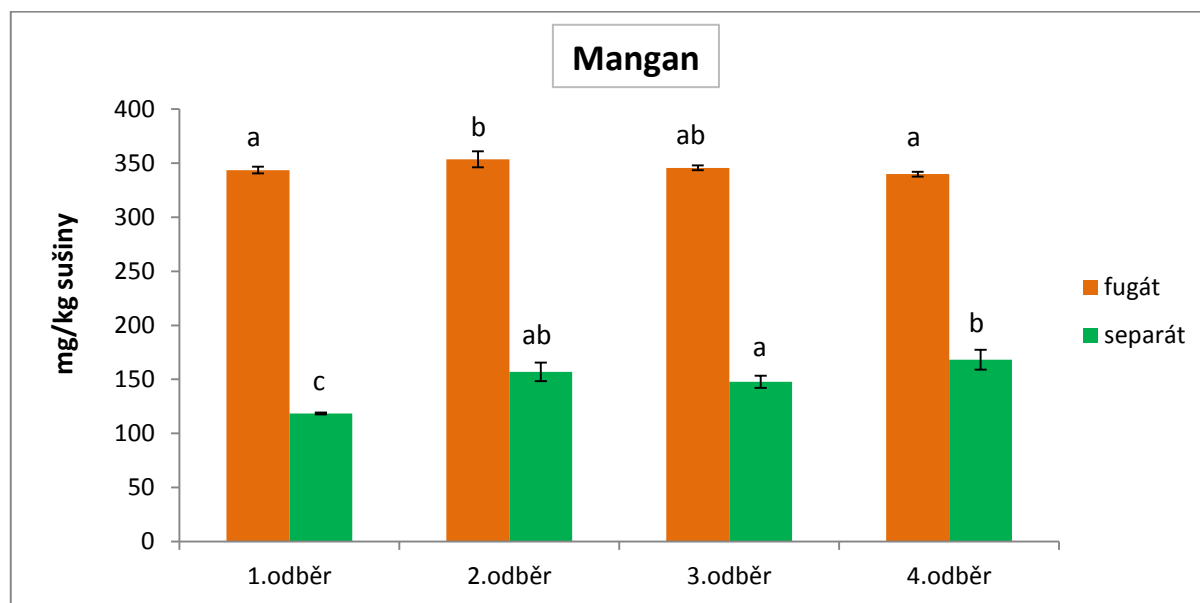
Graf 9 Obsah železa výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 10 znázorňuje obsah manganu v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá o více jak polovinu vyšší obsah manganu ve fugátu oproti separátu. Obsah manganu u fugátu se pohyboval kolem 350 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 150 mg/kg. Hladina obsahu manganu jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. a 4. odběru s 2. odběrem. Ve vzorcích separátu je statisticky významný rozdíl 1. odběru mezi 2., 3. a 4. odběrem, u 3. odběru mezi 1. a 4. odběrem, ale taky u 4. odběru mezi 1. a 3. odběrem. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru separátu mezi 1., 2., 3. a 4. odběrem fugátu, u 3. odběru separátu mezi 2. odběrem fugátu, ale taky u 4. odběru separátu mezi 1. a 4. odběrem fugátu.

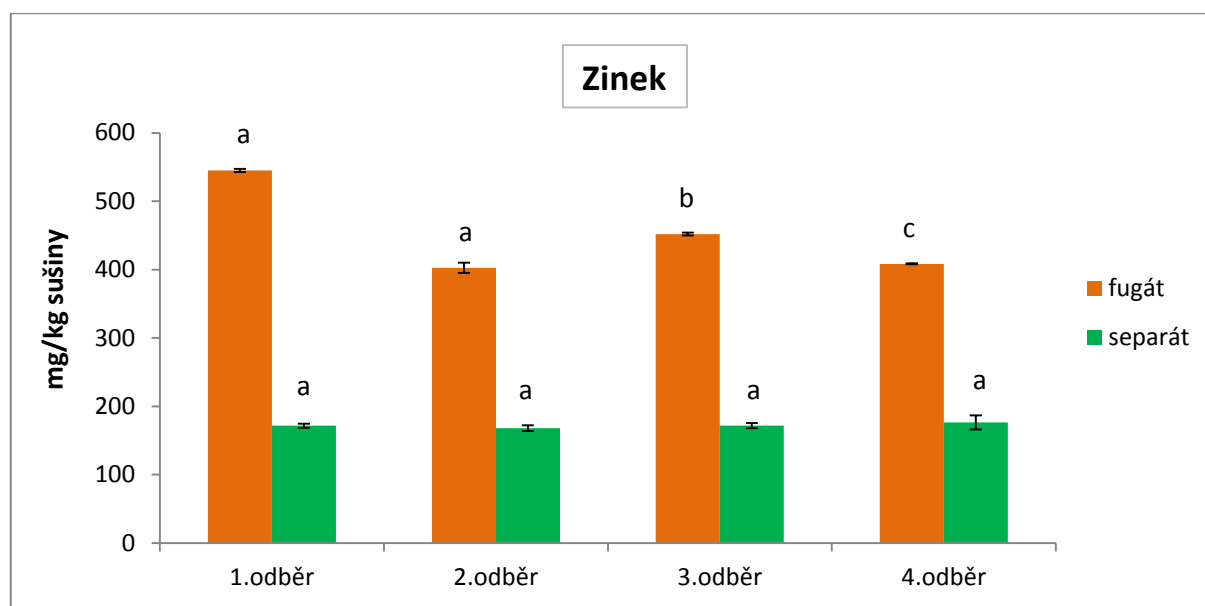
Graf 10 Obsah manganu výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 11 znázorňuje obsah zinku v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá o více jak polovinu vyšší obsah zinku ve fugátu oproti separátu. Obsah zinku u fugátu se pohyboval kolem 450 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 170 mg/kg. Hladina obsahu zinku jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. a 2. odběru mezi 3. a 4. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2. a 4. odběrem, ale taky u 4. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem. Ve vzorcích separátu nebyl mezi jednotlivými odběry žádný statisticky významný rozdíl. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1., 2., 3. a 4. odběru separátu mezi 3. a 4. odběrem fugátu.

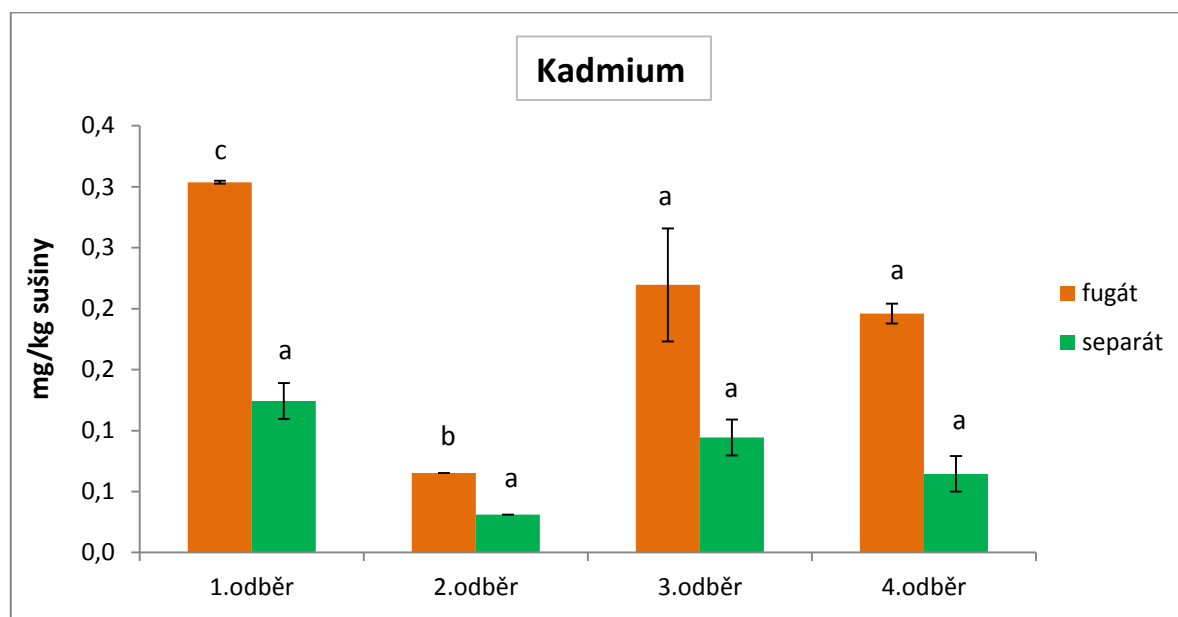
Graf 11 Obsah zinku výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 12 znázorňuje obsah kadmia v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá o polovinu vyšší obsah kadmia ve fugátu oproti separátu. Obsah kadmia u fugátu se pohyboval kolem 0,2 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 0,1 mg/kg. Hladina obsahu kadmia jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích kolísala. Je patrný velmi nízký obsah kadmia u 2. odběru oproti ostatním odběrům.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1. odběru mezi 2., 3., a 4. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3. a 4. odběrem, ale taky u 3. a 4. odběru mezi 1. a 2. odběrem. Ve vzorcích separátu nebyl mezi jednotlivými odběry žádný statisticky významný rozdíl. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly u 1., 2., 3. a 4. odběru separátu mezi 1. a 2. odběrem fugátu.

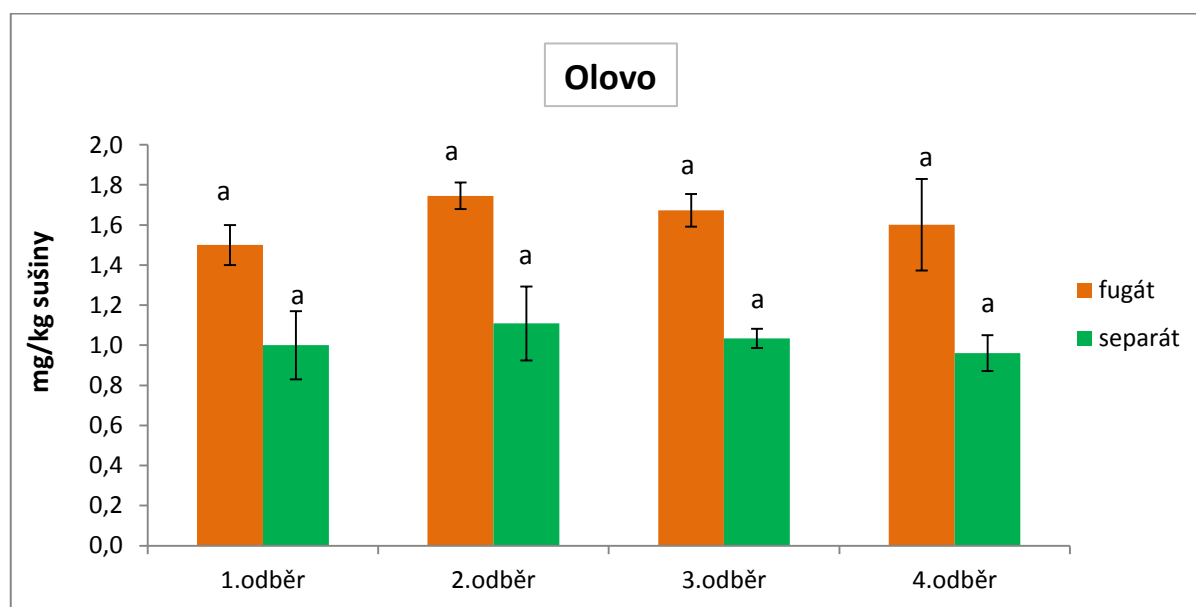
Graf 12 Obsah kadmia výstupních surovin BPS Kr. H.



Graf 13 znázorňuje obsah olova v sušině ve výstupních surovinách bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou ve sledovaných obdobích. Z grafu jednoznačně vyplývá skoro o polovinu vyšší obsah olova ve fugátu oproti separátu. Obsah olova u fugátu se pohyboval kolem 1,6 mg/kg a průměrné hodnoty separátu se pohybovaly kolem 1,1 mg/kg. Hladina obsahu olova jak u fugátů, tak u separátů ve sledovaných obdobích nijak nekolísala.

V rámci statistického hodnocení nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly u fugátu a separátu.

Graf 13 Obsah olova výstupních surovin BPS Kr. H.



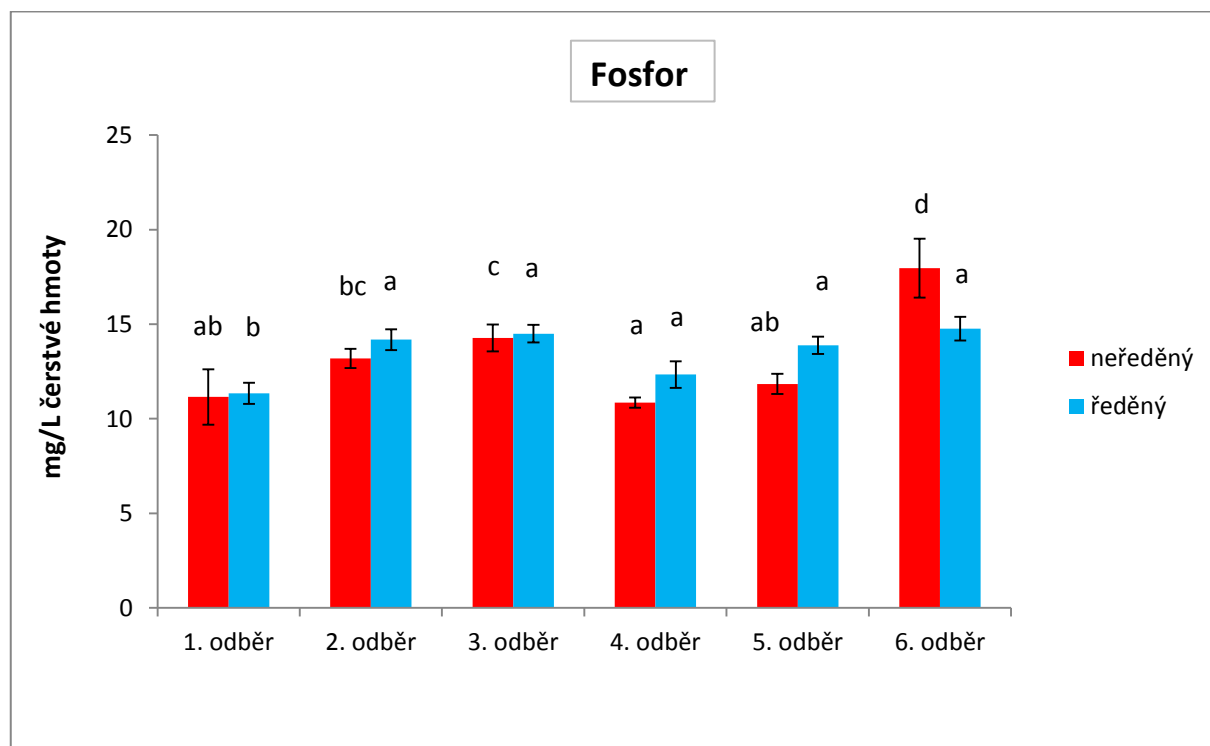
5.2 Zhodnocení chemických vlastností modifikovaného fugátu

Graf 14 znázorňuje obsah fosforu v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota fosforu u 6. odběru, jehož průměr byl přibližně 18 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 4. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 10,9 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 14,8 mg/L u 3. odběru, nejnižší hodnota u 1. odběru, a to 11,4 mg/L. Hladina fosforu výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1. odběru mezi 3. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 4. a 6. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 4., 5. a 6. odběrem, u 4. odběru mezi 2., 3. a 6. odběrem, u 5. odběru mezi 2., 3. a 6. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. odběru mezi 2., 3., 4., 5. a 6. odběrem.

Graf 14 Obsah fosforu v modifikovaném fugátu

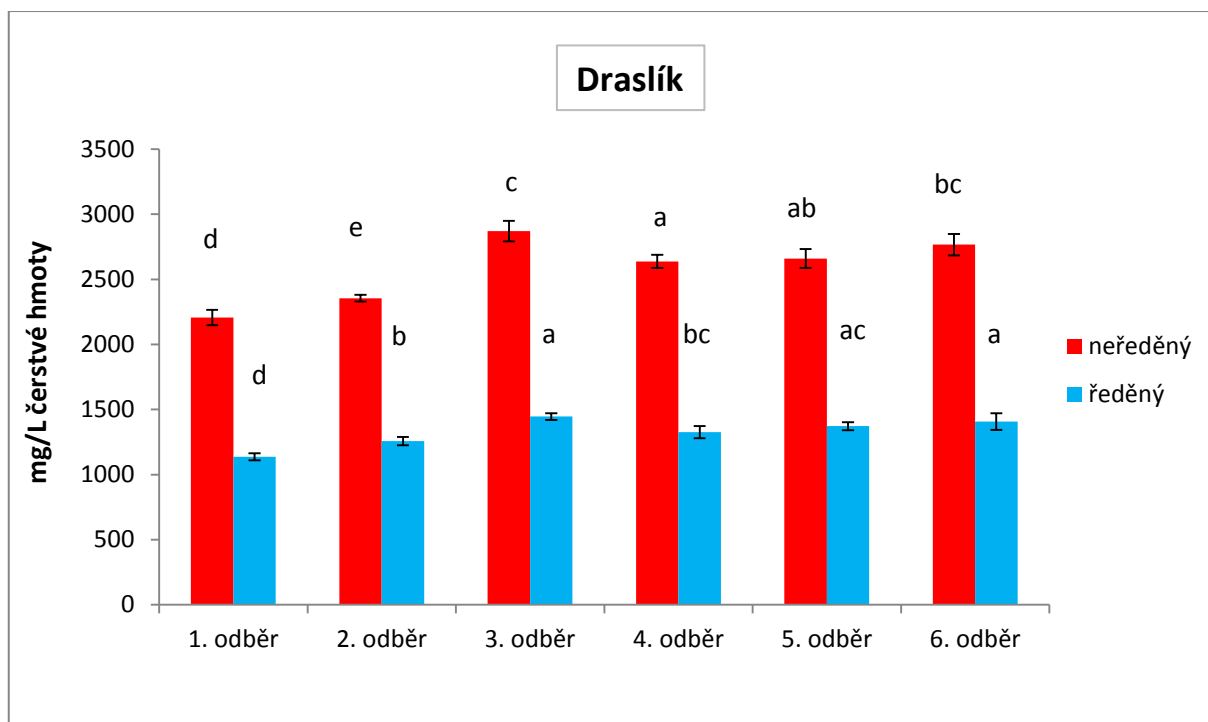


Graf 15 znázorňuje obsah draslíku v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota draslíku u 3. odběru, jehož průměr byl přibližně 2 800 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 1. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 2 200 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 1 400 mg/L u 3. odběru, nejnižší hodnota u 1. odběru, a to 1 100 mg/L. Hladina draslíku výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1. odběru mezi 2., 3., 4., 5. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3., 4., 5. a 6. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2., 4. a 5. a odběrem, u 4. odběru mezi 1., 2., 3. a 6. odběrem, u 5. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem, ale taky u 6. odběru mezi 1., 2. a 4. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. odběru mezi 2., 3., 4., 5. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3., 5. a 6. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2. a 4. odběrem, u 4. odběru mezi 1., 3. a 6. odběrem, u 5. odběru mezi 1., 2. a 4. odběrem, ale taky u 6. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem.

Graf 15 Obsah draslíku v modifikovaném fugátu

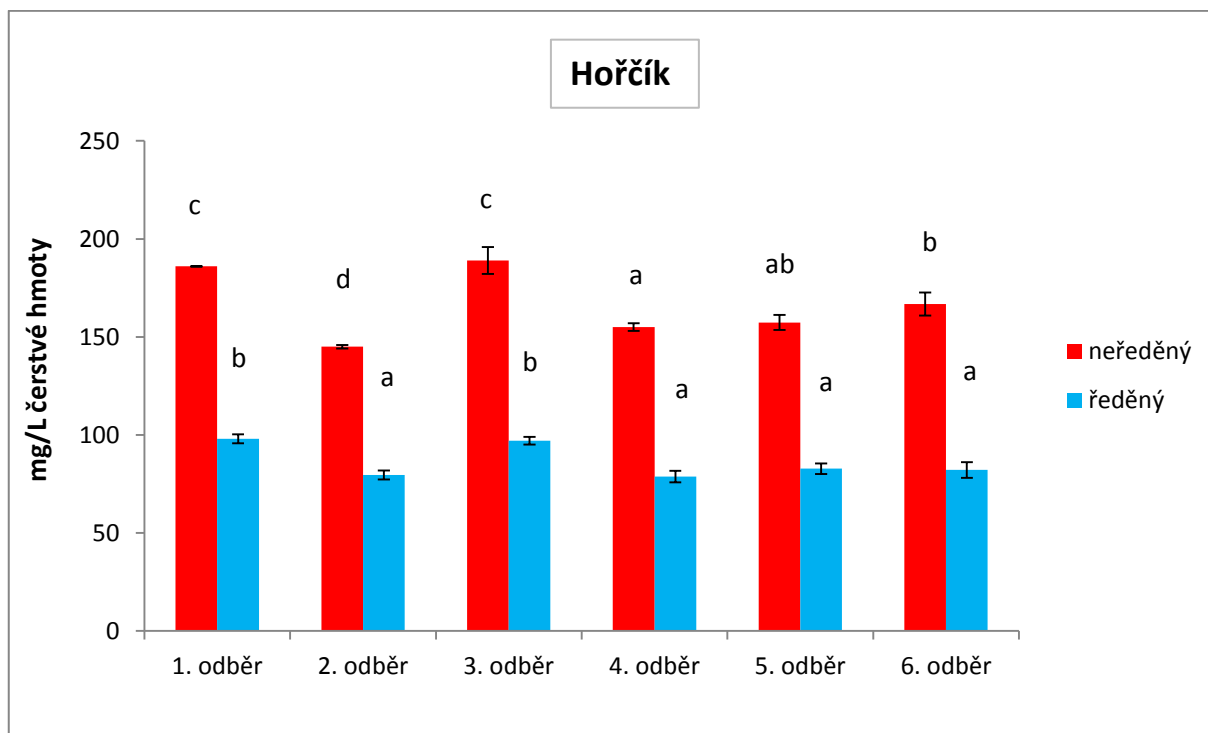


Graf 16 znázorňuje obsah hořčiku v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota hořčiku u 3. odběru, jehož průměr byl přibližně 189 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 2. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 145 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 98 mg/L u 1. odběru, nejnižší hodnota u 4. odběru, a to 78,7 mg/L. Hladina hořčiku výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1. a 3. odběru mezi 2., 4., 5. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3., 4., 5. a 6. odběrem, u 4. odběru mezi 1., 2., 3. a 6. odběrem, u 5. odběru mezi 1., 2., 3. a 6. odběrem, ale taky u 6. odběru mezi 1., 2., 3. a 4. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. a 3. odběru mezi 2., 4., 5. a 6. odběrem, ale taky u 2., 4., 5. a 6. odběru mezi 1. a 3. odběrem.

Graf 16 Obsah hořčiku v modifikovaném fugátu

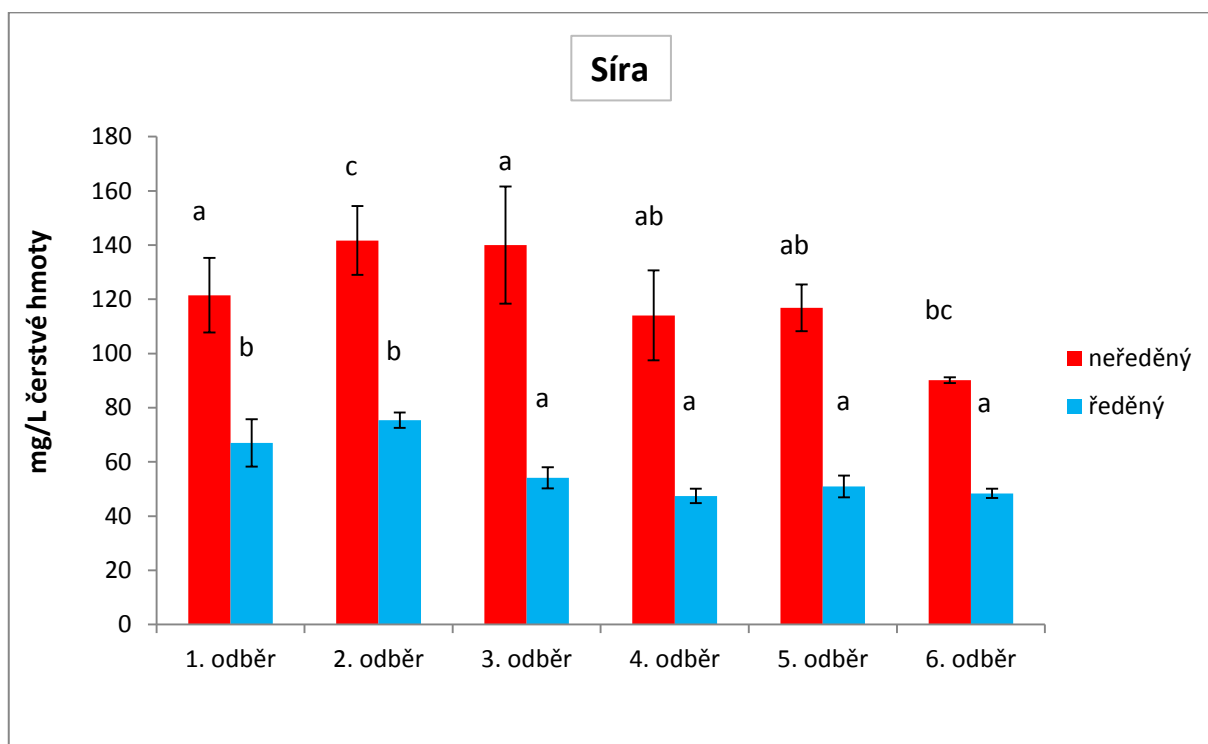


Graf 17 znázorňuje obsah síry v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota síry u 2. odběru, jehož průměr byl přibližně 141,7 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 6. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 90,1 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 75,4 mg/L u 2. odběru, nejnižší hodnota u 4. odběru, a to 47,4 mg/L. Hladina síry výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1., 3., 4. a 5. odběru mezi 2. a 6. odběrem, u 2. a 6. odběru mezi 1. a 3. odběrem, u 4. a 5. odběru mezi 2. odběrem, ale taky u 6. odběru mezi 1. a 3. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. a 2. odběru mezi 3., 4., 5. a 6. odběrem.

Graf 17 Obsah síry v modifikovaném fugátu

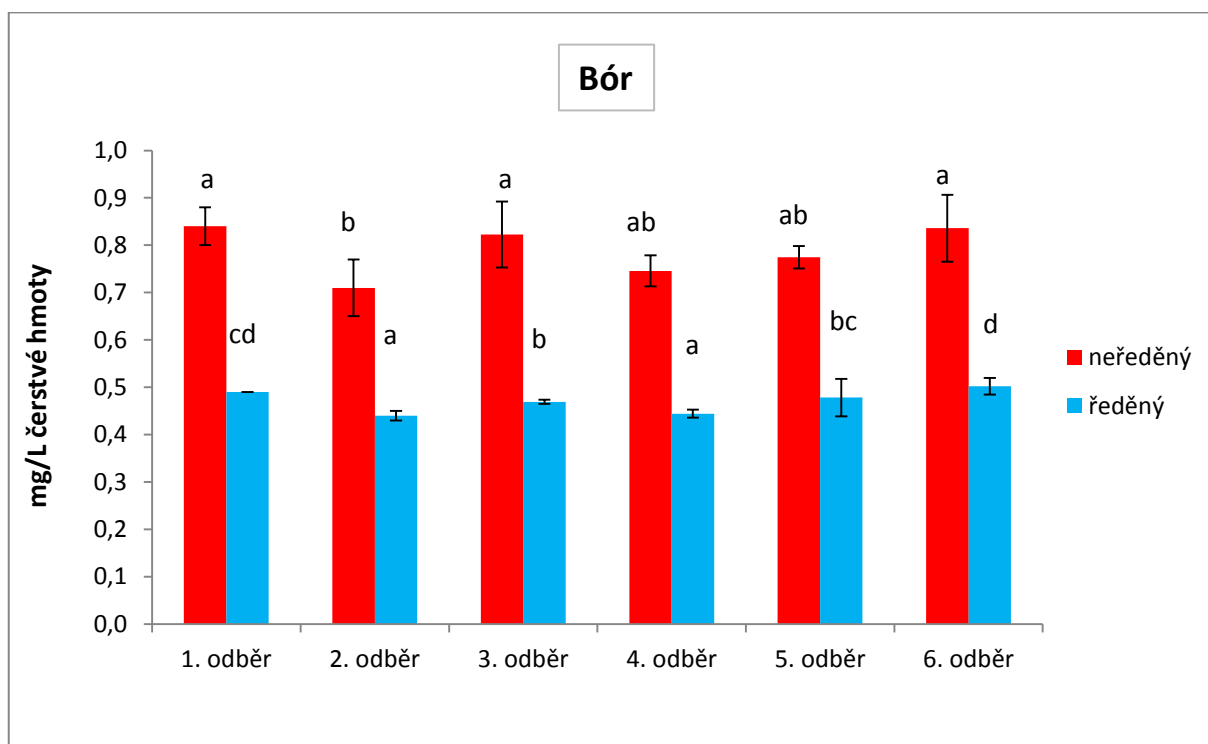


Graf 18 znázorňuje obsah bóru v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota bóru u 1., 3., 5., a 6. odběru, jehož průměr byl přibližně 0,8 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 2. a 4. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 0,7 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 0,4 mg/L u 1., 3., 5., a 6. odběru, nejnižší hodnota u 2. a 4. odběru, a to 0,4 mg/L. Hladina bóru výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1., 3. a 5. odběru mezi 2. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. odběru mezi 2., 3. a 4. odběrem, u 2. a 4. odběru mezi 1., 3., 5. a 6. odběrem, u 1. a 5. odběru mezi 2. a 4. odběrem, ale taky u 6. odběru mezi 2., 3., 4. a 5. odběrem.

Graf 18 Obsah bóru v modifikovaném fugátu

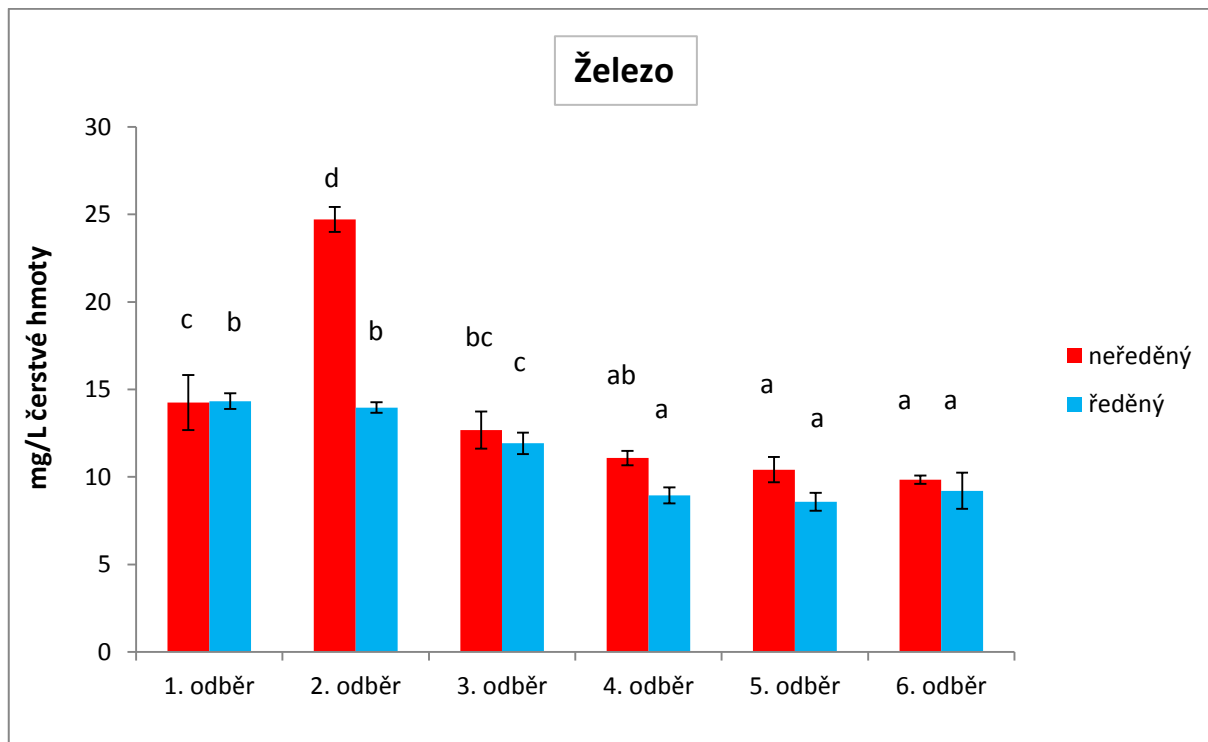


Graf 19 znázorňuje obsah železa v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota železa u 2. odběru, jehož průměr byl přibližně 24,7 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 6. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 9,8 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 14,3 mg/L u 1. odběru, nejnižší hodnota u 5. odběru, a to 8,6 mg/L. Hladina železa výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1. odběru mezi 2., 4., 5. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3., 4., 5. a 6. odběrem, u 3. odběru mezi 2., 5. a 6. odběrem, u 4. odběru mezi 1. a 2. odběrem a u 5. a 6. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. a 2. odběru mezi 4., 5. a 6. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2., 4., 5. a 6. odběrem, ale taky u 4., 5 a 6. odběru mezi 2., 1., 2. a 3. odběrem.

Graf 19 Obsah železa v modifikovaném fugátu

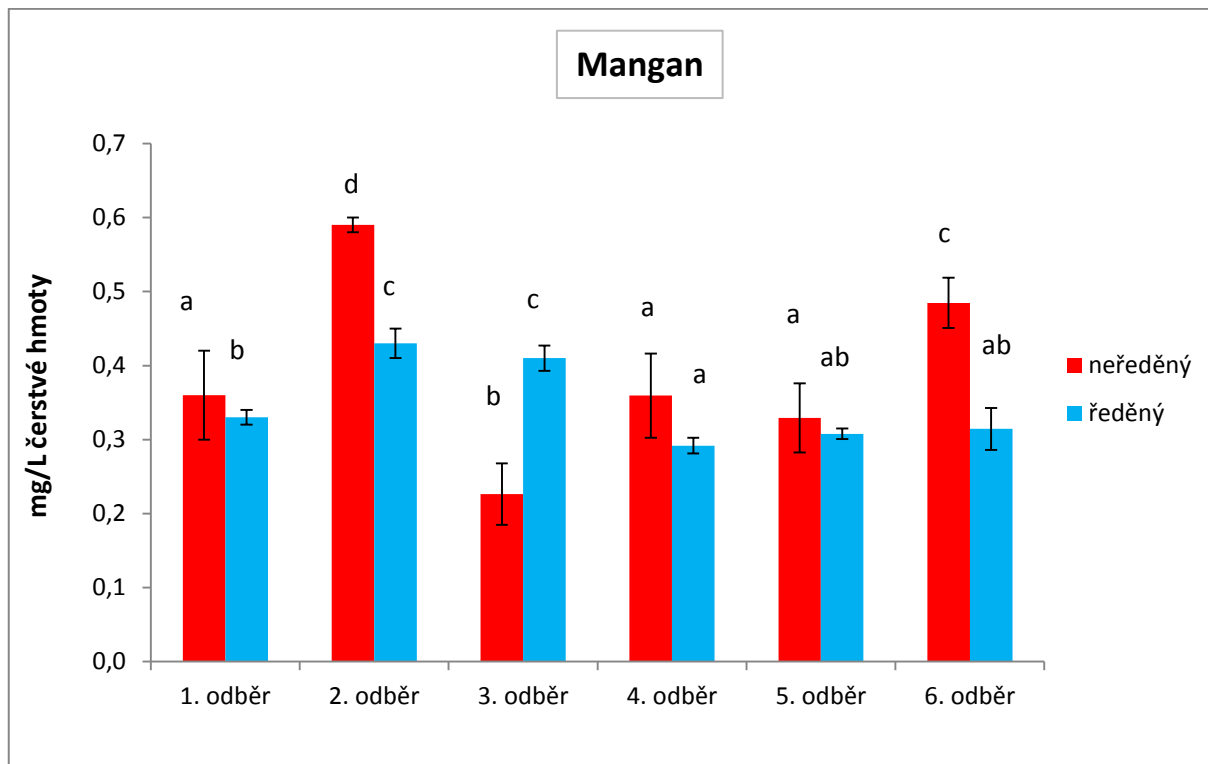


Graf 20 znázorňuje obsah manganu v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota manganu u 2. odběru, jehož průměr byl přibližně 0,6 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 3. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 0,2 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 0,4 mg/L u 2. a 3. odběru, nejnižší hodnota u 1., 4., 5., a 6. odběru, a to 0,3 mg/L. Hladina manganu výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1., 4. a 5. odběru mezi 2., 3. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 3., 4., 5. a 6. odběrem, u 3. odběru mezi 1., 2., 4., 5. a 6. odběrem, a u 6. odběru mezi 1., 2., 3., 4. a 5. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. odběru mezi 2., 3. a 4. odběrem, u 2. a 3. odběru mezi 1., 4., 5. a 6. odběrem, u 4. odběru mezi 1., 2. a 3. odběrem, ale taky u 5 a 6. odběru mezi 2. a 3. odběrem.

Graf 20 Obsah manganu v modifikovaném fugátu

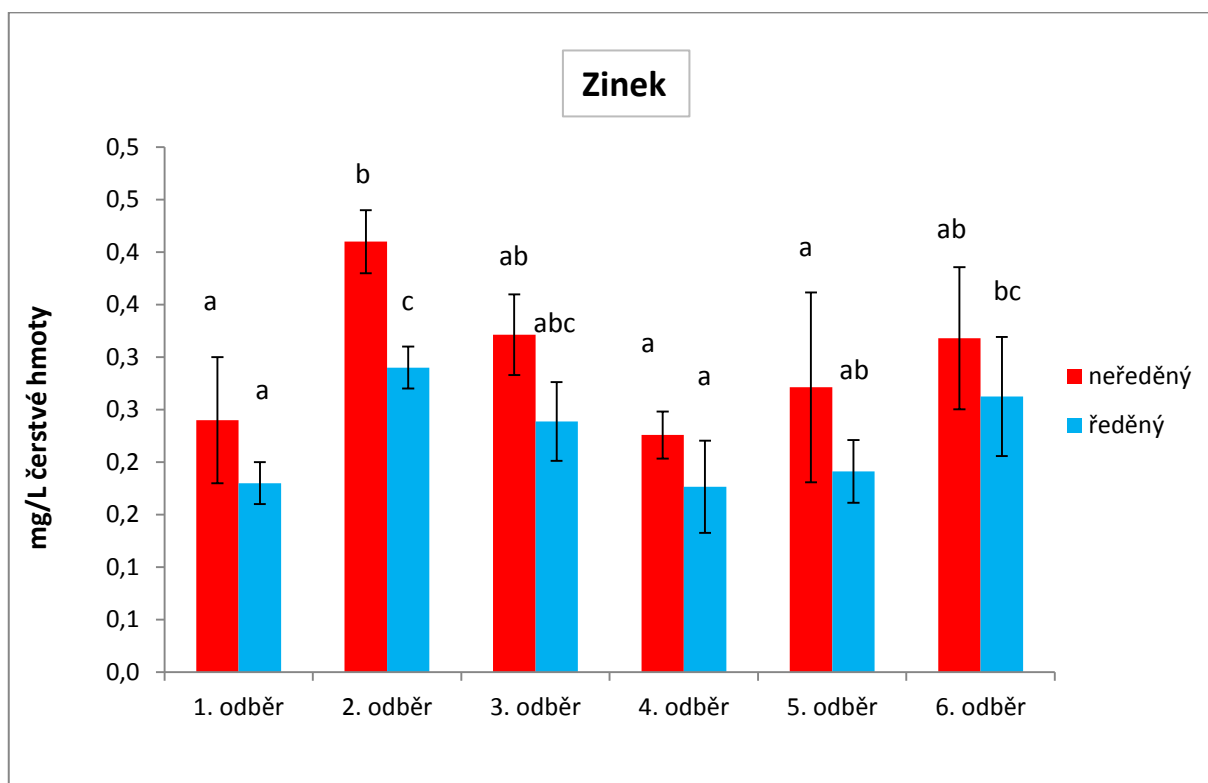


Graf 21 znázorňuje obsah zinku v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota zinku u 2. odběru, jehož průměr byl přibližně 0,4 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 1. a 4. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 0,2 mg/L. U řaděných vzorků byla nejvyšší průměrná hodnota 0,3 mg/L u 2. a 6. odběru, nejnižší hodnota u 1., 3., 4. a 5. odběru, a to 0,2 mg/L. Hladina zinku výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly neřaděných vzorků u 1., 4 a 5. odběru mezi 2. odběrem. Ve vzorcích řaděných je statisticky významný rozdíl u 1. a 4. odběru mezi 2. a 6. odběrem, u 2. odběru mezi 1., 4. a 5. odběrem, u 5. odběru mezi 2. odběrem, ale taky u 6. odběru mezi 1. a 4. odběrem.

Graf 21 Obsah zinku v modifikovaném fugátu

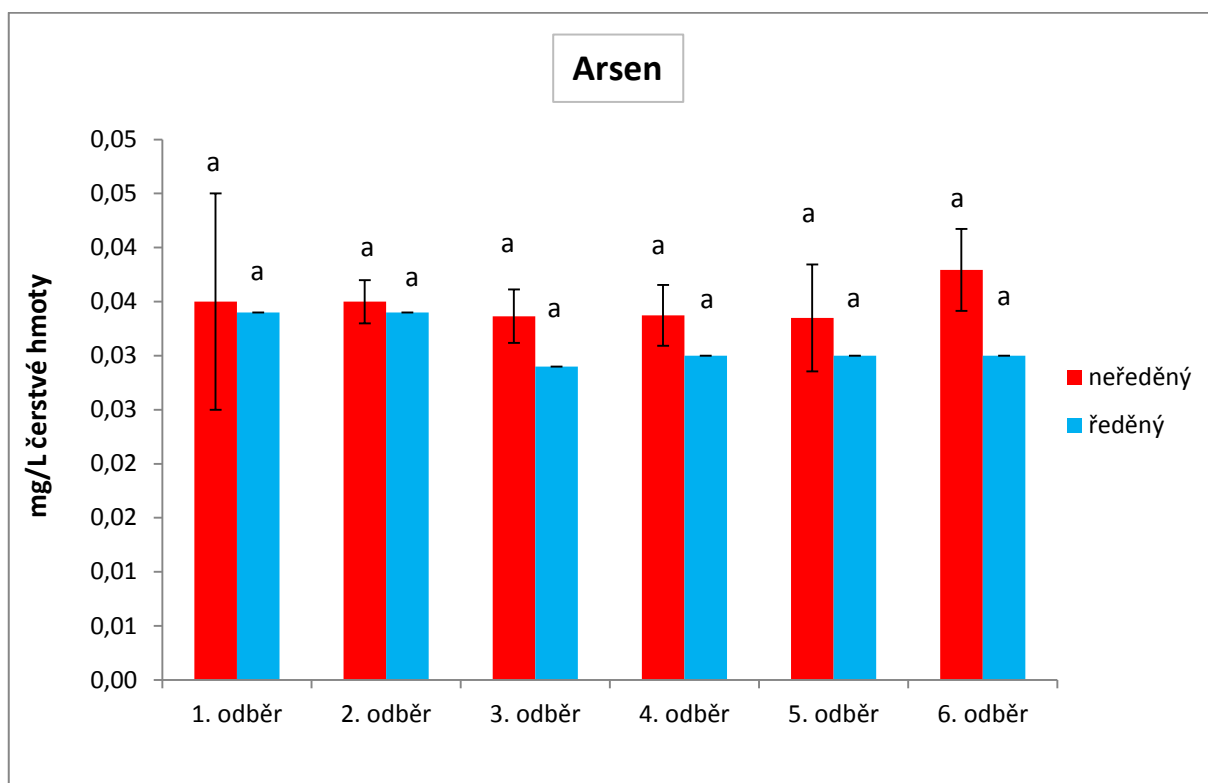


Graf 22 znázorňuje obsah arsenu v čerstvé hmotě v modifikovaném fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byla nejvyšší hodnota arsenu u 1., 2. a 6. odběru, jehož průměr byl přibližně 0,4 mg/L, naopak nejnižší hodnota byla u 3., 4. a 5. odběru, kde se hodnota pohybovala kolem 0,3 mg/L. U řaděných vzorků byly hodnoty u všech odběrů 0,3 mg/L. Hladina arsenu výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly u neřaděných a řaděných vzorků.

Graf 22 Obsah arsenu v modifikovaném fugátu

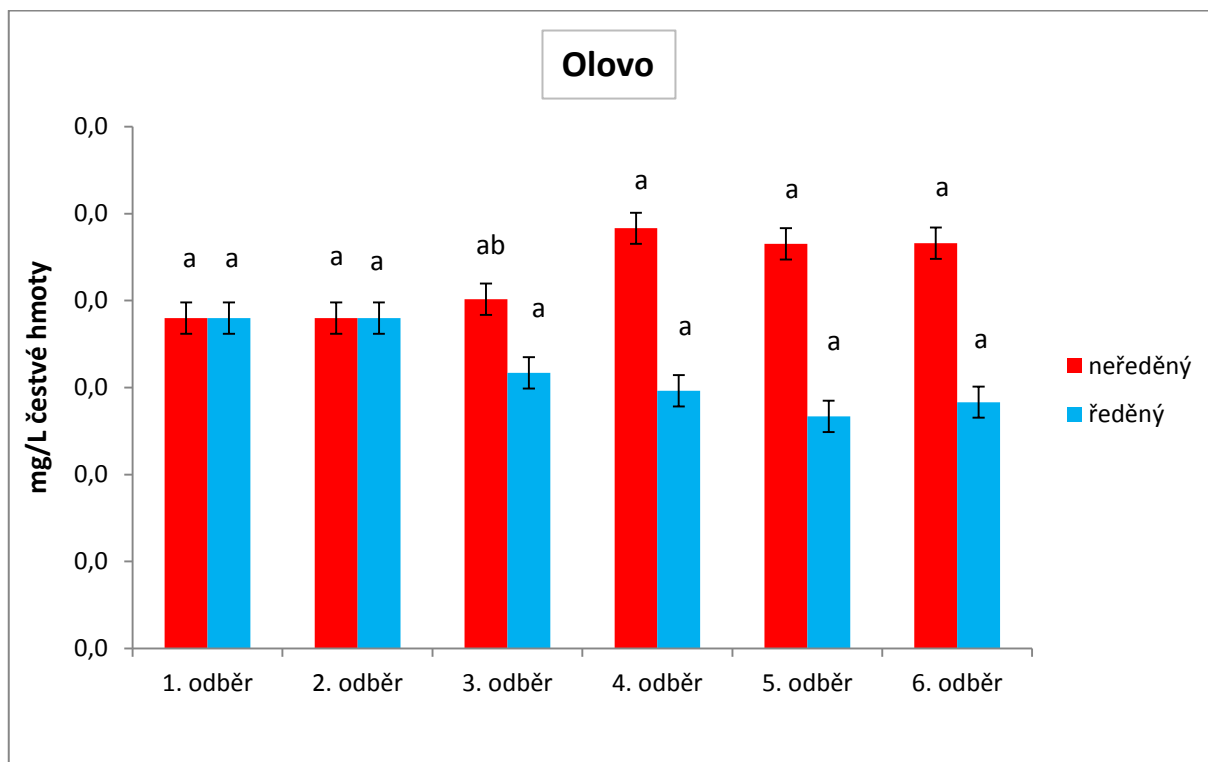


Graf 23 znázorňuje obsah olova v čerstvé hmotě v modifikovaného fugátu ZD BPS Krásná Hora nad Vltavou.

Z grafu jednoznačně vyplývá, že u neřaděných vzorků byly všechny hodnoty u všech odběrů nižší, než 0,1 mg/L. U řaděných vzorků byly hodnoty u všech odběrů také nižší než 0,1 mg/L. Hladina olova výrazně nekolísala v rámci všech 6 odběrů.

V rámci statistického hodnocení nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly u neřaděných a řaděných vzorků.

Graf 23 Obsah olova v modifikovaném fugátu



6 Diskuze

V rámci řešení prvního cíle práce, kdy byly v předem sledovaných obdobích odebírány vzorky separátu a fugátu, bylo zjištěno, že hladina obsahu sušiny se ve sledovaných vzorcích separátu v průměru pohybovala kolem 20 %, což se s mírnou odchylkou shoduje s výsledky Pawlici (2010), který uvádí hladinu sušiny 29,3 %. Rozdíl v obsahu sušiny může být určen mírou variability vstupních surovin bioplynové stanice. V rámci hodnocení obsahu sušiny ve vzorcích fugátu ve sledovaných obdobích byla zjištěna průměrná hodnota sušiny pohybující se v rozmezí 5 – 6 %, což jsou přibližně shodné výsledky s Pawlicou (2010), který uvádí hodnoty sušiny v rozmezí 2 – 4 %.

Z výsledků obsahu sušiny je zřejmé, že po mechanické separaci digestátu se určitá část pevného podílu převede do tekuté části, což může být opět dáno mírou variability vstupních surovin bioplynové stanice, např. strukturou travní senáže. Pevné částice se převádí do tekuté části, a proto nemůžeme hodnotit fugát jako kapalnou část digestátu, což se svým způsobem může vymykat tvrzení autorů (Kolář *et al.* 2010, Kratochvílová *et al.* 2009, Pawlica 2010 a Váňa 2010).

Hodnota pH, kterou jsme zjistili ve vzorcích separátu ve sledovaných obdobích, se pohybovala v průměru 8, ve vzorcích fugátu byla zjištěna průměrná hodnota pH 9,7. Ve studiích autorů Dubský *et Kaplan* (2012) a Richter *et al.* (2010) byly námi zjištěné průměrné hodnoty téměř identické. Dubský *et Kaplan* (2012) uvádí hodnotu pH separátu v rozmezí od 8,3 do 9,5. Richter *et al.* (2010) uvádí hodnotu pH v rozmezí 8,0 - 9,1. Uggetti *et al.* (2014) uvádí, hodnotu pH ve vzorcích fugátu v rozmezí 7,7 až 8,0, což je nižší hodnota, než kterou jsme naměřili. Niance v hodnotách může být způsobena metodou měření, nebo rozmanitostí vstupních surovin.

V rámci hodnocení obsahu rozpustných solí v odebraných vzorcích separátu bylo zjištěno, oproti odebraným vzorkům fugátu, že po mechanické separaci se obsah rozpustných solí zakoncentruje do kapaliny a tím pádem bude nižší obsah rozpustných solí v separátu (z našich výsledků bylo zjištěno 2,61 mS/cm), což potvrdil také Richter *et al.* (2010), kde se naměřená hodnota pohybovala v rozmezí od 0,79 do 1,03 mS/cm. Ve vzorcích fugátu jsme naměřili hodnotu více jak 4,00 mS/cm, která se relativně shoduje se studií Uggetti *et al.* (2014), kteří zjistili hodnoty obsahu rozpustných solí ve vzorcích fugátu v rozmezí 3,13 - 3,14 mS/cm. Rozdílné hodnoty, které udává Uggetti *et al.* (2014) a Richter *et al.* (2010), mohou být také dány metodou měření a charakterem vstupních surovin.

Po mechanické separaci digestátu vzniká separát. Separovaný digestát je možné využít pro přípravu kompostů, ale i v pěstebních substrátech a zeminách. Separát obsahuje tuhou nerozloženou frakci organických látek vláknité povahy, které následně v půdě podléhají intenzivní mineralizaci. Svou strukturou ovšem ovlivňuje fyzikální vlastnosti substrátu a je významným zdrojem živin, jak uvádí Pawlica (2010).

U makroživin byl u separátu nejvyšší obsah draslíku, a to přibližně 13 000 mg/kg, což jsou vyšší hodnoty, než uvádí McEniry *et al.* (2011), kteří naměřili hodnoty v rozmezí 7 321 – 9 734 mg/kg. Z těchto výsledků vyplývá, že separát obsahuje velice významné množství této makroživiny a je tak možné jej využít např. pro přípravu pěstebních substrátů, pro kompostování nebo aplikovat na ornou půdu jako kvalitní hnojivo. Eventuálně pro jeho další využití, které prozatím není odzkoušeno.

Ve vzorcích fugátu jsme zjistili průměrnou hodnotu draslíku v sušině kolem 58 000 mg/kg. Při takto vysokých koncentracích lze považovat významnou hodnotu draslíku fugátu u Gong *et al.* (2010), kteří zjistili také vysoké hodnoty v sušině 41 382 – 45 829 mg/kg. Z těchto průměrných hodnot jednoznačně vyplývá, že fugát je cennou surovinou bohatou na draslík a lze tedy předpokládat, že jeho další modifikací je možné získat kapalinu bohatou na vysoké koncentrace draslíku.

Vyšší hodnoty obsahu makroživiny jsme zjistili také u hořčíku ve vzorcích separátu (5 500 mg/kg), kde byly hodnoty shodné, jak udává McEniry *et al.* (2011), kteří naměřili hodnoty v rozmezí 3 251 – 5 821 mg/kg, podobně tomu bylo ve vzorcích fugátu.

Síra a fosfor jsou hojně zastoupeny v separátu a fugátu a stejně tak to udávají studie McEniry *et al.* (2011) a Gong *et al.* (2010).

V rámci rozsahu této diplomové práce porovnávám z mikroživin nejvyšší obsah železa a zinku. Naměřené hodnoty železa u separátu se pohybovaly kolem 1 700 mg/kg a u zinku 170 mg/kg. Ve vzorcích fugátu byly zaznamenány hodnoty opět vyšší než u separátu. Hodnota železa se pohybovala okolo 2 500 mg/kg, u zinku 450 mg/kg. Tyto živiny jsou v surovinách separátu a fugátu obsaženy ve vyšších hladinách, stejně jak uvádí Andruschkewitsch *et al.* (2013) a Lansche *et Müller* (2012).

Rizikové prvky dle vyhlášky 474/2000 Sb. nepřesahovaly dané limity a splňovaly podmínky, za kterých lze tyto suroviny využívat jako hnojivo. Obsah kadmia v sušině se ve vzorcích separátu pohyboval kolem 0,1 mg/kg, u obsahu olova v sušině ve vzorcích separátu byla zjištěna průměrná hodnota 1,1 mg/kg. Ve vzorcích fugátu byly zjištěné hodnoty téměř identické. Obsah kadmia ve vzorcích fugátu v sušině byl zjištěn v průměru 0,2 mg/kg. Obsah

olova byl zjištěn ve vzorcích fugátu 1,6 mg/kg. Takto zjištěné nízké hladiny neovlivňují riziko aplikace separátu a fugátu na ornou půdu.

V rámci laboratorní metody modifikace vzorků fugátu filtrací jsme zjistili, že z makroživin obsahoval modifikovaný fugát vysoký obsah draslíku, z dalších makroživin byly zjištěny vysoké hladiny u hořčíku a síry. Z hodnocení obsahů mikroživin a rizikových prvků jsme dospěli k závěru, že ve vzorcích modifikovaného fugátu byly obsahy zanedbatelné.

V rámci metody filtrace fugátu jsme použili prostou filtraci, jak uvádí Wagner *et al.* (2002). Autor popisuje, že se jedná o filtraci za atmosférického tlaku, kde se využívá filtrační papír, který se vloží do filtrační nálevky s dlouhým stonkem. Používá se hladká nebo žebrovaná nálevka, která se umístí do filtračního kruhu tak, aby se stonek dotýkal stěny nádoby na zachycení zfiltrovaného vzorku. Velikost filtru se přizpůsobí velikosti nálevky. Náš experiment probíhal identickým způsobem.

Po úpravě fugátu metodou filtrace jsme získali neředěné vzorky opticky tmavé barvy, ale dle našich výsledků lze předpokládat, že námi vzniklý neředěný zfiltrovaný vzorek lze aplikovat do kapkových závlah, kterou popisuje Lodyha (2008). Jeho metoda je založena na principu pomalém přivádění živin k rostlinám, resp. k jejich kořenovému systému ve velmi malých dávkách.

Další alternativou využití fugátu je koncentrace s jinými druhy kapalných hnojiv pro efektivní využití, jak popisuje Vrba *et Huleš* (2007). Například u Huminosilikátu PK, který se získává směsí z kyseliny fosforečné, nebo hydroxidu draselného, křemičitanu sodného a humusového koncentrátu. Určitou koncentrací fugátu můžeme nahradit některé složky a získat tak kvalitnější hnojivo bohatší na draslík.

Vlastní mechanická separace v bioplynové stanici Krásná Hora nad Vltavou je obdobně využívána v bioplynové stanici, jak uvádí Mihlbachler *et al.* (2004). Jedná se o válcový separátor, který je určen k odlučování pevných částic ze suspenzí. Uplatnění nachází v různých výrobních procesech, zejména v potravinářském průmyslu, při čištění průmyslových a komunálních odpadních vod. Může být také součástí technologických linek, což využití v bioplynové stanici Krásná Hora nad Vltavou potvrzuje. Další vhodnou alternativou možností separace mohou být šnekové separátory, které je možno také využívat v bioplynových stanicích, jak uvádí Lorenz *et Seidel-Morgenstern* (2014). Lopes *et Keshavarz-Moore* (2012) popisuje metodu odstředování, která je velmi účinnou separační metodou. Bohužel při procesu separace fugátu se neprokázalo jako efektivní.

Z vlastního názoru vyplývá, že po separaci nevzniká kapalina, ale vzniká až teprve po modifikaci fugátu, což dokazují naše výsledky zjištěné laboratorní filtrací fugátu.

7 Závěr

Cílem experimentální části diplomové práce bylo zhodnocení fyzikálních a chemických vlastností výstupních surovin bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s. a na základě vyhodnocení prvního cíle bylo druhým cílem vyhodnocení chemických vlastností fugátu, který byl modifikován metodou laboratorní filtrací.

Z výsledků zhodnocení analýz fyzikálních a chemických vlastností výstupních surovin separátu a fugátu bioplynových stanic bylo zjištěno, že obsah jednotlivých živin byl vyšší u fugátu. V rámci pokusu bylo prokázáno, že se hladiny obsahu makroživin, mikroživin a rizikových prvků během jednotlivých sledovaných období výrazně nelišily u všech odběrů. Rozdíl byl patrný pouze u železa, kde došlo k výraznému nárůstu obsahu mezi 1. až 4. odběrem, ale také u kadmia ve 2. odběru, kde byl výrazně nižší obsah oproti dalším odběrům.

Průměrný obsah živin ve sledovaných obdobích v separátu u draslíku byl 13 000 mg/kg a u fugátu 58 000 mg/kg. Další významné obsahy byly zjištěny u hořčíku, u něhož se průměrná hodnota ve vzorcích separátu pohybovala kolem 5 500 mg/kg a ve vzorcích fugátu 10 500 mg/kg. Z makroživin byl vysoký obsah zjištěn také u síry, kde se hodnota ve vzorcích separátu pohybovala okolo 5 500 mg/kg a u fugátu 7 500 mg/kg. Z makroživin byl zjištěn také vysoký obsah fosforu. Hodnota separátu dosahovala přibližně 5 500 mg/kg a u fugátu byla téměř o polovinu vyšší, a to 12 000 mg/kg. Vyhodnocení obsahu makroživin potvrdily předpoklad, že separát i fugát jsou bohatým zdrojem P, K, Mg a S.

Z výsledků vyhodnocení chemických vlastností fugátu, který byl modifikován laboratorní filtrací, jsme nezjistili, že by se hodnoty chemických vlastností mezi 1. až 6. odběrem výrazně lišily, ale rozdíly byly patrné při úpravě filtrací mezi neředěným a ředěným vzorkem. Vzhledem k tomu, že ředěný vzorek byl upraven v poměru 1:1 s demineralizovanou vodou, tudíž podle očekávání byly hodnoty u neředěného vzorku přibližně o polovinu vyšší, než u ředěného.

Nejvyšší naměřené hodnoty obsahů byly zjištěny u draslíku u fugátu, a to u neředěného vzorku, kde se hodnoty pohybovaly v rozmezí 2 200 – 2 800 mg/L, u ředěného vzorku jsme naměřili hodnoty přibližně 1 100 – 1 400 mg/L.

Z dosavadních výsledků modifikace laboratorní filtrací jsme získali vzorky čiré kapaliny opticky tmavého zbarvení.

Celkově lze konstatovat, že fugát pro jeho efektivní využití jako kapalného hnojiva, je možné modifikovat filtrací a že vzniklé zfiltrované neředěné vzorky jsou bohatým zdrojem draslíku.

V rámci literární rešerše bylo zjištěno, že lze fugát využít i pro jiné účely, a to třeba pro kapkovou závlahu.

8 Seznam použité literatury

- Andruschkewitsch, M., Wachendorf, C., Wachendorf, M.** 2013. Effects of digestates from different biogas production systems on above and belowground grass growth and the nitrogen status of the plant-soil-system. *Grassland Science*. University of Kassel. Department of Soil Biology and Plant Nutrition. Germany. p.183–195.
- Appels, L., Harold L.** 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy. Combustion Science*. Katholieke Universiteit Leuven. Associated Faculty of Technology and Biosciences. Belgium. p. 755–781.
- Augis, N., Hus, P., Thivel, P.-X., Viau, J.-Y.** 2005. Décantation assistée par ultrasons des eaux résiduaires. *Laboratoire de ThermoPhysique de la Matière Condensée. Groupe de Recherche sur l'Environnement et la Chimie Atmosphérique*. France. p. 774–779.
- Auterská, P.** Problematika zápachu na bioplynových stanicích. *Biom.cz* [online]. 2010. [cit. 2013-10-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-stanicich>>.
- Bačík, O.** Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. *Biom.cz* [online]. 2008. [cit. 2009-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/czbioplyn/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>.
- Bonetta, S., Ferretti, E., Bonetta, S., Fezia, G., Carraro, E.** 2011. Microbiological contamination of digested products from anaerobic co-digestion of bovine manure and agricultural by-products. *Letters in Applied Microbiology*. Department of Environmental and Life Science. University of Piemonte Orientale. Italy. p. 552–557.
- Carter, M. S., Hauggaard-Nielsen, H., Heiske, S., Jensen, M., Thomsen, S. T., Schmidt, J. E., Johansen, A., Ambus, P.** 2012. Consequences of field N₂O emissions for the environmental sustainability of plant-based biofuels produced within an organic farming system. *GCB Bioenergy*. Technical University of Denmark. National Environmental Research Institute. Denmark. p. 435–452.

- Dostál, J., Richter, R.** 2008. Porovnání kvality kejdy s digestátem z bioplynových stanic a jejich využití ke hnojení zemědělských plodin. In: Sborník ze semináře „Kukuřice v praxi 2008“. 35-46 s. ISBN 9788073751357.
- Dostál, R., Dykyjová, D.** 1962. Zemědělská botanika II: Fyziologie rostlin. Praha. 1962. 134-135 s.
- Dubský, M., Kaplan, L.** 2012. Substráty a zeminy s komposty a separovaným digestátem. Zahradnictví. 11 (8). 62 – 65 s.
- Dvořáček, T.** Základní problémy přípravy a provozu bioplynových stanic v České republice. Biom.cz [online]. 2008. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zakladni-problemy-pripravy-a-provozu-bioplynovych-panic-v-ceske-republice>>.
- Dvořáček, T., Rosenberg, T., Tluka, P., Habart, J.** 2009. Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO. SFTP ČR. Praha. 36 s.
- Gerardi, M. H.** 2003. The Microbiology of Anaerobic Digesters. Wastewater Microbiology Series. A John Wiley & Sons. Inc. Publication. New Jersey. p. 5 – 8. ISBN: 0471206938.
- Gerhardt, M., Pelenc, V., Baumel, M.** 2007. Application of hydrolytic enzymes in the agricultural biogas production: Results from practical applications in Germany. Biotechnology Journal. Burglengenfeld. Germany. p. 1481 – 1484.
- Gong, W., Li, W., Liang, H.** 2010. Application of A/O-MBR for treatment of digestate from anaerobic digestion of cow manure. J. Chem. Technol. Biotechnol. Northeast Agriculture University. School of Engineering. Nangang District. China. p. 1334–1339.

- Hahn**, H. 2011. Examples for financing of biogas projects in Germany, Austria, The Netherlands, Denmark and Italy. In Mezinárodní konference Bioplyn 2011. České Budějovice: GAS Info. 2011. Přednáška č. 5.
- Henze**, M., Harremoës, N. 1983. Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors. Water Science & Technology. Department of Environmental Engineering. Technical University of Denmark. Denmark. p. 1-101.
- Hutla**, P. 2006. Energetické využití odpadů z agrárního sektoru ve formě standardizovaných paliv. Výzkumná zpráva Z-2472. VÚZT v.v.i. Praha. ISBN: 9788086884240.
- Kajan** M. 2006. Možnosti zvýšení výroby bioplynu na stávajících zařízeních. Třeboň.
- Kajan**, M., Klír, J., Budňáková, M., Večeřová, V., Babička, L., Diviš, J., Matějů, L. 2010. Digestát a jeho využití, využití vedlejších produktů. Strategická výzkumná agenda oboru bioplyn. GBA, Praha. 106 – 118 s.
- Kára**, J., Pastorek, Z., Příbyl E. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. 120 s. ISBN: 9788086884288.
- Karafiát**, Z., Vítěz, T., Pospíšil, L. Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci – šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO). Biom.cz [online]. 2009. [cit. 2014-02-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticke-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych-odpadu-bro>>.
- Kasal**, P., Čepl, J., Vokál, B. 2010. Hnojení brambor. Výzkumný ústav bramborářský. Havlíčkův Brod. 23 s. ISBN: 9788086940243.
- Kolář**, L., Vaněk, V., Kužel, S. Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv - sborník z konference. Biom.cz [online]. 2010. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-bioplynovych-stanic>>.

- Kratochvílová, Z., Habart, J., Sladký, V., Jelínek, F., Rosenberg, T., Stupavský, V., Dvořáček, T.** 2009. Průvodce výrobou a využitím bioplynu. CZ Biom. Praha. 157 s.
- Lansche, J., Müller, J.** 2012. Life cycle assessment of energy generation of biogas fed combined heat and power plants: Environmental impact of different agricultural substrates. Eng. Life Sci. Universität Hohenheim. Institute of Agricultural Engineering. Germany. p. 313–320.
- Larour, P., Verleysen, P., Dahmen, K., Bleck, W.** 2013. Strain Rate Sensitivity of Pre-Strained. Metastable Austenitic Stainless Steel. Ghent University. Faculty of Engineering. Germany. p. 72–88.
- Li, H., Lindmark, J., Nordlander, E., Thorin, E., Dahlquist, E., Zhao, L.** 2013. Using the Solid Digestate from a Wet Anaerobic Digestion Process as an Energy Resource. Energy Technology. p. 94–101.
- Lodyha, Z.** Kapkové zavlažování [online]. 2008. [cit. 2008-05-15]. Dostupné z <<http://www.zahradni-technika/55-kapkove-zavlazovani/>>.
- Lopes, A., Keshavarz-Moore, E.** 2012. Prediction and verification of centrifugal dewatering of *P. pastoris* fermentation cultures using an ultra scale-down approach. Biotechnol. Engineering, University College London. The Advanced Centre of Biochemical Engineering. London. p. 2039–2047.
- Lorenz, H., Seidel-Morgenstern, A.** 2014. Verfahren zur Enantiomerentrennung. Angew. Chem. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Institut für Verfahrenstechnik. Germany. p. 1240–1274.
- Malat'ák, J., Vaculík, P.** 2008. Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství, zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Vyd. 1 Praha. Česká zemědělská univerzita v Praze. 168 s. ISBN 9788021317475.

- Marada, P.,** Večeřová, V., Kamarád, L., Dundálková, P. Mareček, J. Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem [online]. 2008. [cit. 31.3. 2013]. Dostupné z <http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf>.
- McEniry, J.,** O'Kiely, P., Crosson, P., Groom, E., Murphy, J. D. 2011. The effect of feedstock cost on biofuel cost as exemplified by biomethane production from grass silage. *Biofuels. Bioprod. Bioref.* Queen's University of Belfast. School of Chemistry and Chemical Engineering. Northern Ireland p. 670–682.
- Mihlbachler, K.,** Seidel-Morgenstern, A., Guiochon, G. 2004. Detailed study of Tröger's base separation by SMB process. *AIChE J.* Guericke University, Magdeburg. Dept. of Chemical Engineering. Germany. p. 611–624.
- Möller, K.,** Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth. A review *Eng. Life Sci.* Universität Hohenheim. Institute of Crop Science. Germany. p. 242–257.
- Monnet, F.** 2003. An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes. Final Report. Scotland. p. 48.
- Neubauer, K.** 1989. *Stroje pro rostlinnou výrobu.* SZN. Praha. 716 s. ISBN 8020900756.
- Pastorek, Z.,** Kára, J., Jevič, P. 2004. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie.* FCC Public. Praha. 286 s. ISBN 808653-065.
- Pastorek, Z.,** Wolff, J. 1992. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství.* Praha. 31 s.
- Pawlica, P.** Sušení odpadním teplem z bioplynové stanice. *Biom.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-12-13]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynovy-stance>>.
- Petr, M.** 2005. *Bioplyn - energie ze zemědělství.* ÚZPI. Praha. 22 s.

- Quashning**, V. 2010. Obnovitelné zdroje energií. Grada Publishing a.s. Praha. 296 s. ISBN 9788024732503.
- Richter**, F., Fricke, T., Wachendorf, M. 2010. Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. III. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on solid fuel properties and on energy and greenhouse gas balances. Grass and Forage Science. University of Kassel. Department of Grassland Science and Renewable Plant Resources. Germany p. 185–199.
- Roschke**, M. 2003. Verwertung der Faulsubstrate. Biogas in der Landwirtschaft-Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Germany. p. 29-33.
- Seadi** T. A. 2008. Biogas handbook. Syddansk Universitet. Denmark.
- Schievano**, F. Adani, F. Tambone, G. D'Imporzano, B. Scaglia, P. 2009. Anaerobic Digestion: opportunity for agriculture and environment. Regione Lombardia. Italy. p. 577 – 583. ISBN 9788890374609.
- Schön**, M. 2010. Numerical Modelling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants. 1th edition. Innsbruck. Vice-Rectorate for Research. Austria. 140 s. ISBN: 9783902719614.
- Schulz** H., Eder B. 2004. Bioplyn v praxi. HEL. Ostrava. 167s. ISBN 8086167216.
- Sladký**, V. Zajímavá provedení bioplynových stanic v zahraničí [online]. České sdružení pro biomasu. 2009 [cit. 2010-03-08]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborneclanky/zajimava-provedeni-bioplynovych-stanic-v-zahranici>>.
- Stehlík**, K. 1988. Závlahové využití odpadních vod IV. Tekutá statková hnojiva a zemědělské odpadní vody. Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR. 438 s.

- Straka**, F., Ciahotný, K. 2010. Bioplyn - příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS. Praha. p. 305. ISBN: 9788073282356.
- Straka**, F., Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Dědek J., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Kunčarová, M. 2006. Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS. Praha. 706 s. ISBN 8073280906.
- Straka**, F., Kratochvílová, Z., Habart, J., Sladký, V., Jelínek, F., Rosenberg, T., Stupavský, V., Dvořáček, T. 2009. Průvodce výrobou a využitím bioplynu. Česká republika.
- Strathmann**, H. 2005. Membranes and Membrane Separation Processes. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Universität Stuttgart. Institut für chemische Verfahrenstechnik. Germany. p. 16 – 187.
- Száková**, J., Tlustoš, P., Kolihová, D. 2005. Použití instrumentálních analytických technik pro stanovení rizikových prvků v zemědělských materiálech. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 47 s. ISBN 8021314079.
- Šafařík**, M. Bioplynové stanice – podmínky a možnosti využití tepla. Biom.cz [online]. 2012-03-13 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla>>.
- Škvoran**, O., Holba, M., Plotěný K. 2012. Suchou, nebo mokrou fermentaci?. Odpady. Praha. 19 s.
- Tlustoš**, P., Kaplan, L., Száková, J., Dubský, M., Roubíková, I., Šrámek, F. 2013. Využití pevné složky digestátu pro přípravu pěstebních substrátů. PowerPrint s.r.o. Praha. 20 s. ISBN: 9788021324305
- Tlustoš**, P., Pavlíková, D., Balík, J. 2006. Mechanismus příjmu rizikových prvků rostlinami a jejich hromadění v biomase. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 37 s.

- Traykovski, P.** 2007. Observations of wave orbital scale ripples and a nonequilibrium time-dependent model. Applied Ocean Physics and Engineering Department. Woods Hole. Woods Hole Oceanographic Institution. USA. p. 112.
- Uggetti, E., Sialve, B., Trably, E., Steyer, J. - P.** 2014. Integrating microalgae production with anaerobic digestion: a biorefinery approach. Biofuels. Bioprod. Bioref. Narbonne. Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement. France. p. 1469.
- Ust'ak, S., Váňa, J.** 2006. Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. 2. vyd. CZ – Biom ve spolupráci s Výzkumným ústavem rostlinné výroby. Praha. 180 s. ISBN 809037770X.
- Váňa, J.** Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Biom.cz. [online]. 2010. [cit. 2012-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stance-na-vyuziti-bioodpadu>>.
- Váňa, J.** 2009. Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Bioodpad-Bioplyn-Energie. České ekologické manažerské centrum. Praha 2009.
- Vrba, V., Huleš, L.** Humus - půda - rostlina (15) Minerální hnojiva. Biom.cz [online]. 2007. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-15-mineralni-hnojiva>>.
- Vyhlaška** Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva [online]. 2009. [cit. 2013-10-25]. Dostupné z: <<http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100050345.html>>.
- Wagner, T., Bundschuh, T., Schick, R., Schwartz, T., Köster, R.** 2002. Investigation of Colloidal Water Content with Laser-induced Breakdown Detection during Drinking Water Purification. Water Technology and Geotechnology. Forschungszentrum. Institute for Technical Chemistry. p. 266–274.
- Žalmanová, A.** 2010. Digestát jako hnojivo, nebo odpad?. Zemědělec. 42. 21 s.

Žídková, P. 2007. Oznámení záměru - bioplynová stanice Olešnice. Opava. 55 s.

.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

BPS – Bioplynová stanice

ZD – Zemědělské družstvo

Kr. H. – Krásná Hora nad Vltavou

a.s. – akciová společnost

FAO – Organizace pro výživu v zemědělství

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

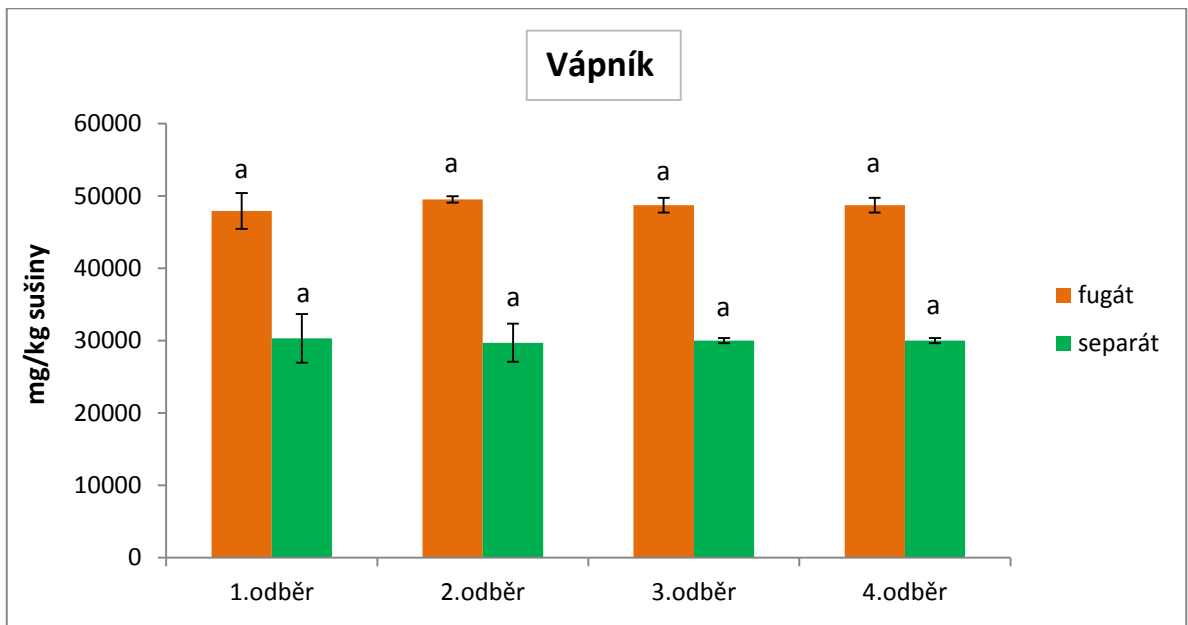
LCA – Posuzování životního cyklu

IPPC – Integrovaná prevence před znečištěním ovzduší a registraci znečišťovatelů

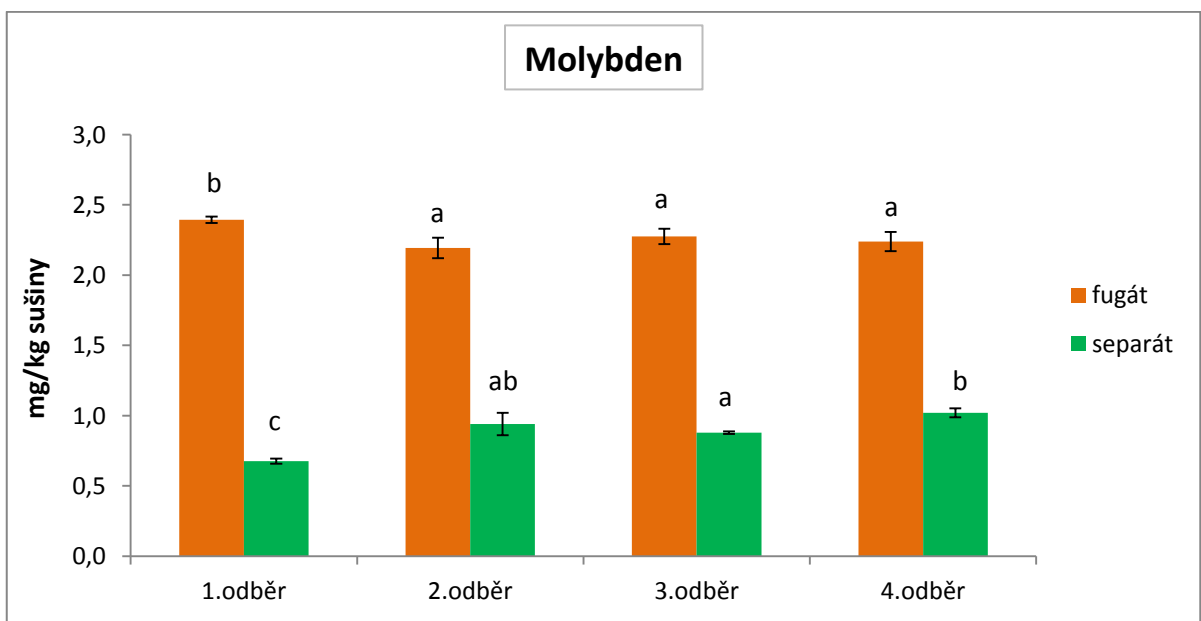
10 Samostatné přílohy

10.1 Grafy

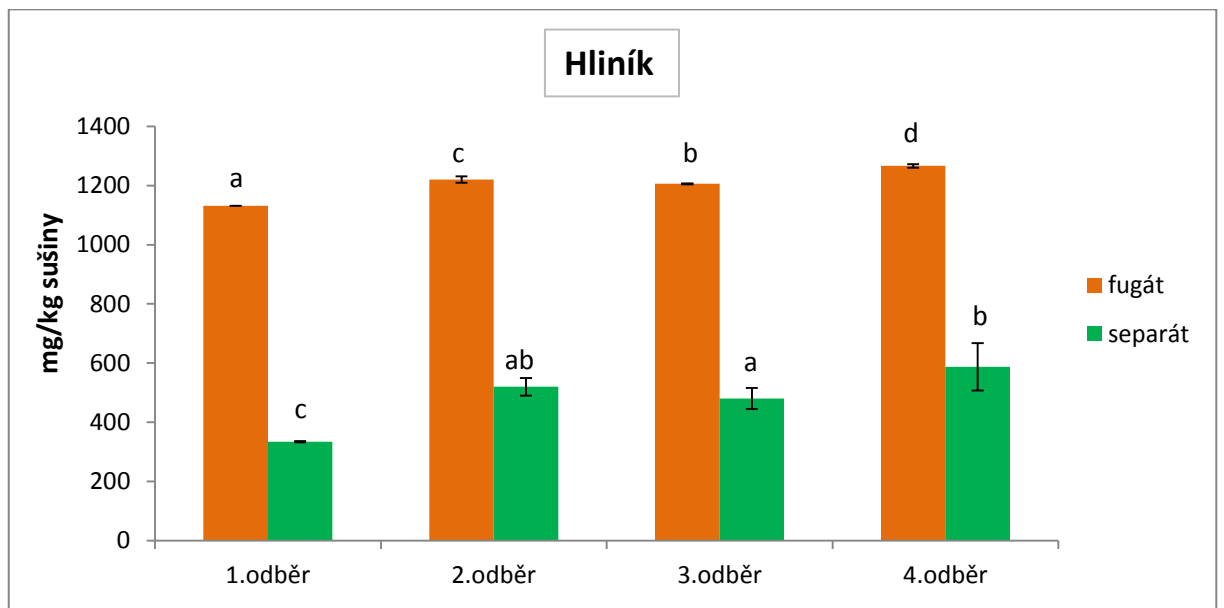
Graf 1 Obsah vápníku výstupních surovin BPS Kr. H.



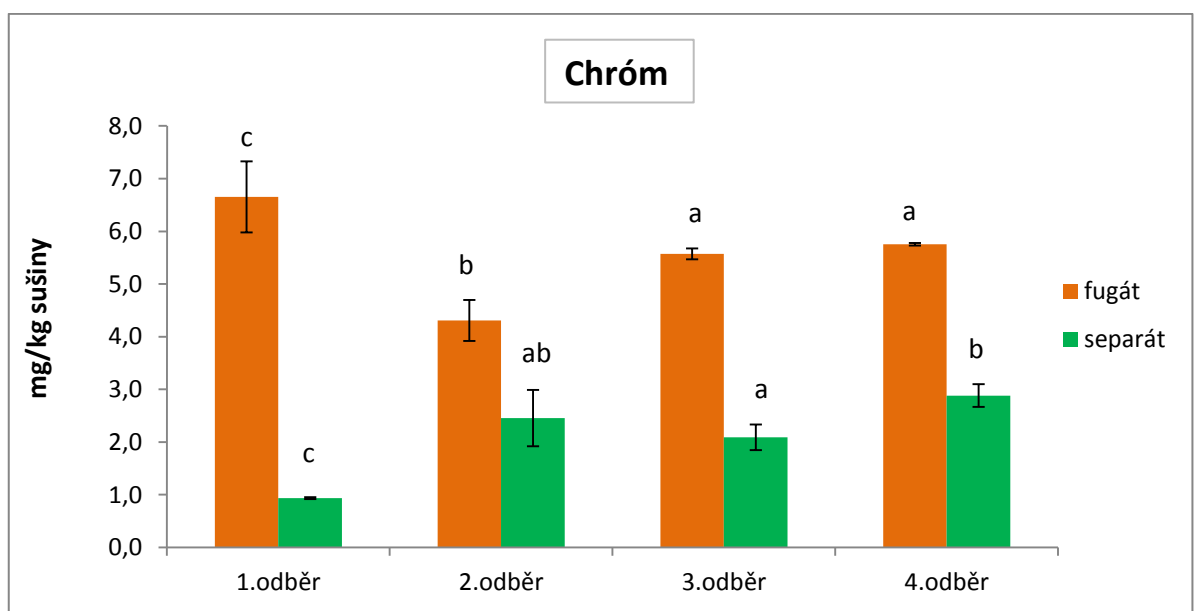
Graf 2 Obsah molybdenu výstupních surovin BPS Kr. H.



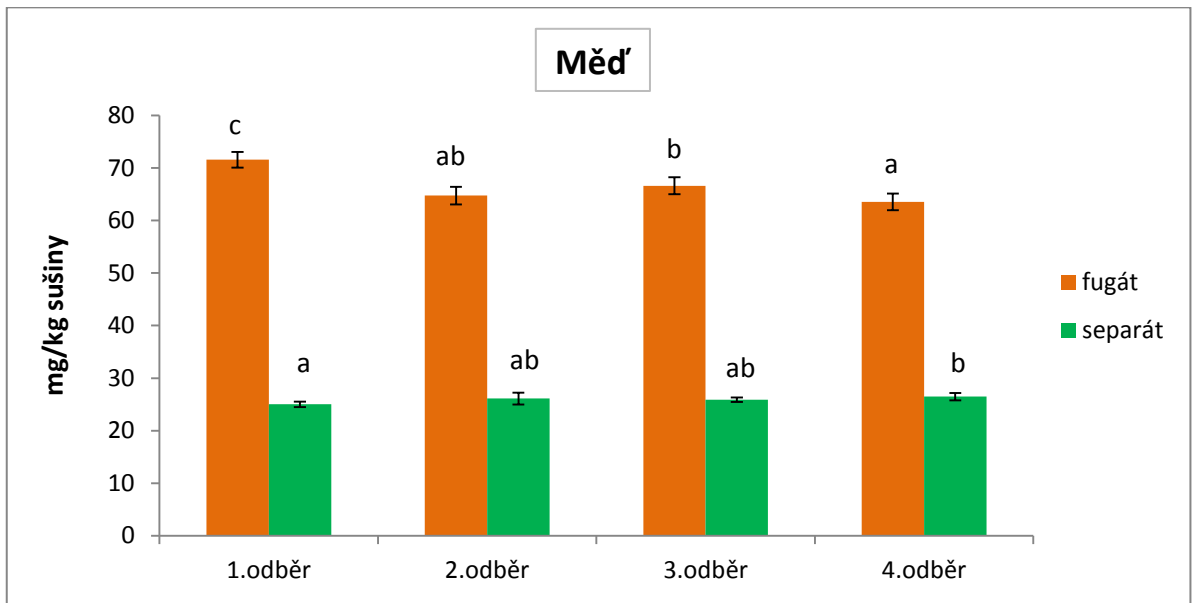
Graf 3 Obsah hliníku výstupních surovin BPS Kr. H.



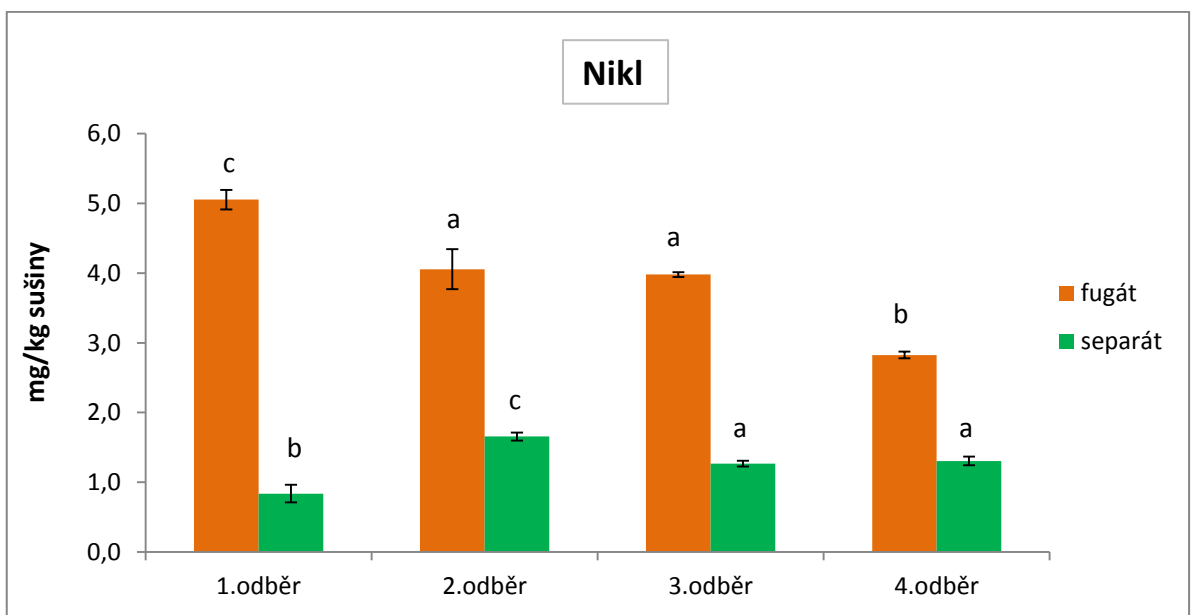
Graf 4 Obsah chromu výstupních surovin BPS Kr. H.



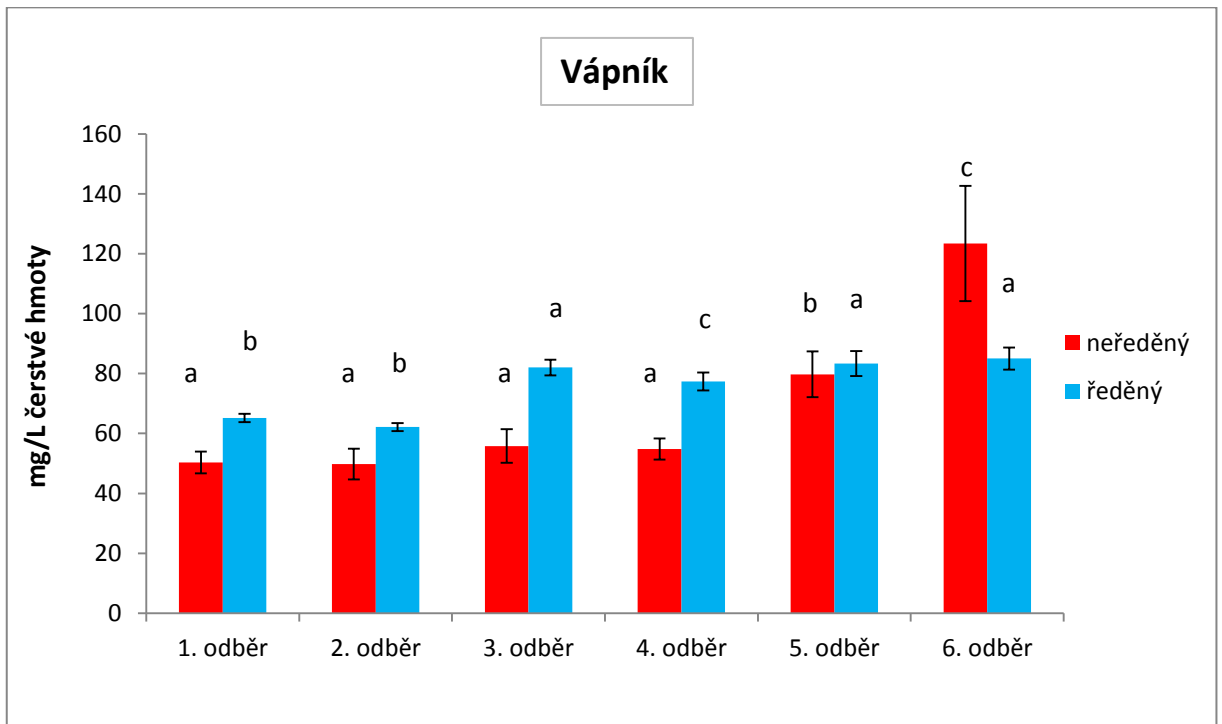
Graf 5 Obsah mědi výstupních surovin BPS Kr. H.



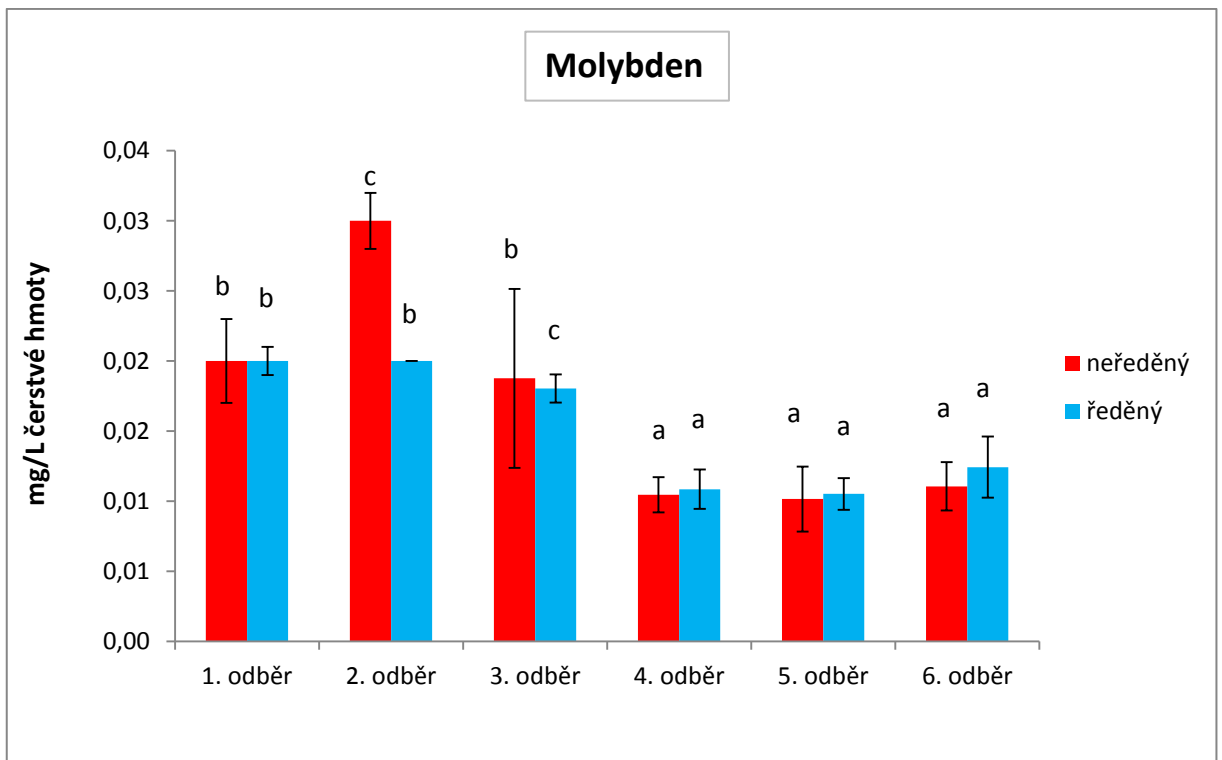
Graf 6 Obsah niklu výstupních surovin BPS Kr. H.



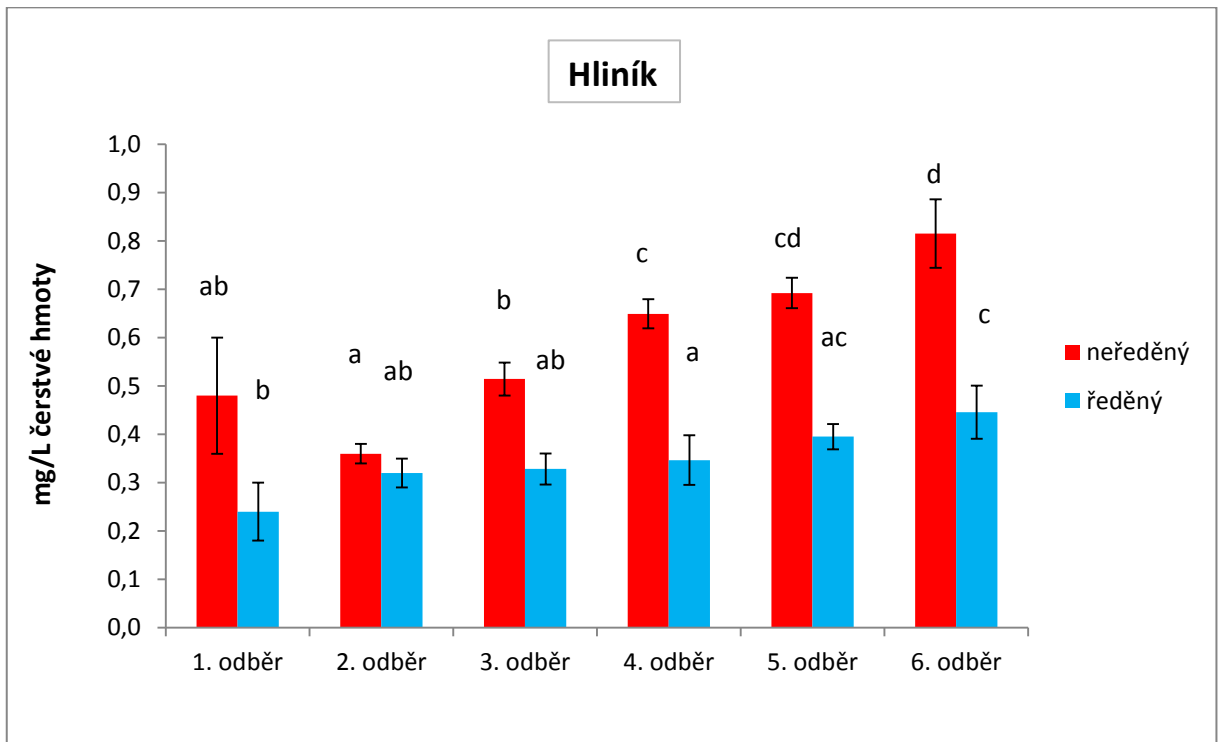
Graf 7 Obsah vápníku v modifikovaném fugátu



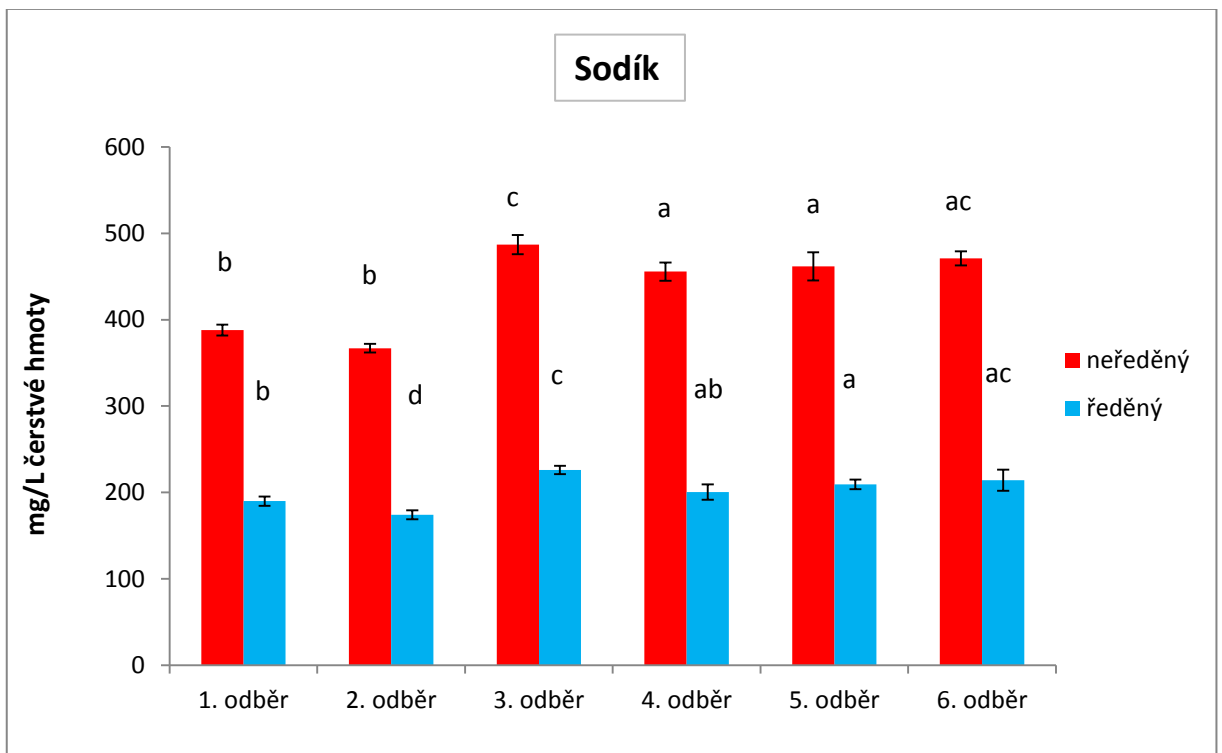
Graf 8 Obsah molybdenu v modifikovaném fugátu



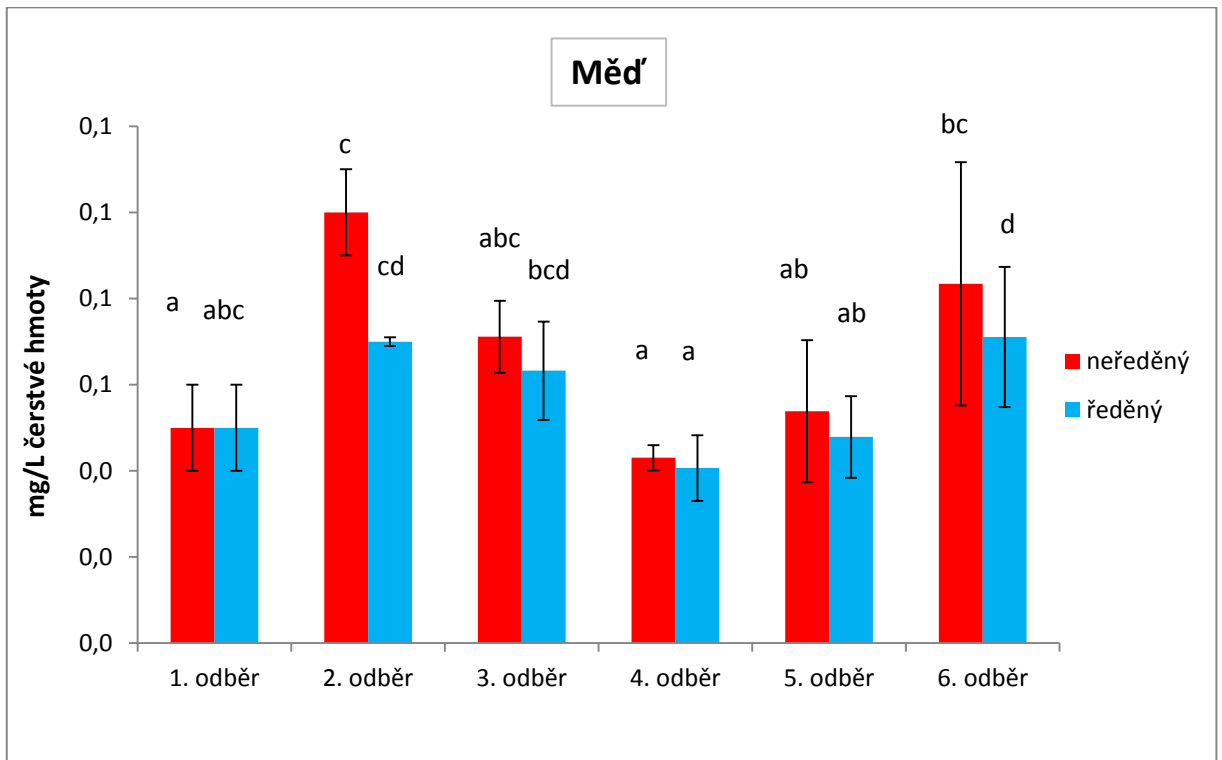
Graf 9 Obsah hliníku v modifikovaném fugátu



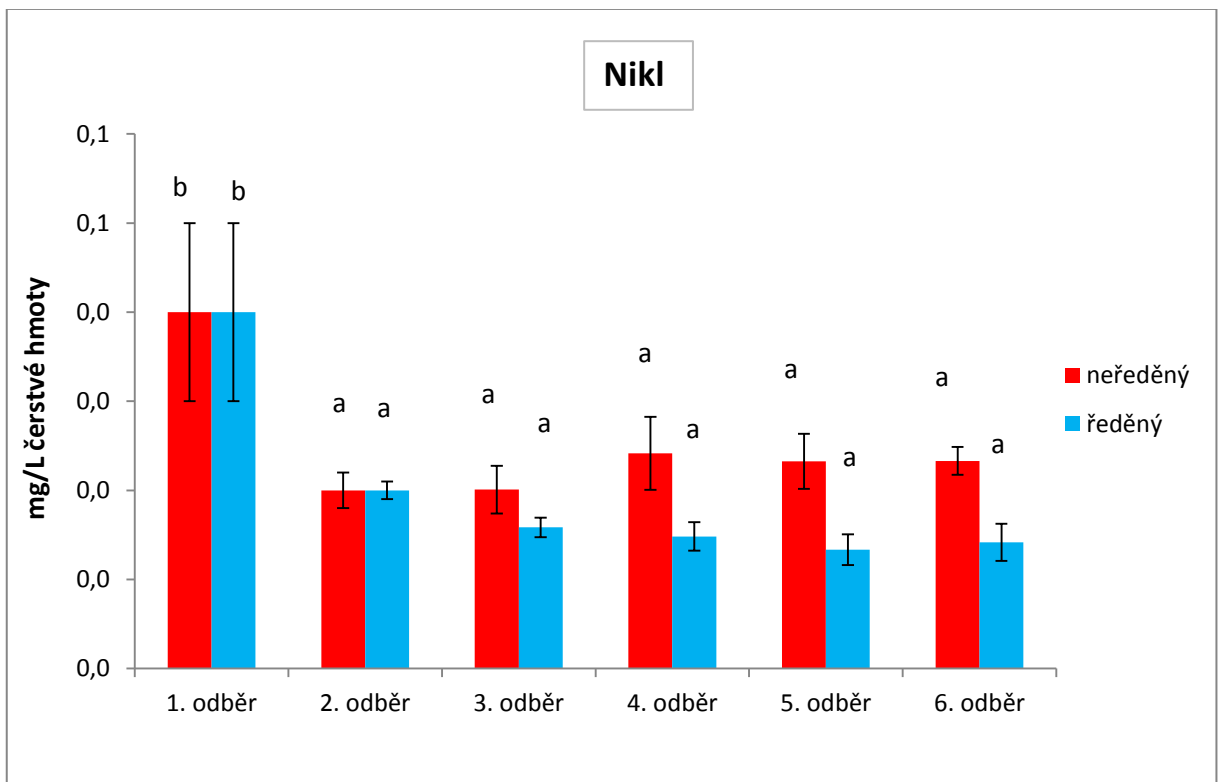
Graf 10 Obsah sodíku v modifikovaném fugátu



Graf 11 Obsah mědi v modifikovaném fugátu



Graf 12 Obsah niklu v modifikovaném fugátu



10.2 Obrázky

Obrázek 1 Kogenerační jednotka



Obrázek 2 Válcový separátor



Obrázek 3 Hlavní fermentátor



Obrázek 4 Zásobník se separátorem



Obrázek 5 Provozní budova



Obrázek 6 Dávkování substrátu



Obrázek 7 Plynojem



Obrázek 8 Technické řešení úpravy fugátu laboratorní filtrací



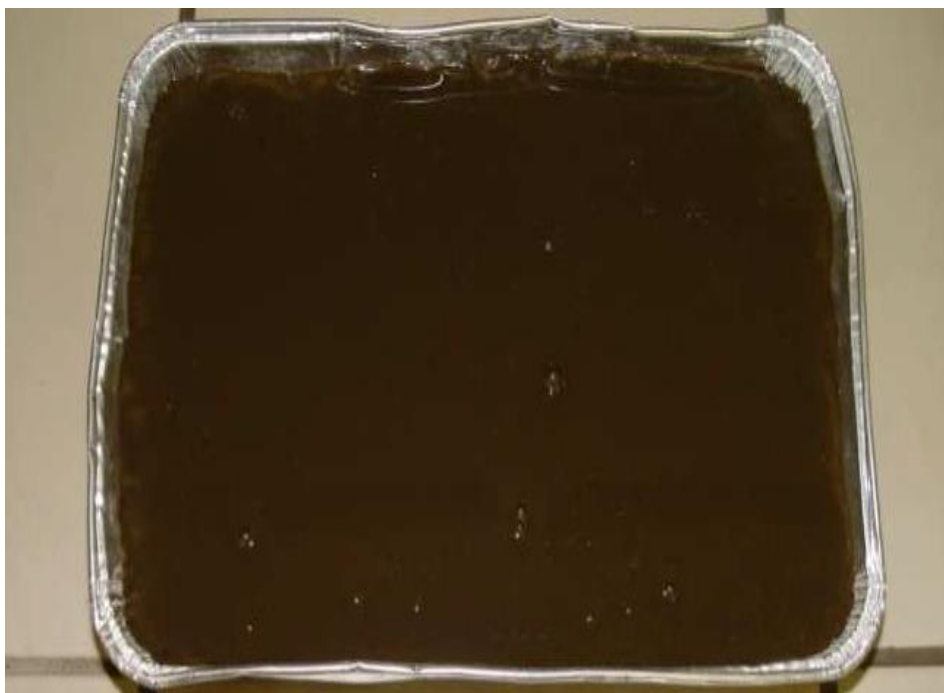
Obrázek 9 Detailní řešení úpravy fugátu laboratorní filtrací



Obrázek 10 Separát Kr. H. (čerstvá hmota)



Obrázek 11 Fugát Kr. H. (čerstvá hmota)



Obrázek 12 Optické srovnání modifikovaného vzorku

