

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy  
rostlin**



**Využití separátu z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou jako hnojiva pro jarní pšenici**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Václav Krajíček**

**Vedoucí práce: Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Využití separátu z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou jako hnojiva pro jarní pšenici“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne : 11.4. 2013

Podpis

---

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinovi Kulhánkovi, Ph.D. za odborné a věcné rady a připomínky.

## **Využití separátu z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou jako hnojiva pro jarní pšenici**

---

### **Using of separated digestate from the biogas station Krásná nad Vltavou to the spring wheat fertilizing**

#### **Souhrn**

Separovaný digestát je odpadem z bioplynových stanic, jejichž množství v ČR i v zahraničí stále narůstá. Vzhledem k jeho vysokému obsahu živin, zejména dusíku a draslíku se jako výhodná alternativa jeví jeho použití ke hnojení. Cílem pokusu bylo tedy testování separovaného digestátu jako hnojiva pro jarní pšenici.

Byl založen maloparcelkový pokus se čtyřmi variantami hnojení. Oproti kontrolní nehnojené variantě byly testovány 10, 20 a 40 t/ha separovaného digestátu. Půdní vzorky odebrané před založením a po skončení pokusu byly analyzovány na obsahy přístupného N, P, K, Ca a Mg (Mehlich 3, vodný výluh, výluh 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>); celkový obsah organického uhlíku a hodnotu pH. Ve sklizeném zrna rostlin byl rovněž analyzován celkový obsah všech makroprvků (N, P, K, Ca, Mg a S). Dále byly hodnoceny výnosy a počet rostlin na m<sup>2</sup>.

Ze vstupních rozborů půdy je zřejmé, že se jednalo o pozemek vhodný k založení pokusu. V obsahu přístupných živin, obsahu organického uhlíku a hodnotě pH ve vzorcích odebraných po sklizních pokusů se zpravidla nevyskytovaly průkazné rozdíly mezi sledovanými variantami hnojení. Pouze v případě vápníku byly zjištěny průkazně vyšší hodnoty ve variantách hnojených 10 a 40 t/ha digestátu ve srovnání s nehnojenou kontrolou. Ve vodném výluhu byly zjištěny podobné tendence ve změnách obsahu prvků jako ve výluhu Mehlich 3. Hodnoty ve vodném výluhu ale byly přibližně 10x nižší. Mezi obsahy N, Mg a S v zrna pšenice se rovněž nevyskytly statisticky průkazné rozdíly. Obsahy P, K a Ca byly průkazně vyšší u varianty hnojené 10 t/ha digestátu. Toto zvýšení však bylo pravděpodobně způsobeno nejen vlivem digestátu, ale i dalšími faktory. Rovněž mezi výnosy zrna a počtem klasů nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl, s přidavkem digestátu se však výnos i počet klasů zvyšoval.

**Klíčová slova:** separovaný digestát, půda, rostliny, makroprvky, pšenice jarní

## Summary

Separated digestate is waste from the increasing number of biogas plants in the Czech Republic. Due to its high nutrient content, especially nitrogen and potassium, it can be used as an alternative to agricultural fertilisers. The aim of this thesis was the testing of separated digestate as a winter wheat fertiliser.

The small-plot field experiment with four fertilising treatments was established. Compared to the control treatment, the doses of 10, 20 and 40 t/ha of separated digestate were tested.

Soil samples were taken up before establishing and after the harvest of experiment. The contents of bioavailable N, P, K, Ca and Mg (Mehlich 3, water extract, 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub> extract); total content of organic carbon and soil pH value were measured. The total contents of N, P, K, Ca, Mg and S were measured in the wheat grain. The grain yields and number of spikes per square meter were evaluated.

From the analysis of the soil samples taken up before experiment establishing is clear, that the data we get from different plots were comparable. Therefore the site was usable for the field experiment.

We usually did not found statistically significant differences in the bioavailable macronutrients and organic carbon content and soil pH value after harvest between the studied treatments. Only in the case of Calcium, significantly higher contents were found at the treatments fertilised using 10 and 40 t/ha of digestate compared to the non-fertilized treatment. The macronutrient contents estimated using Mehlich 3 method were usually 10 times higher compared to the water extract.

Statistically significant differences were not found between the total N, Mg and S content in the wheat grain. On the contrary, significantly higher P and K contents were found at the treatment fertilized using 10 t/ha digestate, but this difference was probably co-caused due to another factors.

Significant differences were not found between the grain yields and number of spikes per m<sup>2</sup>, but there are visible the increasing tendencies with increasing digestate rate.

**Key words:** separated digestate, macronutrients, pH, soil, spring wheat

## Obsah:

1.	Úvod.....	7
2.	Cíl práce.....	8
3.	Literární přehled.....	9
3.1.	bioplynové stanice.....	9
3.2.	Způsob zpracování materiálu.....	11
3.2.1.	Kompostování.....	12
3.2.2.	Anaerobní fermentace.....	13
4.	Možnosti hnojení jarní pšenice.....	19
5.	Metodika.....	23
5.1.	Charakteristika pozemku.....	23
5.2.	Analytická stanovení.....	24
6.	Výsledky.....	27
6.1.	Vstupní rozbory.....	27
6.2.	Rozbory půdních vzorků odebraných po sklizni pokusu.....	29
6.3.	Obsahy makroprvků v zrna, výnosové charakteristiky.....	32
7.	Diskuze.....	34
8.	Závěr.....	37
9.	Použitá literatura.....	39

# 1. Úvod

Bioplynové stanice (BPS) se stávají stále aktuálnějším tématem. Zemědělci si jejich prostřednictvím vylepšují ekonomickou situaci a to jak výrobou energie, tak využitím odpadů, které mohou být velice dobrým hnojivem. Bioplynové stanice nabízejí poměrně stálé množství odpadů, což může vést k vážným potížím při skladování a aplikaci odpadů z hlediska povolené sezónní aplikace a dávky N kg/ha. Podnik tedy musí být dobře připraven na problematiku s tím související. Pro výrobu bioplynu je třeba velké množství energeticky bohatého materiálu, čímž se nabízí možnost pěstování více energetických plodin, jako jsou kukuřice, čirok, žito apod. Odpady vznikající při fermentaci mají různé použití. Přestože biologický materiál ztratí fermentací velkou část lehce rozložitelné organické hmoty a živin, jedná se stále o potenciálně velmi dobré hnojivo. Různé typy digestátů mohou být využity nejen jako hnojivo, ale je možné je i sušit a spalovat, nebo použít znovu jako stelivo pro hospodářská zvířata.

Vzhledem k aktuálnosti tématu nejsou dlouhodobé účinky zcela známé v praxi, respektive ve velkoplošném hnojení zemědělských podniků.

Digestát použitý pro hnojení polního pokusu pochází z bioplynové stanice zemědělského družstva Krásná Hora nad Vltavou, která byla vystavěna roku 2008 o výkonu 526 kW. Podnik obhospodařuje celkem 4892 ha. Orná půda tvoří 67 % tedy 3269 ha. Zbýlých 1623 ha tvoří louky a pastviny. Zemědělské družstvo chová 3670 kusů skotu. Podnik vlastní typickou zemědělskou bioplynovou stanicí, jejíž digestát je svým složením podobný ostatním zemědělským BPS. Proto jeho testováním v polních podmínkách získáme pro praxi cenné obecně využitelné informace o jeho hnojivých vlastnostech.

## **2. Cíl práce**

Cílem práce je vyhodnocení vlivu aplikace různých dávek separovaného digestátu k jarní pšenici z hlediska změny obsahu přístupných makroprvků v půdě a změn celkového obsahu makroprvků v rostlině.

Nedílnou součástí práce bude rovněž vyhodnocení změny hodnot pH a obsahu oxidovatelného uhlíku v půdě a následně i změny produkčních ukazatelů (počet klasů, výnosy) v závislosti na hnojení.



### 3. Literární přehled

#### 3.1. bioplynové stanice

Přirozený proces rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu byl znám již ve středověku. První experimenty využití bioplynu ke svícení údajně prováděl Leonardo da Vinci a vlámský vědec Van Helmont. Za objevitele řízené anaerobní digesce je však považován italský fyzik A. Volta, který již v roce 1776 provozoval první laboratorní anaerobní fermentor. První využití bioplynu k ohřevu vody se uvádí na čistírně odpadních vod (ČOV) v nemocnici v Bombay v roce 1897 (VÁŇA, 2010).

Bioplynové stanice (BPS) jsou zařízení pro řízenou anaerobní fermentaci organických látek. Obecné rozdělení je podle zpracovávaného substrátu na:

- Zemědělské (statková hnojiva a zemědělská biomasa)
- Čistírenské kaly
- Ostatní – zpracovávající bioodpady a vedlejší živočišné produkty podle směrnice 1774/2002 ES, případně zpracovávající biosložku vytříděnou ze směsného komunálního odpadu (BILÍK et al., 2010; VÁŇA, 2010).

Zemědělské BPS jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, resp. podestýlky. Na těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech (AUTERSKÁ, 2010).

První bioplynová stanice, zpracovávající odpad ze zemědělské výroby – kejdu prasat, byla uvedena do provozu v Třeboni již v roce 1974. V 90 letech v rámci státního programu „Čištění odpadních vod z velkochovů“, bylo postaveno několik stanic určených k anaerobní stabilizaci kejdy a slamnatého hnoje.

Na rozdíl od minulosti, kdy anaerobní fermentace sloužila hlavně ke zpracování kejdy, je dnes hlavní pozornost věnována zpracování jatečních odpadů a fytomasy, hlavně kukuřici a trávě. Oba substráty mají vzhledem k vyšší sušině, v porovnání s kejdou, i vyšší produkci bioplynu na jednotku hmotnosti. Důležitým aspektem je i snaha o diverzifikaci zemědělské činnosti. Současné ceny zemědělských

produktů jsou relativně nízké a růst jejich cen není v souladu s růstem cen vstupů (KAJAN et LHOTSKÝ, 2006).

Čistírenské BPS 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 bioodpadu a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda.

V případě, že jsou do čistírenské BPS přidávány také odpady podle zákona o odpadech, potom se jedná se o ostatní bioplynovou stanici. Na dané zařízení se pak vztahují všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů. U BPS ostatních je mnohem složitější i řízení procesu, protože se mění vstupy podle charakteru odpadu, který se právě zpracovává (AUTERSKÁ, 2010).

Metodický pokyn ministerstva životního prostředí (MŽP) vydaný k bioplynovým stanicím v roce 2008 také rozděluje zařízení na zemědělská, čistírenská (realizovaná u ČOV, kalová hospodářství ČOV s anaerobní stabilizací) a ostatní. Bioplynové stanice zpracovávající bioodpady, včetně komunálních, opět spadají do kategorie „ostatní“ (DVOŘÁČEK et al., 2009).

Součástí ostatních BPS je zařízení na úpravu odpadů, dávkování vsázky, fermentační zařízení, zařízení na úpravu a skladování bioplynu, zařízení na energetické využití bioplynu (kogenerační jednotka), zařízení na úpravu a skladování digestátu. BPS zpracovávající vedlejší živočišné produkty musí být navíc vybavena hygienizačním zařízením (BILÍK et al., 2010; VÁŇA, 2010).

BPS zpracovávající biosložku vytríděnou ze směsného komunálního odpadu musejí být vybaveny zařízením pro odloučení lehké frakce a druhotných surovin. Nejefektivnějším způsobem využití bioplynu je jeho spalování v kogenerační jednotce spojené s výrobou elektrické energie a tepla (BILÍK et al., 2010).

Energetická výkonnost bioplynových stanic závisí na mnoha faktorech. Jako jedny ze základních uvádějí PÖSCHL et al., (2010) energetické vstupy do zpracování surovin pro BPS. Zatímco např. stájová hnojiva mají téměř nulové energetické vstupy, energetické rostliny pro výrobu bioplynu musí být nejdříve zpracovány (nařezání, silážování). Dalším důležitým faktorem pro efektivitu je pak i transportní vzdálenost vstupů do bioplynových stanic.

Neméně důležitým faktorem je i volba vhodné plodiny pro bioplynové stanice. GONZÁLES-GARCÍA et al., (2013) však zdůrazňují, že by při volbě plodiny měl být rozhodující zejména dopad pěstované plodiny na životní prostředí.

Česká republika má za sebou 3 roky poměrně bouřlivého vývoje v oblasti realizací bioplynových stanic (BPS), k čemuž výrazně přispívá jak podpora daná Energetickým zákonem (a navazujícími předpisy), tak i dotační politika fondů Evropské Unie (EU), přenesená na území ČR formou operačních programů (PRV - Programu rozvoje venkova, OPŽP – Operačního programu životního prostředí, OPPI - Operačního programu průmysl a inovace) (URBAN, 2010).

### **3.2. Způsob zpracování materiálu**

Biodpad je využitelný zejména prostřednictvím kompostování a anaerobní digesce (AD). Vedle toho může být biodpad zkvašován např. na etanol, nebo přeměňován na palivo prostřednictvím některého z pyrolytických či termolytických procesů. Někdy je možné biodpad využít ke krmným účelům (ŠLEJŠKA, 1999).

V současné době lze snadno rozlišit dva hlavní druhy biodpadů. A to jednak biodpady, jež jsou běžnou součástí komunálního odpadu, a jednak odpady z rostlinné a živočišné výroby.

Biodpady jako součást tuhých komunálních odpadů jsou dosud převážně likvidovány buď ukládáním na skládce, nebo spalováním. Uložení netříděného komunálního odpadu na skládce dochází však nejen k likvidaci organických látek a dalších živin důležitých pro rostlinnou výrobu, ale také k zamořování životního prostředí. K zamořování životního prostředí dochází zejména vlivem úniku produktů nekontrolovatelných biochemických reakcí (skleníkové plyny, zápach, znečištění vod organickými látkami), které v takovémto odpadu začnou po jeho uložení probíhat. Ukládání biodpadů na skládkách se proto jeví jako značně nevhodný způsob likvidace těchto odpadů, a to zejména pro jejich vysoké množství organických látek, které by se daly mnohem lépe využít.

Naopak odpady z živočišné výroby (např. kejda prasat a skotu, drůbeží trus) a rostlinné výroby (slámy obilovin a technických plodin, energetické plodiny) jsou často využívány následujícím způsobem: buď jsou aplikovány přímo na pozemky, nebo jsou zpracovávány s dalšími biodpady na komposty. Při přímé aplikaci těchto biodpadů na pozemky však dochází jednak k zamořování ovzduší nepříjemným

zápachem a jednak při nevhodné aplikaci dochází k vyplavování živin, které se v uvedených odpadech nacházejí v rozpustné formě (HLAVINKOVÁ et al., 2002).

### 3.2.1. Kompostování

Kompostování je pravděpodobně nejstarší a nejrozšířenější vědecky zpracovanou technologií využívání bioodpadu. Spočívá v řízeném aerobním mikrobiálním rozkladu organické hmoty, který je ukončen stabilizací (dokončení kondenzačních a polymerizačních pochodů – tvorba humusových látek).

Domovní kompostování probíhá buď na zahrádkách např. v zahradních kompostérech nebo na balkónech v balkónových vermikompostérech (vermikompostování je metoda kompostování s využitím žížal, např. vyšlechtění dešťovky hnojní (*Eisenia foetida*) na tzv. kalifornského černého hybrida. Tyto metody jsou celkem dobře známé, a k jejich rozšíření stačí většinou propagační kampaň. Např. Vossen a Rilla (1996) dokázali během dvouleté kampaně snížit množství odpadů z oblasti kolem americké Sonomy o 0,5 % (číslo se zdá být nízké, jelikož jako celek jsou brány všechny odpady včetně průmyslových ...), přičemž v rodinách, jež začaly s kompostováním, bylo zaznamenáno průměrné snížení produkce odpadů o 18,3 % (hmotnostních).

Komunitní kompostování může být prováděno např. pro skupinu domů, jeden či dva panelové domy, zahrádkářskou kolonii apod. Většinou se učí zodpovědná osoba, která se o kompost stará. Zařízení pro drcení, překopávání a konečnou úpravu kompostu je buď manuální, nebo mechanické – mobilní, které může sloužit zároveň pro více komunitních kompostáren. Pro kompostování je možné používat rovněž jednoduché bioreaktory.

Komunální kompostování bývá většinou plně mechanizované. Provádí se buď na hromadách, či v bioreaktorech. Kompostování na hromadách musí být prováděno na vodohospodářsky zabezpečených plochách, což mohou být např. silážní žlaby. Zařízení pro výrobu kompostu není třeba kupovat, nýbrž je možné využít služeb firmy, která objíždí kompostárny se svými stroji a provádí jednotlivé úkony (zakládka kompostu, překopávky a konečnou úpravu). Ve vyspělých státech sílí trend kompostování v uzavřených prostorech. Zejména I. fáze (termofilní) by měla být prováděna „indol“, jelikož právě v jejím průběhu dochází často k tvorbě zápachajících plynů, které by měly být zachytávány např. v biofiltrech (ŠLAJŠKA, 1999).

### 3.2.2. Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je soubor dílčích na sebe navazujících biologických procesů společenství anaerobních mikroorganismů. Rozklad organických látek až na bioplyn vyžaduje jejich koordinovanou metabolickou součinnost, kde se stává produkt jedné skupiny mikroorganismů substrátem skupiny další. To znamená, že při řízené fermentaci musí být zabezpečeny vhodné fyziologické podmínky pro činnost anaerobních mikroorganismů. Mezi nejdůležitější faktory patří:

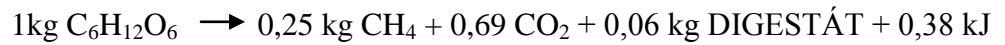
- Aerobní prostředí
- Složení substrátu
- Teplota (35 – 42 °C, 55 °C)
- Míchání
- Živiny (hlavně u průmyslových vod)
- pH 6,5 – 7,5

Pro zabezpečení a udržení jednotlivých parametrů existuje v dnešní době celá řada technologických řešení, jejichž výběr záleží na druhu zpracovávaných odpadů. Kvalitě požadovaných výstupů a samozřejmě na ekonomických možnostech (KAJAN, 2006).

Podle počtu stupňů rozeznáváme jednostupňové a vícestupňové technologie. U jednostupňové technologie probíhají všechny fermentační fáze v jednom fermentoru. Podle způsobu plnění a vyprazdňování je diskontinuální, semikontinuální, kontinuální. Podle fermentační teploty je mezofilní (30 – 40 °C), nebo termofilní (50 – 60 °C). Podle konzistence vsázky je mokrá (čerpatelný substrát) nebo suchá (nad 18 % sušiny) (VÁŇA, 2010).

Anaerobní proces - methanizace – je tedy soubor dějů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá bez přístupu vzduchu organické látky (substrát) přítomné ve zpracovaných materiálech - kalcích, odpadních vodách a organických odpadech. Konečným produktem je „stabilizovaná organická hmota“. Obsahující i narostlou biomasu a dále plyn, obsahující hlavně CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> v některých případech i H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub> a N<sub>2</sub> (STRAKA et al., 2006).

Anaerobní rozklad:



Zákon o zachování hmoty a energie nás pak donutí rozhodnout, zda chceme vyprodukovat více energie (bioplynu a tepla) a méně fermentovaného materiálu nebo více kompostu a méně energie (BENDA et al., 2012).

Anaerobní rozklad organických látek vyžaduje koordinovanou metabolickou součinnost různých mikrobiálních skupin a podle nich je možno tento proces rozdělit na následující fáze:

Hydrolyza je rozklad makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek (polysacharidů, lipidů, proteinů) na nízkomolekulární látky rozpuštěné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů (hydroláz) (STRAKA et al., 2006).

Probíhá ve stavu, kdy je přítomný vzdušný kyslík postupně spotřebováván aktivitou aerobních bakterií. Hydrolytické mikroorganismy nevyžadují přísně bezkyslíkaté prostředí. Důležité pro jejich existenci je vlhkost vyšší než 50 %. Působením enzymů dojde k rozkladu molekul uhlohydrátů, tuku a bílkovin na jednodušší organické sloučeniny (BENDA et al., 2012).

Acidogeneze je další rozklad produktů hydrolyzy na jednoduché organické látky, hlavně na nižší mastné kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$  pomocí acidogenních bakterií. Dotvoří se bezkyslíkaté prostředí

Acetogeneze je tvorba kyseliny octové, vodíku, a  $\text{CO}_2$  z produktů předchozích fází acetogenními bakteriemi produkujícími vodík, dále tvorba kyseliny octové a  $\text{CO}_2$  denitrifikačními a sulfátredukujícími bakteriemi a autogenní respirace vodíku a  $\text{CO}_2$  homoacetogenními bakteriemi. Ve druhé a třetí fázi roste kyselost prostředí (STRAKA et al., 2006, BENDA et al., 2012).

Methanogeneze je tvorba metanu z kyseliny octové acetotrofními methanogenními bakteriemi a z jednoduhlíkatých substrátů, a tvorba metanu z  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$  hydrogenotrofními metanogenními bakteriemi (STRAKA et al., 2006).

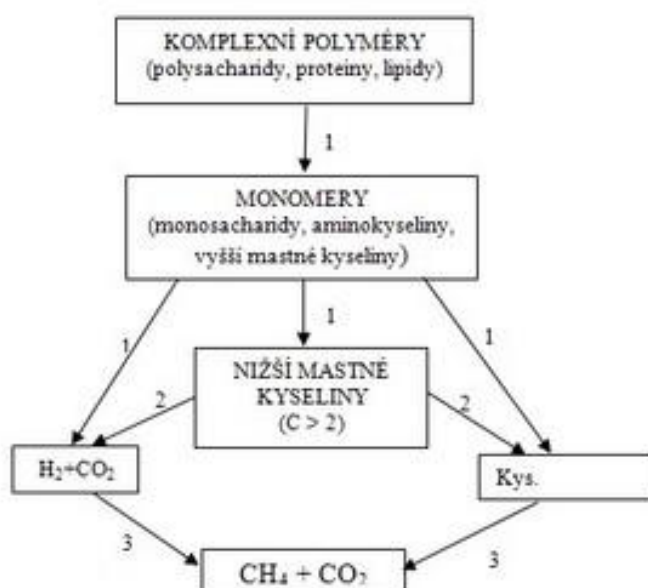
## Mikrobiologie anaerobních procesů

Mikroorganismy zúčastňující se anaerobní metanové fermentace je možno podle jejich funkčního zařazení rozdělit do tří základních funkčních skupin:

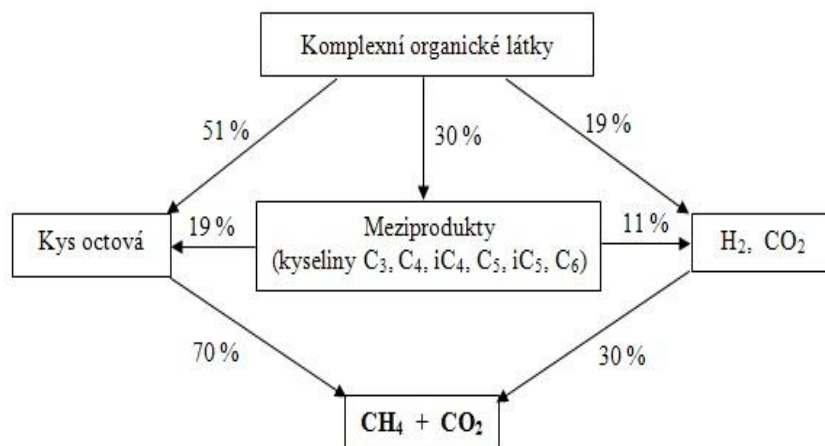
První skupina zahrnuje mikroorganismy hydrolyzační a fermentační způsobující hydrolyzu a acidogenezi, tj. rozkládají polymerní substráty na monomery za převážně vzniku kyseliny octové,  $H_2$  a  $CO_2$ . Za určitých okolností vznikají také další kyseliny (propionová, máselná) a alkoholy.

Do druhé skupiny patří tzv. obligátní acetogenní bakterie fermentující kyseliny (propionovou, máselnou) na kyselinu octovou a vodík – acetogeneze. Tyto reakce probíhají pouze za předpokladu velmi nízké koncentrace vodíku, tj. vodík musí být ze systému kontinuálně odváděn, což činí mikroorganismy třetí skupiny.

Třetí skupinu tvoří metanogenní bakterie produkující metan z  $H_2$  a  $CO_2$  – hydrogenotrofní metanogény a z kyseliny octové – acetotrofní metanogeny (metanogeneze).



Obr. č. 3.1. Schéma anaerobního rozkladu za tvorby bioplynu.



Obr. č. 3.2. Schéma toku uhlíku za rovnovážného stavu procesu, metanogeny v plné aktivitě (DOHÁNYOS, 2008).

### Digestát

Digestát je fermentovaný zbytek z provozu bioplynové stanice. Jeho možné rozdělit na tuhousložku separát a na tekutousložku fugát (VÁŇA, 2010).

Tekutý digestát s podílem 6 – 10 % sušiny je nutné odseparovat na síťových nebo bubnových separátorech. Po odseparování tuhé části vznikne separát, který obsahuje přibližně 29,3 % sušiny a fugát (PAWLICA, 2010).

Základním využitím digestátu ze zemědělských BPS je jeho aplikace na zemědělskou půdu jako hnojiva jak v tekuté, tak v separované formě (BABIČKA, 2012).

Fermentační zbytek ze stabilizačních fermentorů na kalových hospodářstvích ČOV je nazýván čistírenský kal a jeho aplikace na půdu je dána zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhláškou č. 382/2001 Sb., která stanovuje technické podmínky použití upravených čistírenských kalů na zemědělské půdě (VÁŇA, 2010).

Digestát není hnojivo organické, protože proces anaerobní digesce zanechal v surovině jen stabilní organické látky. Znakem organického hnojiva je schopnost rychlého rozkladu, aby hnojivo mohlo poskytnout energii půdním mikroorganismům. Je to jen slabé hnojivo minerální, protože obsahuje jen málo minerálních živin (dusík a draslík), a to v přebytku vody (KOLÁŘ, 2010).

Aplikace digestátu, který byl vyroben výhradně ze statkových hnojiv a krmiv, na pozemcích producenta nepodléhá registraci. Digestát je podle nařízení vlády č. 103/2003 Sb. (nitrátová směrnice) hnojivem s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr



C:N nižší než 10), což v zranitelných oblastech omezuje nebo přímo zakazuje jeho používání v určitém období. Hnojení digestátem je podobné jako při hnojení kejdou, vždy je však vhodné vzít v úvahu aktuální obsah dusíku. Při průměrném obsahu 0,5% celkového dusíku a při dávce jedné tuny digestátu se do půdy dodá 5kg N/ha. Proti statkovým hnojivům mají digestáty obvykle vysoký celkový obsah dusíku od 0,2 do 1 % v původní hmotě, pH mezi 7-8 a sušinu v rozmezí od 2 do 13 % (HEZKÝ, 2012).

Přednosti aplikace digestátu jsou následující:

- dochází k redukci zápachu při manipulaci a hnojení,
- koncentrace patogenů je významně redukována,
- je omezena klíčivost semen plevelů,
- snižuje se žíravý účinek surové kejdy na plodiny,
- obsah snadno rozložitelného uhlíku je redukován, ale žádoucí formy organického uhlíku (prekurzory humusových látek) v digestátu zůstávají,
- obsah žádoucích živin (P, K, N apod.) je zachován,
- celkově tak přispívá ke zlepšení odolnosti plodin a nižší spotřebě pesticidů,
- Používání digestátu znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv (ANONYM, 2007).

Hnojení digestátem má však určitá omezení, která musíme respektovat. Digescí dochází k odbourávání zdrojů organických látek a také k odbourání lehce rozložitelné organické hmoty. O tyto složky je půda při hnojení digestátem ochuzena. Při fermentaci hnojiv se odbourá 10 až 70 % organických látek. Nejvíce se rozkládají lehce rozložitelné látky, jako jsou cukry, tuky a bílkoviny se snadno uvolnitelnou energií. Aplikace digestátu je nutné provádět na široko, bezprostředně před setím a sázením a hnojivo je nutné zapravit neprodleně do půdy. Digestát můžeme použít jako regenerační hnojení ozimé řepky či obilnin, nebo aplikace za vegetace pod list v kukuřici, obilninách či slunečnici (KORDOVÁ, 2012).

Hnojivými vlastnostmi digestátu ve srovnání s čistírenskými kaly a komposty se zabývali TAMBONE et al., (2010). Z jejich výsledků vyplývá, že digestát měl v porovnání s uvedenými hnojivy výrazně nejvyšší podíly celkového dusíku, amonného dusíku, fosforu i draslíku.

## Separovaný digestát

Separovaný fermentační zbytek má kolem 30% sušiny (tuhá frakce) (BABIČKA, 2012).

Po odseparování tuhé části vznikne separát. Separát pro výrobu pelet či briket je třeba dále sušit. Pro zpracování úsušků se obvykle požaduje konečná vlhkost v rozmezí 10 – 15 % (PAWLICA, 2010).

Vybrané ukazatele pro separovaný i neseparovaný digestát jsou uvedeny v tabulkách č. 3.1. a č. 3.2..

Tab. č. 3.1.: Obsahy makroprvků, obsah sušiny a organických látek v separovaném digestátu a v kompostech (ERHART et al., 2008 in DUBSKÝ et al., 2012)

Charakteristika	Sušina (%)	Org. látky (% v sušině)	Obsah celkových živin v % v sušině			
			N	P	K	Ca
Kompost	40 – 65	>50	1,5-2	0,65	1,25	4,5
Separovaný digestát*	19 - 28	55-85	1,5-3	0,7-1,4	0,3-0,8	1,5-4,5

\*výsledky z BPS Krásná Hora nad Vltavou (DUBSKÝ et al., 2012)

## Neseparovaný digestát

Tab. č. 3.2.: Průměrný obsah sušiny (%), přístupných živin (v mg/ kg) a hodnota pH v neseparovaném digestátu. (KULHÁNEK et al., 2012)

Sušina	N-NO <sub>3</sub> <sup>-*</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+*</sup>	P**	K**	Ca**	Mg**	pH *
5,3	15,2	1600	319	3260	1308	507	7,7

\*Stanoveno v 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>

\*\* Stanoveno v Mehlich 3

Průměrné obsahy amonného dusíku se v různých typech neseparovaných digestátů pohybují od 0,51 do 0,98 % sušiny. Celkový obsah fosforu v sušině činí 0,08 - 0,26 % a obsah fosforu 0,24 - 0,68 % (TAMBONE, et al., 2010).

## Fugát

Fugát po odvodnění digestátu může být částečně recyklován v provozu BPS nebo vypouštěn na ČOV, nikoliv do vodotečí (VÁŇA, 2010).

Fugát má obsah sušiny 2 – 4 % a lze jej aplikovat jako tekuté hnojivo, nebo skladovat (PAWLICA, 2010).

V kapalně části digestátu (fugátu) je dusík minerální, 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 m<sup>3</sup> fugátu (KOLÁŘ et.al., 2010).

## **4. Možnosti hnojení jarní pšenice**

Nároky jarní pšenice na živiny jsou podobné jako u ozimé. Má poněkud odlišnou dynamiku příjmu živin v důsledku jiného nárůstu sušiny. Pro zajištění dobrého výnosu zrna je rozhodující i včasnost setí. Tomuto požadavku přizpůsobíme i hnojení. Pokud to dovolí podmínky (VANĚK et al., 2007).

Na 1 tunu zrna a odpovídající množství slámy a kořenů odčerpá v průměru 25 kg dusíku, 5 kg fosforu, 20 kg draslíku, 2,4 kg hořčíku, 4 kg síry. Pšenice začíná svůj vývoj již v obilce při klíčení, kdy dochází vlivem enzymatické činnosti k rozkladu složitých organických látek na látky jednoduché, které zárodek (embryo) využívá pro svůj růst. Na chemickém složení obilky závisí tvorba kořenového systému a přechod rostlin na výživu z půdy.

Nedostatek živin omezuje růst rostlin a svým dopadem ovlivňuje záporně počet klasů na jednotce plochy, počet zrn v klasu, hmotnost tisíce semen (HTS) a řadu kvalitativních parametrů. Vedle toho se jednotlivé živiny vyznačují v rostlinách řadou specifických funkcí, které podmiňují růst rostlin a jejichž nedostatek vede k poruchám jejich habitu (ZIMOLKA, et al., 2005).

### **Organická hnojiva**

Význam organických hnojiv spočívá především v tom, že obsahují organické látky (celulózu, hemicelulózu, lignin, glycidy, aminokyseliny, bílkoviny, auxiny apod.) a živiny (N, P, K, Ca, Mg), ze kterých v půdě vzniká humus a půdní zásoba živin. Tím se organická hnojiva podílejí na tvorbě půdní úrodnosti. Půdní humus a půdní úrodnost jsou ve vzájemné korelaci, což potvrzují dosavadní poznatky (IVANIČ et al., 1984).

Pravdou je, že s hnojem i kompostem je podstatně více práce než s hnojivovými granulemi s přesně odměřeným množstvím živin. Ale za to zlepšují kvalitu půdy, postupně dodávají do půdy stopové prvky i živiny. Rostliny tudíž mohou

čerpat živiny, které zrovna potřebují. Ty nespotřebované se z půdy nevyplaví, jak tomu může být u průmyslových hnojiv, ale zůstanou v ní vázány, dokud je rostlina nespotřebuje.

Organická hnojiva zlepšují kvalitu půdy, provzdušňují ji a podporují její absorpční schopnosti i růst rostlin. Organické látky dokážou zadržet vodu i živiny v písčitéch půdách a těžké půdy zase zkypří a provzdušní (MARTIŠKOVÁ, 2009).

Statková hnojiva (hlavě stájová) představují univerzální hnojiva, jejichž působení je většinou pozvolnější a dlouhodobé. Půdy pravidelně hnojené statkovými hnojivy jsou úrodnější, protože:

- mají lepší fyzikální vlasti,
- lépe přijímají vodu,
- lépe zadržují živiny,
- jsou odolnější k výkyvům pH,
- umožňují vhodnější dávkování minerálních hnojiv a lepší využití živin rostlinami (VANĚK et al., 2007).

### **Minerální hnojiva**

Minerální hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu. Z části se na jejich výrobě podílejí i ostatní úseky hospodářství (stavebnictví, hutnictví, aj.). Vyznačují se vyšším obsahem živin (odtud také název koncentrovaná), obsahují jednu nebo více živin. Jsou vyráběna z přírodních surovin (fosfáty, draselné minerály, vápenec) a zdrojem dusíku je přímá syntéza amoniaku z dusíku a vodíku. V procesu výroby se většinou omezuje množství vedlejších složek, čímž se koncentruje obsah živin a živiny se transformují do využitelných forem (VRBA, HULEŠ, 2007).

Fosforem, draslíkem a případně hořčíkem vyhnojíme již na podzim. Zjednodušuje se také hnojení dusíkem. Při nižších dávkách dusíku (do 60 – 80 kg N na ha) je možná jednorázová aplikace před setím. Zvláště při vyšších dávkách N je vhodné rozdělení celkové dávky na části. Větší část aplikovat před setím (v síranu amonném nebo DAM 390) a druhou část ponechat k přihnojení na list ke konci odnožování (VANĚK et al., 2007).

### **Digestát**

Na digestáty jsou z hlediska legislativního kladeny zejména hygienické požadavky (Tab. č. 4.1.). Jedná se o splnění procesních hygienizačních parametrů,

splnění limitních hodnot rizikových prvků a indikátorových organismů. V případě, že se digestáty využívají jako organické hnojivo na zemědělské půdě je určujícím předpisem úplné znění zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, a zejména úplné znění vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva.

K problematice přípravy a používání digestátu se vztahuje celá řada legislativních předpisů národní i Evropské legislativy podle zpracovávaných surovin a odpadů a podle způsobu využití digestátů. Zejména Evropská legislativa ABP se stále mění a zdokonaluje. Tento stav činí potíže při navrhování bioplynových stanic a při jejich uvádění do provozu.

V současné době se v zahraničí nejčastěji provádí anaerobní digesce kukuřičné siláže, dalších píceňin nebo energetických rostlin. Dále je často používána čerstvá nebo senážovaná travní fytomasa, jejímž zdrojem jsou nejen louky, ale též veřejná zeleň, golfová hřiště apod. Sušina digestátu by měla minimálně obsahovat 25% spalitelných látek a 0,6% celkového dusíku. Takový digestát je považován za typově organické hnojivo vyrobené anaerobní fermentací ze statkových hnojiv.

Tab. č. 4.1.: Limitní koncentrace vybraných rizikových látek (v mg/kg sušiny)

Sledovaný ukazatel	Digestát		
	Třída 1 (*)	Třída 2 (*)	Ze statkových hnojiv
Cd	0,7	1,5	2
Cr	100	150	100
Cu	100	150	100
Hg	0,5	1	1
Ni	50	75	50
Pb	100	150	100
Zn	200	400	400
As	x	x	10
Mo	x	x	5

(\*) Normalizováno na 30 % obsahu organické hmoty. (VÁŇA, 2007)

ALBURQUERQUE et al., (2012) publikovali studii o možnostech využití dvanácti druhů zemědělských i průmyslových digestátů v zemědělství. Prokázali zde, že digestát může být velmi vhodným hnojivem, zejména díky vysokému obsahu amonného dusíku. Zároveň však upozorňují na to, že musí být brán ohled na různé rizikové faktory, jako jsou obsahy Cu a Zn, zasolenost, biodegradabilita, fytotoxicita a hygienické vlastnosti některých typů digestátů. Proto je důležité brát ohled již na vstupní substráty s návazností na další využití vzniklého digestátu.

Hnojení tekutými statkovými hnojivy včetně digestátu a minerálními dusíkatými hnojivy je podle KÁRA et al. (2007) možné pouze v dávce do 40 kg N/ha v minerálních hnojivech, nebo 80 kg N/ha celkového v tekutých hnojivech:

- k ozimím plodinám, s výjimkou půd s promyvným půdním režimem a deficitních půd,
- k mezipločinám (mimo čistých porostů jetelovin a luskovin), v jejich kapalně nebo tekuté formě k podpoře rozkladu slámy, s výjimkou půd s promyvným vodním režimem a deficitních půd, kde lze použít jen tekutá statková hnojiva, kdežto aplikace vyrovnávací dávky v minerálních dusíkatých hnojivech se přesouvá na jarní vegetační období,
- v případě podzimního hnojení tekutými statkovými hnojivy bez přítomnosti porostu nebo slámy k následným jarním plodinám, s výjimkou půd s promyvným vodním režimem a deficitních půd, v termínu od 15. 10. do začátku období nevhodného k hnojení, s podmínkou, že tekuté statkové hnojivo bude nejpozději do 24 hodin od aplikace zapraveno do půdy.

BUSTAMANTE et al., (2012) se zabývali vlivem kompostování digestátu na hnojivé účinky vzniklých kompostů. Testovali možnosti kompostování samotného digestátu, ale i digestátu s různými přídávky (10 a 20 %) odpadu z prořezávky vinné révy. Z jejich výsledků vyplývá, že přírůstek z prořezávky redukoval vodivost a ztráty dusíku a proto vznikl lepší výsledný kompost. Všechny vzniklé komposty však byly vhodné k použití jako pěstební substráty.

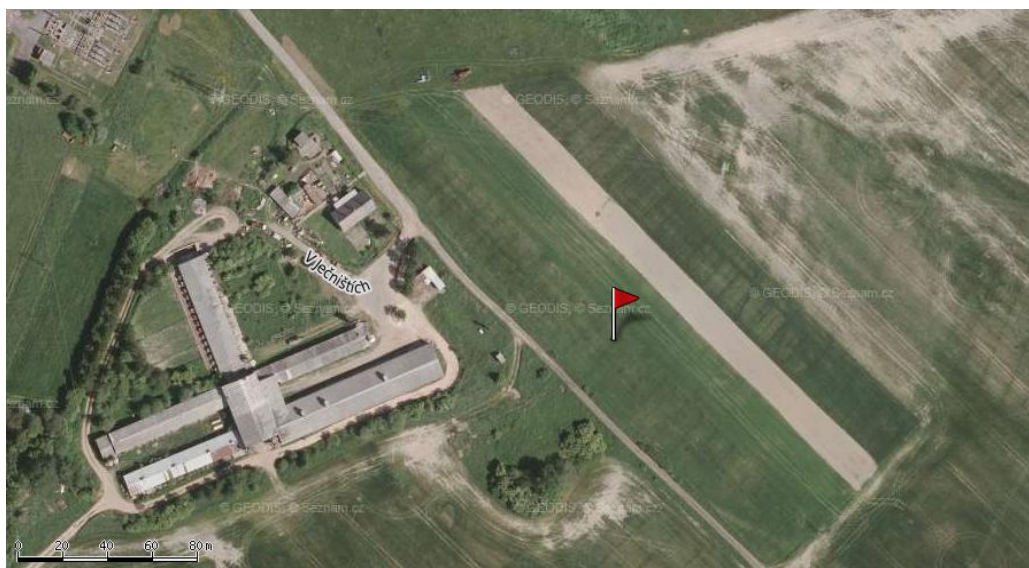
Ne všechny typy digestátů jsou ale vhodné pro využití k hnojení rostlin. Například ALBURQUERQUW et al., (2012) srovnávali 6 různých digestátů, jejich základem byla kejda skotu nebo prasat. Využitelnost pro zemědělství poté úzce souvisela s obsahem zbylé lehce rozložitelné organické hmoty. V případě vysokého podílu lehce rozložitelné organické hmoty docházelo vzhledem k nevhodnému poměru C:N k imobilizaci dusíku ve vzniklých substrátech.

## 5. Metodika

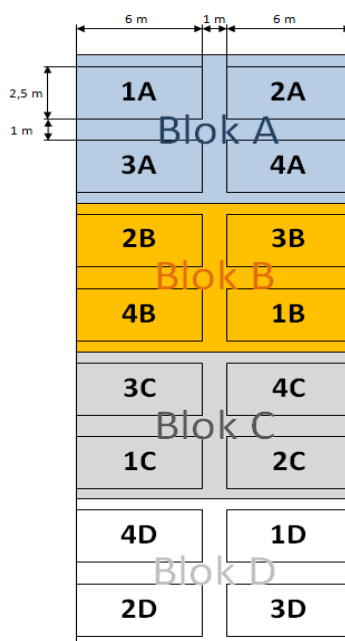
### 5.1. Charakteristika pozemku

Maloparcelový přesný polní pokus s jarní pšenící byl založen 5. 4. 2012. Velikost jednotlivých parcelek činila 15 m<sup>2</sup>. Lokalita pozemku je označena na obrázku 5.1. Schéma pokusu je znázorněno na obr. č. 5.2.

#### Mapa pozemku



Obr. č. 5.1. Mapa pozemku.



Obr. č. 5.2. Schéma pokusu.

Pokus se skládal z 16 parcel (4 varianty x 4 opakování) o celkové výměře 168 m<sup>2</sup>. Poloha pokusu a základní půdně klimatické charakteristiky jsou následující:

**Lokalita:** Zbiroh

**GPS souřadnice:** 49°51'11.328"N; 13°46'50.542"E

**Průměrný roční úhrn srážek:** 550-600 mm

**Průměrná roční teplota:** 7,0 - 8,0 °C

**Nadmořská výška:** 414 m nad mořem

**Půdní druh, půdní typ:** hlinito písčité, kambizem modální

Oproti kontrolní, nehnojené variantě byly testovány stoupající dávky separovaného digestátu. Dávky separovaného digestátu činily 10, 20 a 40 t/ha a v den založení pokusu byly zapraveny do půdy rotačním kypřičem KE AMAZONE 251 special. Všechny varianty byly realizovány ve znáhodněných blocích a ve čtyřech opakováních. Pšenice jarní byla zasetá dne 2. 4. 2012 secím strojem AMAZONE Dril star 252 o výsevku 225 kg/ha. Sklizeň pokusu proběhla dne 10. 9. 2012 sklízecí mlátičkou Fortschritt E 516 B. Současně se sklizní byly zváženy i výnosy zrna z jednotlivých parcel. Před založením a po sklizni pokusů byly odebrány vzorky ornice (0-30 cm) pro analýzy. Po sklizni pokusů byly rovněž odebrány vzorky zrna pšenice.

## 5.2. Analytická stanovení

### Mehlich 3

Metoda Mehlich 3 je v České republice používanou metodou pro stanovení obsahu mobilních makroprvků (P, K, Ca, Mg) v půdě. Odebrané půdní vzorky byly homogenizovány a jejich část byla usušena a přeseta přes síto s otvory 2 mm. Vzniklé vzorky byly extrahovány činidlem Mehlich 3 (MEHLICH, 1984) složeném z CH<sub>3</sub>COOH (c=0,2 mol/l), NH<sub>4</sub>F (c=0,015 mol/l), HNO<sub>3</sub> (c=0,013 mol/l), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (c=0,25 mol/l) a EDTA (c=0,001 mol/l). Poměr zeminy a vyluhovadla činil 1:10 w/v (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 10 min. Získaný roztok byl filtrován a zhotovené výluhy byly kolorimetricky analyzovány na obsah fosforečnanů přístrojem SKALAR SAN<sup>+</sup> SYSTEM. V extraktech byl rovněž měřen obsah Ca, Mg a K pomocí atomového absorbního spektrometru (AAS), typ VARIAN Vista Pro.



## **Vodný výluh**

Ve vodném výluhu je možno stanovit celo řadu prvků. Z hlediska extrahovatelných forem jsou vodným výluhem stanoveny obsahy živin, které úzce korelují s okamžitě přístupnými formami živin v půdě. Extrakty byly zhotoveny dle LUSCOMBE et al., (1979). K 10 g vzorku bylo přilito 50 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 2 hodiny a následně filtrovány. Vzniklé extrakty byly analyzovány.

## **Stanovení hodnoty pH**

Pro stanovení hodnoty pH byla využita metoda adaptovaná dle RAYMENT et LYONS (2011), běžně používaná Ústředním a kontrolním ústavem zemědělství. Bylo naváženo 10 g suché půdy (< 2 mm) a přidáno 50 ml roztoku  $\text{CaCl}_2$  ( $c=0,01$  mol/l). Vzorky byly třepány 1 hod a poté následovalo jejich ustálení po dobu 1 hod.. Po ustálení, proběhlo měření výměnného pH přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“ přímo v roztoku.

## **Stanovení obsahu přístupného N**

Roztok byl sestaven dle předpisu HOUBA et al. (1994). Bylo naváženo 10 g čerstvé půdy (<5mm) a přidáno 100 ml roztoku  $\text{CaCl}_2$  ( $c=0,01$  mol/l). Vzorky se třepaly 2 hod. a poté byly odstředěny. Ve zhotovených extraktech byl fotometricky měřen obsah amonného, nitrátového a celkového přístupného dusíku přístrojem SKALAR SAN<sup>++</sup> SYSTEM.

## **Obsah oxidovatelného uhlíku**

Pro testování změny obsahu organických látek po aplikaci digestátu byla využita adaptovaná metoda dle SIMSE et HABYHO (1982). 1 g Vzorku suché zeminy (< 2 mm) byl v širokohrdlých odměrných baňkách extrahován koncentrovanou kyselinou sírovou (10 ml) a dichromanem draselným (10 ml). Po ustálení (30 min) byl dolit na 100 ml destilovanou vodou, zfiltrován a získané extrakty byly měřeny fotometricky přístrojem Perkin Elmer, Lambda 25.

### **Obsah dusíku v zrně pšenice**

Obsah dusíku byl stanoven po rozkladu koncentrovanou kyselinou sírovou dle Kjeldahla (ČSN 46 1011-18). Pro extrakci bylo naváženo 0,500 g suchého, jemně namletého zrna pšenice. Toto množství bylo mineralizováno 10 ml koncentrované kyseliny sírové, za přítomnosti selenového katalyzátoru po dobu 1 hod při teplotě 400 °C. Mineralizovaný materiál byl následně měřen přístrojem GERHARDT VAPODEST 50s.

### **Obsah P, K, Ca a Mg v zrně pšenice**

Zrno pšenice bylo jemně namleto. Bylo naváženo 0,15 g ( $\pm$  0,005g) namletého materiálu. Ten byl rozložen pomocí mikrovlnného rozkladu (ETHOS 1, Advanced Microwave Digestion System) v prostředí koncentrované kyseliny dusičné a peroxidu vodíku. Získaný vzorek byl poté naředěn a analyzován optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) pro změření obsahu celkového P a rovněž pomocí AAS pro získání hodnoty celkového obsahu K, Ca a Mg.

### **Vyhodnocení výsledků**

Pro základní popisné charakteristiky byl použit software EXCEL (2007). K podrobnější statistické analýze byl využit program STATISTICA (2009).

## 6. Výsledky

### 6.1 Vstupní rozbory

V tabulce 6.1. jsou uvedeny výsledky vstupních rozborů půdy na obsah okamžitě přístupných živin.

Měření ukazuje, že nejnižší obsah makroprvků byl zpravidla stanoven u varianty D, kde bylo naměřeno 14 mg/kg fosforu, 126 mg/kg vápníku, 22 mg/kg hořčíku. Nejvyšší obsah fosforu (22 mg/kg) byl naměřen ve variantě A, stejně jako nejvyšší obsah draslíku (54 mg/kg). Nejvyšší obsah vápníku a hořčíku byl zjištěn u varianty C.

Tab. 6.1.: Obsah okamžitě přístupných makroprvků (vodný výluh)

Blok	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
A	22	54	161	24
B	17	42	165	27
C	16	38	177	30
D	14	41	126	22

V tabulce 6.2. jsou uvedeny obsahy přístupných makroprvků stanovených metodou Melich 3 v půdách odebraných před založením pokusu.

Nejvyšší obsah fosforu i draslíku byl zjištěn u varianty A. Nejvíce vápníku a hořčíku bylo naměřeno ve variantě C, nejméně ve variantě A. varianta D byla nejhudší na fosfor a draslík.

Z hlediska vyhodnocení obsahu živin dle kritérií ÚKZÚZ byl v půdě zjištěn vysoký obsah fosforu a dobrý obsah draslíku. I přes zpravidla malé rozdíly mezi obsahy prvků ve vstupních odběrech lze získané hodnoty považovat za vyrovnané. Proto byl pozemek vhodný pro založení pokusu.

Tab. 6.2.: Obsah přístupných makroprvků (Melich 3)

Blok	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
A	223	213	1762	156
B	180	174	1819	163
C	186	193	1986	218
D	160	156	1777	162

Obsah nitrátového a amonného dusíku v půdě, hodnota pH a celkový obsah organického uhlíku jsou uvedeny v tabulce 6.3.

Nejvyšší obsahy nitrátového dusíku byly ve variantě C. Nejnižší hodnoty nitrátového i amonného obsahovala půda z varianty A. Nejvyšší hladina amonného dusíku byla ve variantě D. Stejně jako u ostatních makroprvků, se ani tady nejednalo o výrazné rozdíly mezi jednotlivými variantami.

Nejvyšší naměřené pH bylo ve variantě D, nejmenší ve variantě C. Průměrná hodnota výměnného pH činila 5,1 což je v lehké půdě velmi kyselé pH. Obsah oxidovatelného uhlíku ve vstupních vzorcích půdy se pohyboval v rozmezí 1,73-2,10 %.

Tab. 6.3.: Obsah dusíku, hodnota pH půdy a celkový obsah organického uhlíku ve vstupních odběrech

<b>Blok</b>	<b>N-NO<sub>3</sub> (mg/kg)</b>	<b>N-NH<sub>4</sub> (mg/kg)</b>	<b>pH</b>	<b>% C<sub>ox</sub></b>
<b>A</b>	16,9	3,5	5,2	2,10
<b>B</b>	22,4	3,9	5,1	2,04
<b>C</b>	23,2	4,4	5,5	1,86
<b>D</b>	22,7	4,5	5,0	1,73

### **Rozbory separovaného digestátu**

Jako součást pokusů byl rovněž stanoven obsah přístupných makroprvků v separovaném digestátu. Jako nejvhodnější pro stanovení minerálních forem N se jevílo použití metody CAT, která je běžně používaná pro stanovení obsahu přístupných živin v zeminách, kalech, sedimentech a podobných substrátech.

Obsah nitrátového dusíku činil 16 mg/l a obsah amonného N 546 mg/l. Dále zde bylo stanoveno celkové množství fosforu (1,5 %), draslíku (4,3 %), vápníku (3,3 %) a hořčíku (0,8 %). Hodnota výměnného pH separovaného digestátu činila 7,1, což odpovídá vysoké hodnotě.

## 6.2 Rozbory půdních vzorků odebraných po sklizni pokusu

V tabulce 6.4. je uveden obsah okamžitě přístupných makroprvků stanovených ve vodném výluhu. Nejvyšší obsah fosforu a byl naměřen ve variantě hnojené 40 t/ha digestátu. Nejnižší obsah byl ve variantě 10t/ha. Nejvyšší obsahy draslíku byly stanoveny u varianty hnojené 40 t/ha digestátu, nejnižší naopak u varianty 20 t/ha.

Varianta 10 t/ha prokázala nejvyšší obsahy vápníku i hořčíku. Nejméně vápníku bylo u varianty 20 t/ha a hořčíku u 40 t/ha digestátu. Mezi jednotlivými variantami hnojení nebyly u všech měřených prvků zjištěny statisticky průkazné rozdíly.

Tab. 6.4.: Obsah přístupných makroprvků v půdě po sklizni pokusů (vodný výluh)

Varianta	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
<b>Kontrola</b>	33,9	17	67	14
	23,2	22	71	16
	17,9	29	67	15
	9,9	29	63	12
<b>Průměr</b>	<b>21,2</b>	<b>24,3</b>	<b>67</b>	<b>14,3</b>
<b>10 t/ha</b>	30,5	21	68	15
	18,4	36	64	14
	15,5	21	63	13
	9,1	15	104	18
<b>Průměr</b>	<b>18,4</b>	<b>23,3</b>	<b>74,8</b>	<b>15</b>
<b>20 t/ha</b>	28,4	16	65	13
	21,5	22	62	14
	13,3	29	63	14
	17,1	19	68	15
<b>Průměr</b>	<b>20,1</b>	<b>21,5</b>	<b>64,5</b>	<b>14</b>
<b>40 t/ha</b>	23,2	17	70	14
	30,1	33	61	13
	16,8	21	61	13
	21,9	33	84	15
<b>Průměr</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>69</b>	<b>13,8</b>
<b>F-test</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>	<b>0,6</b>	<b>0,37</b>
<b>hl. výz.</b>	<b>ns*</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>

\* nesignifikantní rozdíl mezi variantami

Tabulka 6.5. obsahuje výsledky měření obsahu vybraných makroprvků a to metodou Mehlich 3. Největší obsah fosforu byl naměřen u varianty 40 t/ha a nejmenší u 10t/ha. Mezi sledovanými variantami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl. Průměrný obsah draslíku byl shodně nejvyšší ve variantách Kontrola a 40 t/ha (185 mg/kg). Nejmenší hladina byla u varianty 20 t/ha. Hodnocené varianty rovněž nevykazovaly statisticky průkazný rozdíl.

Statisticky průkazné rozdíly byly naměřeny u vápníku při hladině významnosti  $\leq 0,01$  a to mezi variantou Kontrola (1642 mg Ca/kg) a variantami 10 t/ha (1810 mg Ca/kg), respektive 40 t/ha (1867 mg Ca/kg). Hořčík vykazoval s nejvyšší hodnoty u varianty 40 t/ha a nejnižší u varianty 20 t/ha. Mezi variantami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

Tab. 6.5.: Obsah přístupných makroprvků v půdě po sklizni pokusů (Mehlich 3)

Varianta	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
<b>Kontrola</b>	237	291	1776	179
	196	179	1597	162
	123	139	1546	151
	117	129	1648	172
<b>Průměr</b>	<b>168</b>	<b>185</b>	<b>1642<sup>a*</sup></b>	<b>166</b>
<b>10 t/ha</b>	224	252	1818	177
	160	168	1816	165
	158	134	1800	165
	104	129	1805	164
<b>Průměr</b>	<b>162</b>	<b>171</b>	<b>1810<sup>b</sup></b>	<b>168</b>
<b>20 t/ha</b>	225	186	1715	160
	183	192	1676	167
	132	149	1765	147
	155	129	1714	162
<b>Průměr</b>	<b>174</b>	<b>164</b>	<b>1718<sup>ab</sup></b>	<b>159</b>
<b>40 t/ha</b>	228	194	1868	165
	190	212	1898	193
	143	157	1836	160
	175	175	1865	186
<b>Průměr</b>	<b>184</b>	<b>185</b>	<b>1867<sup>b</sup></b>	<b>176</b>
<b>F-test</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>13,38</b>	<b>1,45</b>
<b>hl. výz.</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>0,01</b>	<b>ns</b>

\* mezi variantami označenými rozdílnými písmeny se vyskytly statisticky průkazné rozdíly

V tabulce 6.6. jsou uvedeny výsledky obsahu nitrátového dusíku a amonného dusíku. Měření se provádělo ve výluhu 0,01 mol/lCaCl<sub>2</sub>. Z hlediska obsahu nitrátového dusíku v půdě, byl největší obsah ve variantě hnojené dávkou digestátu 40 t/ha, Nejnižší hladina nitrátového dusíku je ve variantě 10 t/ha.

Nejvyšší množství amonného dusíku bylo naměřeno u varianty kontrola kontrola, nejnižší obsah byl u varianty 20t/ha.

Nejvyšší obsah celkového dusíku byl stanoven u varianty kontrola (35,1 mg/kg). Mezi variantami nebyl žádným statisticky průkazné rozdíly.

Všechny varianty hnojení vykazovaly téměř shodné hodnoty pH v celkovém rozmezí průměrů 5,0 – 5,1. Proto ani zde nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi variantami. Nejvyšší obsah celkového organického uhlíku byl naměřen u varianty 40 t/ha (1,91 % C<sub>ox</sub>), nejnižší pak u varianty 20 t/ha, kde bylo naměřeno 1,61 % C<sub>ox</sub>. Mezi variantami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

Tab. 6.6.: Obsah nitrátového a amonného dusíku, hodnota pH a obsah celkového organického uhlíku v půdě po sklizni pokusu

Varianta	N – NO <sub>3</sub> (mg/kg)	N – NH <sub>4</sub> (mg/kg)	pH	% C <sub>ox</sub>
<b>Kontrola</b>	26,9	4,4	5,0	1,90
	20,3	4,5	5,2	1,90
	25,4	4,7	5,1	1,98
	23,4	8,5	5,0	1,67
<b>Průměr</b>	<b>24</b>	<b>5,5</b>	<b>5,1</b>	<b>1,86</b>
<b>10 t/ha</b>	22,5	4,6	5,1	1,88
	23,4	3,6	5,0	1,89
	21,9	3,6	5,0	1,53
	19,8	4,2	4,9	1,52
<b>Průměr</b>	<b>21,9</b>	<b>4,0</b>	<b>5,0</b>	<b>1,71</b>
<b>20 t/ha</b>	22,0	2,8	5,0	1,64
	23,3	4,0	4,9	1,80
	19,7	2,9	4,9	1,56
	23,7	3,1	5,0	1,70
<b>Průměr</b>	<b>22,2</b>	<b>3,2</b>	<b>5,0</b>	<b>1,68</b>
<b>40 t/ha</b>	24,1	4,2	5,1	1,88
	25,9	3,4	5,1	1,93
	17,3	3,6	4,9	1,78
	29,8	4,0	5,1	2,05
<b>Průměr</b>	<b>24,3</b>	<b>3,8</b>	<b>5,1</b>	<b>1,91</b>
<b>F-test</b>	<b>0,57</b>	<b>3,75</b>	<b>1,69</b>	<b>1,91</b>
<b>hl. výz.</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>

### 6.3 Obsahy makroprvků v zrně a výnosové charakteristiky

V tabulce 6.7. jsou uvedeny hodnoty celkového obsahu dusíku v zrně pšenice. Nejvyšší obsah dusíku vykazovala varianta 20 t/ha a nižší varianta 40 t/ha. Mezi variantami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

Při sledování obsahu fosforu byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly při nižší hladině významnosti  $\leq 0,05$  mezi variantou kontrola (3727 mg/kg) a variantou hnojenou 10 t/ha digestátu (3366 mg/kg). Nejnižší obsah draslíku byl naměřen ve variantě kontrola (3605 mg/kg), kde byl obsah průkazně nižší než u varianty 10 t/ha (3961 mg/kg) při hladině významnosti  $\leq 0,01$ .

Tab. 6.7.: Celkové obsahy makroprvků v zrně pšenice

Varianta	% N	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
Kontrola	1,97	3476	3521	282	1063	950
	1,95	4050	3636	246	1128	1079
	1,97	3811	3557	252	1049	1017
	2,00	3572	3707	244	1047	1017
<b>Průměr</b>	<b>1,97</b>	<b>3727<sup>a</sup></b>	<b>3605<sup>a</sup></b>	<b>256<sup>a</sup></b>	<b>1072</b>	<b>1016</b>
10 t/ha	2,12	3153	4068	594	1164	961
	1,86	3680	4129	541	1050	1027
	1,92	3104	3873	442	1027	885
	1,92	3527	3775	320	1087	942
<b>Průměr</b>	<b>1,96</b>	<b>3366<sup>b</sup></b>	<b>3961<sup>b</sup></b>	<b>474<sup>b</sup></b>	<b>1082</b>	<b>954</b>
20 t/ha	1,91	3099	3908	302	1014	879
	2,08	2934	3968	272	1073	850
	1,97	3475	3793	334	1065	995
	1,99	3597	3814	336	1092	973
<b>Průměr</b>	<b>1,99</b>	<b>3276<sup>ab</sup></b>	<b>3870<sup>a</sup></b>	<b>311<sup>a</sup></b>	<b>1061</b>	<b>924</b>
40 t/ha	1,90	3593	3959	328	1110	994
	2,02	3808	3652	283	1025	1093
	1,83	3655	3400	280	1003	1009
	1,93	3762	3746	322	1100	1030
<b>Průměr</b>	<b>1,92</b>	<b>3705<sup>ab</sup></b>	<b>3689<sup>a</sup></b>	<b>303<sup>a</sup></b>	<b>1060</b>	<b>1032</b>
<b>F-test</b>	<b>0,55</b>	<b>3,38</b>	<b>4,49</b>	<b>8,84</b>	<b>0,20</b>	<b>3,18</b>
<b>hl. výz.</b>	<b>ns</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>

Průkazně nejvyšší obsah vápníku byl zjištěn ve variantě 10t/ha, a to při hladině významnosti  $\leq 0,01$ . Nejmenší hodnota vápníku byla naměřena ve variantě kontrola. Nejmenší hladinu hořčíku měla varianta hnojená 40 t/ha. Mezi obsahy Mg ani



S nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly v závislosti na variantě hnojení. Nejmenší naměřené obsahy síry byly ve variantě hnojené 20 t/ha digestátu a největší ve variantě 40 t/ha.

V tabulce 6.8. jsou zaznamenány výnosy pšenice. Nejvyšší průměrný výnos vykazovala varianta hnojená 40 t/ha digestátu a to 4,5 t/ha. Nejmenší průměrný výnos 3,9 t/ha byl naopak zjištěn u varianty 10 t/ha. Výnos zrna na nehnojené kontrolní variantě činil 4,0 t/ha a na variantě hnojené 20 t/ha digestátu 4,2 t/ha. Hodnota F-testu činila pouze 2,1. Rozdíly mezi variantami tedy nebyly statisticky průkazné.

Tab. 6.8. Výnosy pšenice

<b>Varianta</b>	<b>Kontrola</b>	<b>10 t/ha</b>	<b>20 t/ha</b>	<b>40 t/ha</b>
<b>Výnos t/ha</b>	4,3	4,1	3,7	4,3
	4,1	3,9	4,8	4,8
	3,9	4,1	4,1	4,1
	3,7	3,5	4,3	4,6
<b>Průměr</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>4,2</b>	<b>4,5</b>

Průměrný počet klasů jednotlivých variant vykazoval podobné tendence jako výnosy zrna. Největší průměrný počet klasů byl dosažen u varianty 40 t/ha (555 ks/m<sup>2</sup>), tedy u varianty hnojené největší dávkou digestátu. Varianta hnojená 10 t/ha měla naopak nejmenší počet klasů (529 ks/m<sup>2</sup>). Nehnojená kontrola měla větší počet klasů než varianta 10t/ha (534 ks/m<sup>2</sup>). U varianty 20 t/ha bylo zjištěno 543 klasů/m<sup>2</sup>. Se stoupající dávkou digestátu tedy stoupal i počet klasů. Rozdíly mezi variantami však ani zde však nebyly statisticky průkazné.

## 7. Diskuze

Ve vstupních odběrech půdních vzorků byly hodnoceny následující parametry: obsah P, K, Ca a Mg ve vodném výluhu a stanovených metodou Mehlich 3, hodnota pH, obsah přístupného amonného a nitrátového dusíku (metoda 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>).

Obsah fosforu stanoveného vodným výluhem se pohyboval v rozmezí 14-22 mg/kg. To je vyšší obsah, než udává MARSCHNER (1995). Podle něj se běžný obsah P v půdách pohybuje v rozmezí 0,8-8 mg/kg. Rovněž obsahy mobilního fosforu stanoveného metodou Mehlich 3 přesahovaly 200 mg/kg, což je dle hodnocení ÚKZÚZ považováno za velmi vysoké hodnoty.

Obsah draslíku v půdním roztoku činil vysokou hladinu 38-54 mg/kg. VANĚK et al., (2007) udává průměrný obsah draslíku v půdním roztoku 12 mg/kg. Hladina přijatelného draslíku činila 156-213 mg/kg. To koresponduje s výsledky VANĚK et al., (2007), kteří udávají hodnoty v rozmezí 50 – 640 mg/kg.

Naměřená hladina hořčíku 22-30 mg/kg v půdě byla nepatrně vyšší oproti výsledkům ČERNÝ et al., (2012) kteří udávají běžné rozmezí 2,5 – 25 mg/kg. Obsah mobilního hořčíku 156-218 mg/kg. ČERNÝ et al., (2012) udávají maximální obsah výměnného hořčíku v půdách do 250 mg/kg.

VANĚK et al., (2007) udávají průměrný obsah vápníku odpovídající 200 mg/kg v půdním roztoku. V našem případě byly naměřeny nižší hodnoty v rozmezí 126 – 165 mg/kg.

Hodnota pH se pohybovala v rozmezí 5,0 - 5,2, což odpovídá podle BLUME et al. (2002) nízké hodnotě. TROEH et THOMPSON, (2005) uvádějí hodnotu pH půdy pod 5,5 jako silně kyselou.

V půdních vzorcích odebraných po sklizni byly měřeny stejné parametry jako ve vstupních odběrech.

JOHANSEN et al., (2013) uvádí v pokusu s aplikací různých typů digestátů (z kejdy skotu a kukuřičné siláže, kejdy a jetelotrávy), že aplikace digestátů vedla ke 30 – 40 % navýšení obsahu nitrátového dusíku.

V našem případě se obsah nitrátového dusíku před založením a po sklizni pokusu prakticky nezměnil.

Hodnota pH v rozboru po sklizni se pohybovala 5,0 – 5,1. Ve srovnání s pH vstupních rozborů tedy nedošlo k výrazným změnám. HEZKÝ (2012) publikoval výsledky polního pokusu se separovaným digestátem, LAV a kompostem, ve kterém

se bude dlouhodobě sledovat vliv digestátu na půdní vlastnosti, výnos a kvalitu brambor. V prvním roce pokusu výměnná půdní reakce kolísala v rozmezí 5,3 – 6,0. Hnojení digestátem mělo průkazně okyselující účinek.

Ani obsah fosforu stanoveného vodným výluhem i metodou Mehlich 3 se po aplikaci digestátu výrazně nezměnil. Naproti tomu HEZKÝ (2012) ve svých pokusech uvádí, že obsah přístupného fosforu po hnojení digestátem statisticky významně stoupl. Na obsah ostatních prvků v půdě nemělo hnojení průkazný vliv.

Naměřená % organického uhlíku po sklizni kolísaly mezi hodnotami 1,68 – 1,91%. Ve srovnání se vstupními hodnotami 1,73 - 2,10 % se obsah spíše snížil. KOLÁŘ (2012) ověřil vysokou stabilitu organických látek v digestátu, které těžko mineralizují a tak nepodpoří mikrobiální aktivitu půdy.

Rozbory zrna byly zaměřené na hladinu % N, P, K, Ca, Mg a S.

Naměřené % N se pohybovalo v rozmezí 1,92 – 1,99 %. VANĚK et al., (2007) uvádí vyšší průměrný obsah 2,3 % N.

Obsah fosforu s nízkou hladinou významnosti se pohyboval mezi 2934 – 4050 mg/kg. To koresponduje s výsledky VANĚK et al., (2012), kteří uvádějí, že se obsah fosforu v zrně pšenice pohybuje kolem 3700 mg/kg.

Hodnoty draslíku 3400 – 4129 mg/kg jsou nižší, než průměrná hodnota 4500 mg/kg, kterou udávají VANĚK et al., (2012).

Rozmezí obsahu vápníku 244 – 594 mg/kg zjištěné v této práci je spíše nižší, než průměrný obsah 600 mg/kg uvedený v publikaci VANĚK et al., (2007). Ti dále uvádějí hladinu hořčíku 1800 mg/kg, která je výrazně vyšší než námi neměřené hodnoty 1003 – 1164 mg/kg.

Hladina makroprvků v zrně pšenice zpravidla korespondovala s obsahy v půdě, což vede k přesvědčení, že i obsah makroprvků v zrně byl z větší míry ovlivněn jinými vlivy než dávkou digestátu.

Výnos zrna pšenice se pohyboval od 3,9 – 4,5 t/ha. Varianta kontrola měla výnos 4 t/ha. Se zvyšující se dávkou digestátu narůstal i výnos. Stejný trend hodnot byl zaznamenán i v počtu rostlin na m<sup>2</sup>.

ABUBAKER et al., (2012) testovali jako hnojivo 4 různé digestáty ve srovnání s variantou hnojenou minerálním NPK u jarní pšenice s vypočtenou stejnou dávkou N. Ve svých pokusech dosáhli vzájemně srovnatelných výnosů pšenice.

KOLÁŘ et al. (2012) testovali hnojení digestátem u ranných brambor na těžkých půdách. V prvním roce pokusu dosáhli o 12 % vyššího výnosu u varianty

s digestátem, než na variantě hnojené minerálními hnojivy. Ukázalo se, že vyšší výnosový efekt vyvolalo zlepšující schopnost fyzikálních vlastností půdy.

BOUGNOM et al., (2012) testovali různé odpady ze zdrojů obnovitelné energie včetně digestátu jako hnojivo pro pastviny. Po aplikaci digestátu a popele (2 oddělené varianty) dosáhli průkazně vyšších výnosů píce ve srovnání s variantou hnojenou hnojem. Zároveň však zdůrazňují, že se jedná pouze o jednoleté výsledky a pro důkaz dlouhodobé efektivity je nutné i dlouhodobé opakování pokusu.

## 8. Závěr

Separovaný digestát je odpadem z bioplynových stanic, jejichž množství v ČR i v zahraničí stále narůstá. Vzhledem k jeho vysokému obsahu živin, zejména dusíku a draslíku se jako výhodná alternativa jeví jeho použití ke hnojení. Cílem pokusu bylo tedy testování separovaného digestátu jako hnojiva pro jarní pšenici.

Byl založen maloparcelkový pokus se čtyřmi variantami hnojení. Oproti kontrolní nehnojené variantě byly testovány 10, 20 a 40 t/ha separovaného digestátu.

Půdní vzorky odebrané před založením a po skončení pokusu byly analyzovány metodami Mehlich 3 a vodným výluhem na obsahy přístupného P, K, Ca a Mg. Obsah dusíku a hodnota pH byly stanoveny v 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>. Dále byl v půdních vzorcích stanoven i celkový obsah organického uhlíku.

Ve sklizeném zrně rostlin byl rovněž analyzován celkový obsah všech makroprvků (N, P, K, Ca, Mg a S). Dále byly hodnoceny výnosy rostlin a počet rostlin na m<sup>2</sup>.

Ze vstupních rozborů je zřejmé, že se jednalo o pozemek vhodný k založení pokusu. V obsahu jednotlivých makroprvků se nevyskytovaly výrazné rozdíly. Obsahy dusíku se pohybovaly v rozmezí 17 - 23 mg/kg (N-NO<sub>3</sub>) a 3,5 - 4,5 mg/kg (N-NH<sub>4</sub>), obsahy přístupného draslíku, hořčíku a vápníku činily 156 - 213 mg K/kg, 1762 - 1986 mg Ca/kg, respektive 156-218 mg Mg/kg. Výraznější rozdíly byly zjištěny pouze u fosforu (Mehlich 3), kde se hodnoty pohybovaly od 160 do 223 mg P/kg. Obsah celkového organického uhlíku činil 1,7 - 2,1 % a hodnota pH byly 5,0-5,5.

V obsahu přístupných živin, obsahu organického uhlíku a hodnotě pH ve vzorcích odebraných po sklizních pokusech se zpravidla nevyskytovaly průkazné rozdíly mezi sledovanými variantami hnojení. Pouze v případě vápníku byly zjištěny průkazně vyšší hodnoty ve variantách hnojených 10 a 40 t/ha digestátu ve srovnání s nehnojenou kontrolou. Ve vodném výluhu byly zjištěny podobné tendence ve změnách obsahu prvků jako ve výluhu Mehlich 3. Hodnoty ale byly přibližně 10x nižší.

Mezi obsahy N, Mg a S v zrně pšenice se rovněž nevyskytly statisticky průkazné rozdíly. Obsahy P, K, a Ca byly průkazně vyšší u varianty hnojené 10 t/ha

digestátu. Toto zvýšení však bylo pravděpodobně způsobeno nejen vlivem digestátu, ale i dalšími faktory.

Rovněž mezi výnosy zrna a počtem klasů nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl, s přidavkem digestátu se však výnos i počet klasů zvyšoval.

Ve většině případů se nepodařilo prokázat vliv separovaného digestátu na vlastnosti sledovaných parametrů v půdě, čímž jsme došli k přesvědčení, že pokus ovlivnily podmínky stanoviště. Aplikací separovaného digestátu nedošlo zpravidla ani k průkaznému ovlivnění výnosových parametrů a obsahu makroprvků v zrně. Pro získání přesnějších výsledků je nutné provést opakování pokusu, aby bylo vyloučeno působení půdně-klimatických faktorů.

## 9. Použitá literatura

- ABUBAKER, J., RISBERG, K., PELL, M. 2012. Biogas residues as fertilisers – Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*. 99: 126-134.
- ALBUQUERQUE, J.A., FUENTE, C., BERNAL, M.P. 2012. Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 160: 15-22.
- ALBURQUERQUE, J.A., FUENTE, C., FERRER-COSTA, A., CARRASCO, L., CEGARRA, J., et al. 2012: Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy* 40: 181-189.
- BABIČKA, L. 2012. Digestát z kejdy je kvalitní organické hnojivo. *Energie* 21. 4. 20 – 23. ISSN: 1803 – 0394.
- BENDA, V., DOLEŽALOVÁ, H., DUŠIČKA, P., HANSLIAN, D., JEVIČ, P., et al. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha. 2012. 208 s. ISBN: 978-80-86726-48-9.
- BILÍK, J., BLÁHA, A., BUREŠ, J., DLOUHÝ, T. et al. *Odpad je nevyčerpatelný zdroj energie*. Odpadové fórum, Praha. 2010. 19 s. ISBN: 978-80-85990-15-7.
- BLUME, H.P., BRÜMMER, G.V., SCHWERTMANN, U., HORN, R., et al. 2002. *cheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*, Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart. 607 p. ISBN: 3-8274-1324-9.
- BOUGNOM, B. P., NIEDERKOFER, C., KNAPP, B.A., STIMPFL, E., INSAM, H. 2012. Residues from renewable energy production: Their value for fertilizing pastures *Biomass and Bioenergy* 39: 290-295.
- BUSTAMANTE, M.A., ALBURQUERQUE, J.A., RESTREPO, A.P., FUENTE, C., PARADES, C., et al. 2012. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. *Biomass and Bioenergy* 43: 26-35.
- ČERNÝ, J., KULHÁNEK, M., VAŠÁK, F., SCHEJBALOVÁ, Š. 2012. Hořčík často opomíjený prvek ve výživě. *Zemědělec*. 20. 28. 10 -12. ISBN: 1211-3816.
- ČSN 46 1011–18, 2003. Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin. Část 18: Zkoušení obilovin: Stanovení obsahu dusíkatých látek. Český normalizační institut. 8.
- ERHART, E. 2008. IN: DUBSKÝ, M., TLUSTOŠ, KAPLAN, L. 2012. Racionální požití hnojiv - Sborník z konference - Využití pevné fáze digestátu pro přípravu

- pěstovaných substrátu. Česká zemědělská univerzity v Praze. 215 s. ISBN: 978-80-213-2331-5.
- EXCEL. 2007. Microsoft Office Excel 2007. Microsoft office systém. Microsoft corporation. verze 12.0.6665.5003. USA.
- GONZÁLEZ - GARCÍA, S., BACENETTI, J., NEGRI, M., FIALA, M., ARROJA, L. 2013. Comparative environmental performance of three different annual energy crops for biogas production in Northern Italy. *Journal of cleaner production*. 43: 71-83.
- HOUBA, V. J. G., NOVOZAMSKY, I., TEMMINGHOFF, E. 1994. Soil analysis procedures. Extraction with 0.01M CaCl<sub>2</sub>. *Soil and Plant Analysis*. Part 5. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 66.
- HEZKÝ, P. 2012. Využití digestátu jako hnojiva. *Farmář*. 11. 28 - 29. ISSN: 1210 – 9786.
- JOHANSEN, A., CARTER, M. S., JENSEN, E. S., HAUGGARD-NIELSEN, H., AMBUS, P., 2013. Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant material on soil microbial community and emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O. *Applied Soil Ecology*. 63. 36–44.
- KAJAN, M., LHOTSKÝ, R. 2006 Sborník konference Výstavba a provoz bioplynových stanic. Třeboň. Praha. 156 s. ISBN: 80-239-7756-3.
- KÁRA, J., PASTOREK, Z., PŘIBYL, E. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Praha. 120 s. ISBN: 978-80-86884-28-8.
- KORDOVÁ, J. 2012. Stanice vyrábí elektřinu teplo a hnojivo. *Energie* 21. 5. 24 - 25. ISSN: 1803–0394.
- KULHÁNEK, M., ČERNÝ, J., KAPLAN, L., HOLEČKOVÁ, Z., BALÍK, J. 2012. Sborník - Racionální použití hnojiv. Využití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu pro pěstování bazalky. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. 215 s. ISBN: 978-80-213-2331-5.
- LUSCOMBE, P.C., SYERS, J.K., GREGG, P.E.H. 1979. Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 10: 1361-1369.
- MARSCHNER, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego CA. USA. 889 p. ISBN: 0-12-473542-8.
- MEHLICH, A., 1984. Mehlich 3 soil test extractant. A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15: 1409-1416.



- PÖSCHL, M., WARD, S., OWENDW, P. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Applied Energy*. 87: 3305-3321.
- RAYMENT, G.E., LYONS, D.J., 2011. *Soil Chemical methods - Australasia*. CSIRO Publishing. Melbourne. 495 p.
- SIMS, J.R., HABY, V.A. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Science* 112. 137-141.
- STRAKA, F., DAHANYOS, M., ZÁBRANSKÁ, J., JENÍČEK, P., DĚDEK, J., et al. 2006. *Bioplyn*. GAS s.r.o., II. Vydání. Praha. 706 s. ISBN: 80-7328-090-6.
- TAMBONE, F., SCAGLIA, B., D'IMPORZANO, G., SCHIEVANO, A., ORZI, V., SALATI, S. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and kompost *Chemosphere*. 81: 577-583.
- TROEH, F. R., THOMPSON, L. M. 2005. *Soils and soil fertility*, sixth edition, Blackwell Publishing Professional. Iowa. USA. 489 s. ISBN: 0-8138-0955-X.
- VANĚK, V., BALÍK, J., PAVLÍKOVÁ, D., TLUSTOŠ, P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press. s.r.o. Praha. 167 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.
- VANĚK, V., BALÍK, J., ČERNÝ, J., PAVLÍK, M., PAVLÍKOVÁ, D., TLUSTOŠ, P., VALTERA, J. 2012. *Výživa Zahradních rostlin*. Academia. Praha. 2012. 570 s. ISBN: 978-80-200-2147-2.
- ZIMOLKA, J., EDLER, S., HRIVNA, L., JÁNSKÝ, J., KRAUS, P., et al. 2005. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press. Praha. 179 s. ISBN: 80-867-2609-6.

### **Internetové zdroje**

- AUTERSKÁ, P. Problematika zápachu na bioplynových stanicích. *Biom.cz* 2010-07-26 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-stanicich>>. ISSN: 1801-2655.
- BABIČKA, L. Významný přínos výroby bioplynu. *Listy cukrovarnické a řepařské*. [online]. 2010-10-2 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z <[http://biom.cz/cz-BPSVystavba/odborne-clanky/vyznamny-prinos-vyroby-bioplynu?add\\_disc=1](http://biom.cz/cz-BPSVystavba/odborne-clanky/vyznamny-prinos-vyroby-bioplynu?add_disc=1)>. ISSN: 1210-3306.
- CZ BIOM. Nakládání s digestátem, možnost využití jako kvalitní hnojivo. *Biom.cz* [online]. [cit. 2012-12-13]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-digestatem-moznost-vyuziti-jako-kvalitni-hnojivo>>. ISSN: 1801-2655.

DOHÁNYOS, M. Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace. Biom.cz [online]. 2008-11-17 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>. ISSN: 1801-2655.

DVOŘÁČEK, T., ROSENBERG, T., TLUKA, P., HABART, J. 2009. Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO. Státní fond životního prostředí České republiky. Biom.cz [online]. 2009-08 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z <<http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplynky.pdf>>

HLAVINKOVÁ, P., ŠEVČÍK, V. Ekologické zpracování bioodpadů na minerální hnojivo a biopalivo technologií EKOBIOPROGRES. Biom.cz [online]. 2002-11-19 [cit. 2013-02-01]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekologicke-zpracovani-bioodpadu-na-mineralni-hnojivo-a-biopalivo-technologie-ekobioprogres>>. ISSN: 1801-2655.

HLUŠEK, J. Statková hnojiva – močůvka. [online]. 23-01-2004 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z <[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/mocuvka](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/mocuvka)>.

MARTIŠKOVÁ, P. Hnojiva šetrná k přírodě. Biom.cz [online]. 2009-11-01 [cit. 2013-01-17]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/hnojiva-setrna-k-prirode>>.

KOLÁŘ, L., VANĚK, V., KUŽEL, S. Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv - sborník z konference. Biom.cz [online]. 2010-07-14. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-bioplynovych-panic>>. ISBN: 978-80-213-2006-2.

PAWLICA, P. Sušení odpadním teplem z bioplynové stanice. Biom.cz [online]. 2010-05-24 [cit. 2012-12-13]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynove-panic>>. ISSN: 1801-2655.

VÁŇA, J. Využití digestátů jako organického hnojiva. Biom.cz [online]. 2007-04-25 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.

VÁŇA, J. Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Biom.cz. [online]. 2010-05-10 [cit. 2012-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-panic-na-vyuziti-bioodpadu>>. ISSN: 1801-2655.

URBAN, J. Hlavní zásady přípravy výstavby bioplynové stanice. Biom.cz [online]. [cit. 2011-06-14]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/hlavni-zasady-pripravy-vystavby-bioplynove-panic>>. 2010. ISSN: 1801-2655.

VRBA, V., HULEŠ, L. Humus - půda - rostlina (15) Minerální hnojiva. Biom.cz. [online]. 2007-04-06 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-15-mineralni-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.