

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Použití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu
pro pěstování gazánie**

Bakalářská práce

Autor práce: Šandová Helena

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

© 2013 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Použití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu pro pěstování gazánie " jsem vypracovala s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 9.4.2013

Helena Šandová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph. D., za pomoc při analýze vzorků, za hodnotné připomínky a především za jeho trpělivost. Také bych ráda poděkovala své rodině a příteli za jejich podporu při studiu.

Použití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu pro pěstování gazánie

Using of unseparated digestate as a component of growing substrate for *gazania rigens* cropping

Souhrn

V dnešní době narůstá počet bioplynových stanic. Narůstá i množství odpadu z bioplynových stanic. Proto musíme přemýšlet o využití toho odpadu, který nazýváme digestát. Digestát se může používat jako neseparovaný, nebo ho můžeme separovat na fugát a separát. Typickými vlastnostmi digestátu jsou vyšší hodnota pH (7,0 – 8,0) a vysoký obsah živin. Na těchto vlastnostech byl založen náš pokus.

Pokus spočíval v tom, že byly porovnávány běžné pěstební substráty se substráty vzniklými přidáním neseparovaného digestátu do rašeliny. Byla použita různá množství digestátu (10, 20 a 25% objemových). Do všech substrátů byly vysazeny sazenice *Gazania rigens*. V substrátech byl před založením pokusu i po jeho sklizni měřen obsah přístupných makroprvků. Po určité době byly jako ukazatel vhodnosti substrátu použity rostliny, v sušině jejich nadzemní hmoty byl stanoven celkový obsah makroprvků. Dalšími měřenými faktory byly například počet květů, hmotnost jejich nadzemní hmoty či obsah sušiny v nadzemní hmotě.

S výjimkou obsahu vápníku se potvrdilo, že po smíchání rašeliny a neseparovaného digestátu dojde k nárůstu hodnoty pH a obsahu makroprvků ve vzniklých substrátech. Podle naměřených hodnot lze usoudit, že nejlepší kombinace rašeliny a digestátu je v poměru 25 % digestátu a 75 % rašeliny. Tento substrát je v mnoha ohledech vhodnější pro pěstování gazánie než běžné substráty, se kterými byl porovnáván. Gazánie pěstované v substrátu s 25 % digestátu měly největší počet květů a zpravidla i celkový obsah makroprvků v sušině.

Klíčová slova: Neseparovaný digestát, rašelina, pěstební substrát, *Gazania rigens*

Summary

Nowadays, the number of biogas stations increases. The quantity of waste from biogas stations increases too. Therefore, we must think about the use of waste, so called digestate. Digestate can be used as an unseparated, or we can separate fugate and separate from it. Characteristics of the digestate are a higher pH value (7.0 – 8.0) and high nutrient content. Our experiment was established based on these properties.

Experiment consisted in the fact that the common growing media were compared with media generated by the addition of unseparated digestate in peat. We used various amounts of digestate (10, 20 and 25 % vol.). *Gazania rigens* plants were planted to all used substrates in greenhouse experiment. The contents of bioavailable macronutrients were measured in the substrates before and after harvest of the plants. The total content of macronutrients in above ground biomass was measured after the harvest of gazania, together with number of flowers, weight of above ground biomass and its dry matter content.

Mixing the increasing content of unseparated digestate into the peat led to increasing pH value. The highest nutrients contents in substrates and in plants after harvest, except of calcium, were usually reached at the treatment with 25 % unseparated digestate. This substrate is in many ways more suited to the cultivation of *Gazania rigens* than common substrates with which was compared. *Gazania rigens* grown in medium with 25% of digestate had the most number of flowers and usually had also the largest content of macronutrients in the dry matter.

Keywords: Unseparated digestate, peat, growing medium, *Gazania rigens*

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíl práce	8
3 Literární přehled	9
3.1 Bioplyn	9
3.2 Anaerobní fermentace	9
3.2.1 Fáze anaerobní fermentace	10
3.3 Zařízení na výrobu bioplynu, bioplynová stanice (BPS)	12
3.3.1 Rozdělení zařízení na výrobu bioplynu	13
3.3.2 Základní části bioplynových stanic	14
3.4 Substráty vhodné pro výrobu bioplynu	16
3.4.1 Exkrementy hospodářských zvířat	16
3.4.2 Obnovitelné rostlinné suroviny.....	17
3.4.3 Odpadní materiály.....	17
3.5 Digestát a jeho využití	18
3.5.1 Vlastnosti digestátu.....	18
3.5.2 Digestát jako hnojivo.....	19
3.5.3 Použití digestátu.....	20
3.5.4 Skladování digestátu	21
3.5.5 Registrace digestátu.....	22
3.5.6 Digestát jako odpad	23
3.6 Přehled významu makroprvků sledovaných v pokusu	23
3.6.1 Fosfor (P)	23
3.6.2 Draslík (K)	24
3.6.3 Vápník (Ca)	26
3.6.4 Hořčík (Mg).....	27
4 Metodika a materiál	29
4.1 Informace o pokusu	29
4.1.1 Popis pokusu s <i>Gazania rigens</i> , (L.)	29
4.2 Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3	30
4.3 Stanovení hodnoty pH	30
4.4 Analýzy rostlin	30
4.5 Zpracování výsledků	31
5 Výsledky	32
6 Diskuse	37
7 Závěr	40
8 Použitá literatura	42
9 Samostatná příloha	44

1 Úvod

Bioplynové stanice (dále jen BPS) jsou moderní a hlavně ekologická zařízení, která se běžně provozují v celé Evropské unii. Zpracovávají širokou škálu materiálů nebo odpadů organického původu prostřednictvím procesu anaerobní fermentace za nepřístupu vzduchu. Výsledkem procesu jsou pak bioplyn, který je zatím nejčastěji používán k efektivní výrobě obnovitelné elektřiny a tepla, a dále digestát, který lze používat jako kvalitní hnojivo (obdoba kompostu).

BPS a výroba bioplynu obecně má řadu pozitivních a celospolečenských přínosů. Bioplyn je podle zákona č. 180/2005 Sb. hodnocen jako obnovitelný zdroj energie a elektrická a tepelná energie z něj vyrobená je tedy ekologicky šetrná. Hlavní přínosy lze shrnout následovně:

- z hlediska obnovitelných zdrojů má ČR právě v bioplynu jeden z největších a navíc rychle mobilizovatelných potenciálů
- jeho uplatnění může nejen významně pomoci při plnění závazku ČR vůči EU v oblasti obnovitelných zdrojů, ale také může přispět ke snížení závislosti ČR na fosilních palivech
- pro obce a města jsou BPS ve vhodných lokalitách efektivním způsobem řešení zpracování bioodpadů a jejich aktivního odklonu ze skládek v souladu s požadavky legislativy
- pro venkov jsou BPS jednou z možností, jak zajistit jeho rozvoj a podporu zaměstnanosti. Zemědělcům nabízejí reálnou alternativu pro smysluplné využití zemědělské půdy a novou podnikatelskou příležitost.

BPS umožňují realizaci přirozeného koloběhu živin v půdě a náhradu minerálních hnojiv. Výsledkem řádného fermentačního procesu je stabilizovaný digestát, který může mít široké uplatnění, zejména jako hnojivo.

Pokud tedy dochází k rozvoji výstavby bioplynových stanic, je zřejmé, že narůstá i množství odpadu z BPS, tedy digestátu. Jeho využití jako hnojiva je známý fakt. Je však potřeba upřesnit jak ho pro hnojení využívat, jaké plodiny přihnojovat a v jakém množství ho do půdy nebo do substrátu přidávat pro optimální výnos a kvalitu pěstovaných rostlin.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vytvoření optimálního pěstebního substrátu pomocí testování různých kombinací neseparovaného digestátu s rašelinou, a to zejména z hlediska přístupných forem vybraných makroprvků (P, K, Ca, Mg) v substrátu, výnosu, obsahu vybraných makroprvků (P, K, Ca, Mg) v nadzemní hmotě gazáníí (*Gazania rigens*) a dalších kvalitativních parametrů.

3 Literární přehled

3.1 Bioplyn

Pojmem „bioplyn“ se v současném technickém názvosloví označuje plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek. Bioplynem se zpravidla označuje plynná směs metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). V plynném produktu dobře prosperujících metanogenních mikroorganismů (MK), představuje souhrn CH_4 a CO_2 hodnoty blízké 100 % obj., vždy s výraznou převahou obsahu metanu. Nicméně s bioplynem o takovémto složení se lze zpravidla setkat zřídka, neboť většinou je součástí bioplynu vedle CH_4 a CO_2 ještě celá řada dalších plynů, například vodík (H_2), dusík (N_2), kyslík (O_2), sulfan (H_2S), oxid dusný (N_2O), kyanovodík (HCN) a sirné deriváty uhlovodíků (ALTMANN a kol. 2010).

Plynná směs obsahuje cca 50 – 70 % metanu, 25 – 55 % oxidu uhličitého, 5 % vodní páry a 5 % dusíku, vodíku a kyslíku. (KOUŘA a kol. 2008)

3.2 Anaerobní fermentace

Proces vzniku bioplynu můžeme označit jako biologický rozklad organických látek, který se nazývá anaerobní fermentace, metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace či biochemická konverze organických látek. V přírodě může probíhat za určitých podmínek samovolně. V našem případě je tento proces vyvolán záměrně v bioplynových stanicích (BPS) pomocí biotechnologických zařízení.

Anaerobní fermentace je složitý proces na sebe navazujících biologických procesů. Podílí se na nich několik skupin anaerobních MK, metanogenních, acidogenních a hydrolytických, přičemž produkt jedné skupiny MK se stává potravou pro další.

KÁRA a kol. (2007) uvádějí, že průběh tohoto procesu ovlivňuje řada dalších procesních a materiálových parametrů, například složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, hodnota pH, anaerobní prostředí, absence inhibičních biochemických látek atd.

První fáze metanové fermentace začínají často za přítomnosti kyslíku, tudíž neprobíhají za přítomnosti samotných metanogenních MK (metanogenů), které jsou striktně anaerobní, ale za přítomností fakultativních anaerobů. Tito fakultativní anaerobové jsou zastoupeni hydrolytickými a acidogenními MK, které jsou schopné činnosti jak za přítomnosti kyslíku, tak za jeho nepřítomnosti a dokáží svou činností poměrně rychle vytvořit podmínky vhodné pro metanogeny.

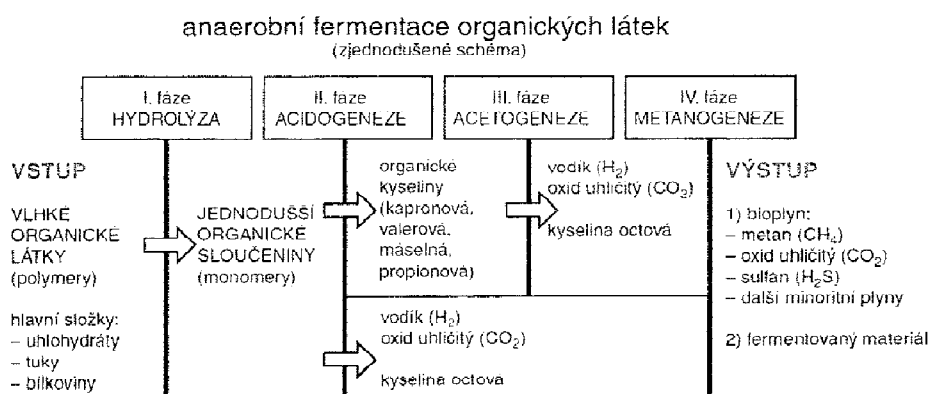
Acidogeny přitom produkují oba hlavní substráty pro tvorbu metanu. Těmito substráty je jednak kyselina octová (CH_3COOH), která je zpracovávána na metan tzv. autotrofními metanogeny a jednak směs vodíku (H_2) a oxidu uhličitého (CO_2), která je ještě rychleji konvertována na metan hydrogenotrofními metanogeny (STRAKA a kol. 2010).

Proces anaerobní fermentace postupuje přes několik stádií, která ve většině technických zařízení probíhají simultánně. Při dosažení stádia tzv. stabilizované metanogeneze jde vlastně o dlouhodobě udržovanou rovnováhu mezi navazujícími procesy, hlavně pak mezi procesy acidogenními a metanogenními. Charakteristickým rysem probíhající metanogeneze je nárůst hodnoty pH. V kulturách, kde jsou aktivní pouze acidogeny, může být pH relativně velmi nízké, v rozmezí 4,0 – 5,8. Rozvoj metanogenů pak přináší vzestup pH do oblasti 6,0 – 7,0 i výše (STRAKA a kol. 2010).

3.2.1 Fáze anaerobní fermentace

Anaerobní fermentaci rozdělujeme do čtyř fází podle probíhajících dějů. Tyto fáze nazýváme hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze (obr 3.1).

Obr. 3.1 : Zjednodušené schéma anaerobní fermentace (KÁRA a kol. 2007)



3.2.1.1 Hydrolýza

Hydrolýza je první fází anaerobního rozkladu organické hmoty a začíná ještě v prostředí s obsahem kyslíku. Jednou z podmínek započnutí fáze je vysoký obsah vlhkosti, nad 50 %. Dochází při ní k rozkladu makromolekulárních látek (polymerů), jako jsou polysacharidy, lipidy a proteiny, pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů vylučovaných fermentačními bakteriemi. Rozkladem vznikají látky nízkomolekulární (monomery), které jsou schopné transportu do buňky, kde jsou dále rozkládány (ALTMANN a kol. 2010),(KÁRA a kol. 2007).

Jako příklad metan produkujících MK uplatňujících se ve fázi hydrolýzy STRAKA a kol. (2010) uvádějí následující: *Methanobacterium bryantii*, *Methanobacterium formicum*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Methanobacterium ruminatum* *Methanococcus vannielii* atd.

3.2.1.2 Acidogeneze

V této fázi dochází ke spotřebování posledních zbytků kyslíku a tím k vytvoření anaerobního prostředí. Produkty hydrolýzy se dále rozkládají na jednodušší látky – nižší nasycené mastné kyseliny, alkoholy, CO₂ a H₂. Z nich fermentací vznikají konečné produkty, tedy hlavně kyselina octová (CH₃COOH), CO₂ a H₂

Hydrolýzu a acidogenezi zajišťují velmi pestré a početné kultury příslušející k čeledím *Streptococcaceae* a *Enterobacteriaceae* a k rodům *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* a dalším (ALTMANN a kol. 2010), (KÁRA a kol. 2007), (STRAKA a kol. 2010).

3.2.1.3 Acetogeneze

Acetogeneze je třetím stádiem anaerobního rozkladu organické hmoty. Je to zvláštní případ acidogeneze. Při acetogenezi probíhá tvorba kyseliny octové, obecněji pak „Syntrofní acidogeneze“. Bakterie tzv. syntrofních druhů jsou klíčové pro anaerobní rozklady. Jednak produkují kratší alifatické kyseliny a jednak přitom produkují směs CH₄ a CO₂.

V tomto stádiu také probíhá oxidace vyšších produktů acidogeneze na H₂, CO₂ a kyselinu octovou (CH₃COOH). Příkladem MK účastnících se této fáze jsou

Syntrophobacter wollinii, *Syntrophomonas wolfei*, *Syntrophus buswellii* a další (ALTMANN a kol. 2010), (STRAKA a kol. 2010).

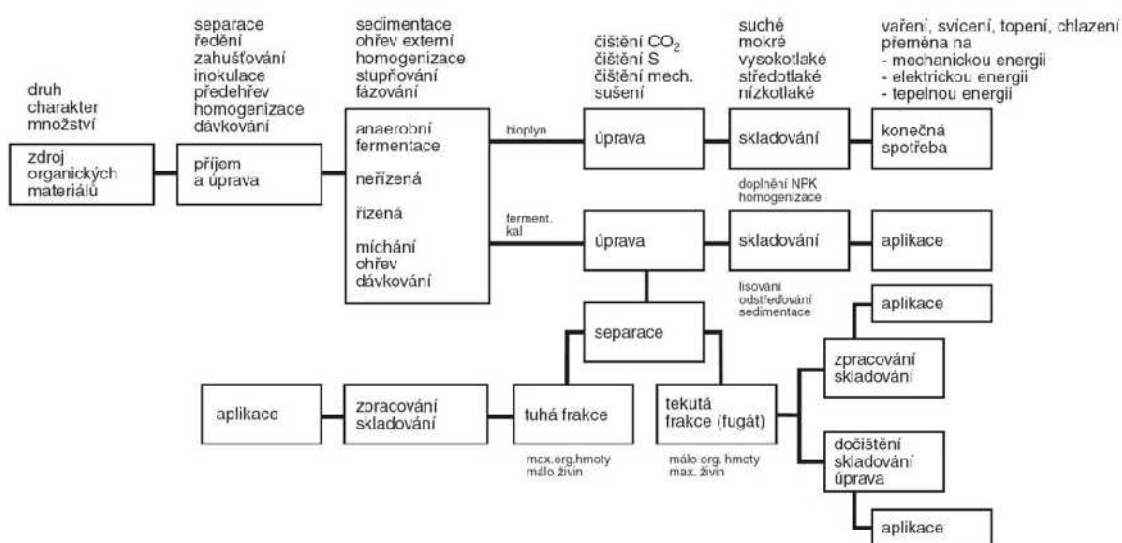
3.2.1.4 Metanogeneze

Metanogeneze je čtvrtá fáze anaerobní fermentace organické hmoty, ve které již dochází k rozkladu kyseliny octové na CH_4 a CO_2 acetotrofními metanogeny. Hydrogenotrofní MK produkují CH_4 z H_2 a CO_2 . V této fázi tedy dochází ke vzniku bioplynu a fermentačních zbytků (digestátu) (KÁRA a kol. 2007), (STRAKA a kol. 2010).

3.3 Zařízení na výrobu bioplynu, bioplynová stanice (BPS)

Systémy pro výrobu bioplynu nemají příliš dlouhý historický vývoj. Metanogenní MK jsou sice velmi staré organismy, avšak k rozvoji technologií anaerobní fermentace došlo až na počátku 20. století. Původně tyto technologie vznikly jako technologie čistírenské pro čištění odpadních vod a vlastní bioplyn byl jen vedlejší produkt používaný k vytápění čistírenských budov. V 70. letech 20. století byla výroba bioplynu používána čistě k energetickým účelům. V dnešní době mohou mít tato zařízení mnoho variant (např. obr. 3.2).

Obr. 3.2: Schéma zařízení na výrobu bioplynu (KÁRA a kol. 2007)



3.3.1 Rozdělení zařízení na výrobu bioplynu

Tato zařízení můžeme dělit z několika hledisek, podle vlastností reagujícího materiálu, podle dávkování materiálu, podle velikosti pevných částic či podle vlhkosti zpracovávaného materiálu. Hlavním hlediskem je však dělení podle zpracovávaného substrátu.

3.3.1.1 Zemědělské BPS

Zemědělské bioplynové stanice jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, resp. podestýlky. V 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.

3.3.1.2 Čistírenské BPS

Čistírenské BPS zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod (ČOV) a jsou jejich nedílnou součástí. 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 ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. V případě, že jsou do těchto nádrží na anaerobní vyhnívání přidávány jiné odpady podle zákona o odpadech, jedná se o ostatní bioplynovou stanici.

3.3.1.3 Ostatní BPS

Bioplynové stanice zpracovávající ostatní vstupy mohou zpracovávat např. bioodpady. Pokud BPS zpracovávají vedlejší živočišné produkty (VŽP), spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 a musí plnit podmínky v něm stanovené, jako je např. hygienizace suroviny/odpadů (pasterizace, vysokoteplotní hygienizace) (MŽP 2008).

Další způsob rozdělení bioplynových stanic může být podle dávkování surového materiálu na:

Diskontinuální: Doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru; používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů.

Semikontinuální: Doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru; je to nepoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů.

Kontinuální: Používá se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny.

Nebo podle podílu vlhkosti zpracovávaného materiálu:

Bioplynové technologie na zpracování tuhých materiálů: vysokosušivé s podílem sušiny 18 – 30 %; výjimečně až 50 %.),

Bioplynové technologie na zpracování tekutých materiálů: s nízkým podílem sušiny 0,5 – 3 % a negativní energetickou bilancí, resp. s vyšším podílem sušiny 3 – 14 % a pozitivní energetickou bilancí.),

Bioplynové technologie kombinované (KÁRA a kol. 2007).

3.3.2 Základní části bioplynových stanic

Strojní části v různých BPS mohou být odlišné. Tento oddíl je zaměřen na základní části BPS podle návaznosti v procesu anaerobní fermentace.

3.3.2.1 Příjmová a přípravná část

Slouží především k evidenci přijímaného materiálu, tzn. zjišťuje se zde jeho množství a charakter.

Pokud materiál z nějakého důvodu plně nevyhovuje požadavkům dalšího zpracování, je v této části upravován. Například se provádí odstraňování nežádoucích příměsí nebo zahušťování řídkého materiálu.

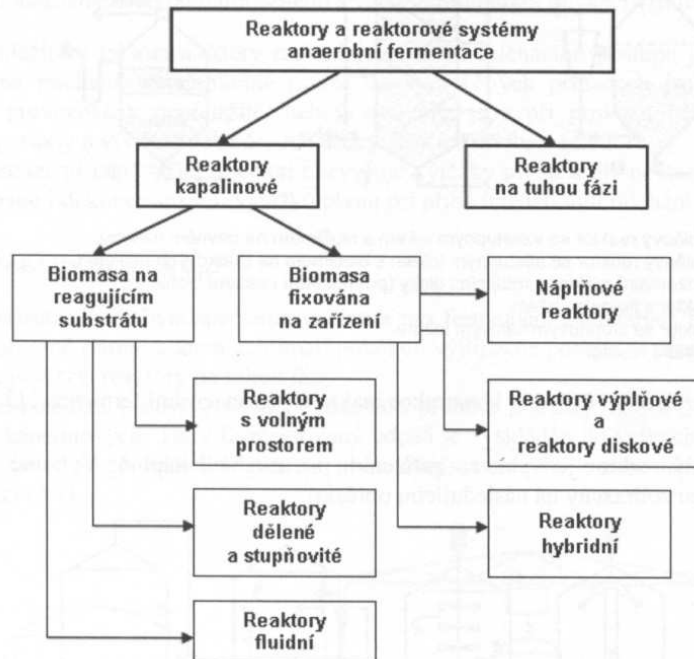
3.3.2.2 Reaktor

Reaktor neboli fermentor je nejdůležitější součástí celé BPS. V něm probíhá samotná anaerobní fermentace materiálů. Prostředí v reaktoru bývá řízené, aby se

dosáhlo optimálních podmínek pro rozvoj mikrobiálních kultur. Proto bývá vybaven míchacím zařízením, ohřevem, homogenačním a dávkovacím zařízením.

Možné rozdělení reaktorů je znázorněno na obr. 3.3.

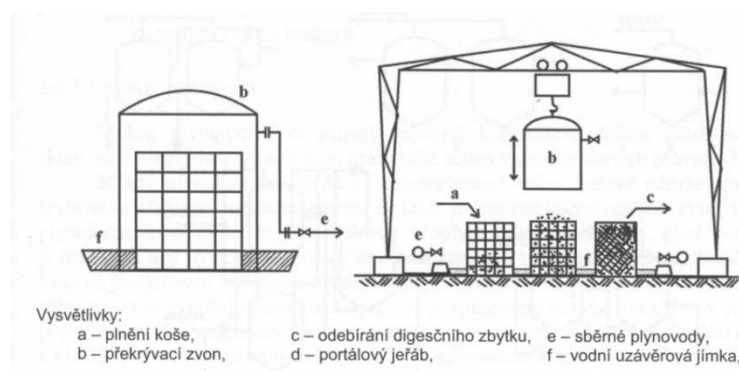
Obr. 3.3: Rozdělení reaktorů a reaktorových systémů anaerobní fermentace (ALTMANN a kol. 2010)



Reaktory na tuhou fázi (suchá fermentace) jsou určeny pro zpracování materiálů s obsahem sušiny nad 20 %, jako jsou steliva a slámy.

Fermentační proces v těchto reaktorech probíhá pomaleji než u „tradičních“ reaktorů kapalinových. Tuhý fermentovaný odpad je vyskládán do velkých drátěných košů, v nichž je po naplnění překryt plynotěsným zvonem a zanechán k vlastní fermentaci (obr. 3.4) (ALTMANN a kol. 2010).

Obr. 3.4: Anaerobní reaktory na tuhou fázi (ALTMANN a kol. 2010)



Reaktory kapalinové (mokrý fermentace) jsou konstruovány jako nádoby s volným prostorem. Tento druh reaktoru se využívá zejména v případech, kdy vstupní surovinou je kapalina (ALTMANN a kol. 2010).

Máme dva základní druhy těchto reaktorů a to **reaktory s biomasou fixovanou na zařízení** a **reaktory bezvýplňové s biomasou na reagujícím substrátu**.

- Reaktory s biomasou fixovanou na zařízení se využívají, pokud je substrátem roztok nebo velmi jemná suspenze. Používají se hlavně na zpracování technologických odpadů a také při čištění odpadních vod.
- Reaktory bezvýplňové s biomasou na reagujícím substrátu se využívají pro husté nebo nerovnoměrně granulované suspenze.

3.3.2.3 Plynojem

Část BPS následující po reaktoru je plynojem, který slouží ke skladování vzniklého bioplynu. Tyto zásobníky většinou zajišťují i stabilizaci přetlaku plynu uvnitř výrobního systému. Podle míry přetlaku je můžeme rozdělit na vysoko a střednětlaké (přetlak nad 5kPa) a nízkotlaké (přetlak pod 5kPa).

3.4 Substráty vhodné pro výrobu bioplynu

Materiál vhodný pro zpracování v BPS obecně nazýváme biomasa. Za biomasu je v užším pojetí považována organická hmota rostlinného původu vznikající na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie. Pod pojmem biomasa si však můžeme představit substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu (fytomasu) pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Bioplyn lze získávat prakticky ze všech druhů biomasy (kromě fytomasy s převládajícím podílem celulózy a ligninu) (KÁRA a kol. 2007).

Můžeme je rozdělit do několika kategorií:

3.4.1 Exkrementy hospodářských zvířat

Exkrementy zvířat jsou jedním z nejlépe rozložitelných substrátů pro anaerobní fermentaci díky velkému obsahu organických látek.

Rychlým anaerobním zpracováním kejdy lze například snížit ztráty hnojivých látek v ní obsažených, neboť jinak dojde k nežádoucímu rozkladu organické hmoty. Řízeným bakteriálním rozkladem vznikají huminové složky ve větším množství než v půdě (ALTMANN a kol. 2010).

Důležité je, že součástí exkrementů jsou také kmeny bakterií podílející se na rozkladné reakci ve fermentoru a vzniku bioplynu. Jedná se o žádoucí mikroflóru, která je důležitá především i při zprovoznění BPS, neboť „oživuje reaktor“ (CZ BIOM 2013a).

VÁŇA a UŠŤAK (2010) publikovali, že zvířecí exkrementy lze pro vyšší výnos bioplynu kombinovat s dalšími zemědělskými odpady či vedlejšími živočišnými produkty

3.4.2 Obnovitelné rostlinné suroviny

Tento materiál můžeme souhrnně označit jako fytomasa a v převážné většině jsou to cíleně pěstované rostliny s vysokým výnosem bioplynu. Do této skupiny patří např. seč trvalých travních porostů či siláž.

Největší zkušenosti jsou s kukuřicí a její siláží. Šlechtění kukuřice, technologie sklizně a silážování jsou na vysoké úrovni. Pro zemědělský podnik však může být vhodná kombinace více plodin, a to vzhledem k osevním sledům, agrotechnickým termínům, ale také např. s ohledem na možnost klimaticky nepříznivého ročníku pro jednu ze zvolených plodin nebo výrazný propad cen u plodiny původně zaseté k jinému využití. Rovněž travní senáž se jeví jako zajímavý dílčí zdroj pro BPS (CZ BIOM 2013a).

3.4.3 Odpadní materiály

Pod tento pojem můžeme zahrnout kaly z čistíren odpadních vod (ČOV), biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu (BRKO) či některé průmyslové odpady.

Kaly z ČOV, resp. komunálních ČOV jsou, tak jako veškeré ostatní odpady s vysokým obsahem tuků, vhodným materiálem (substrátem) pro výrobu bioplynu. BRKO a vybrané průmyslové odpady (zejména odpady z potravinářské výroby bohaté

na obsah tuků) často obsahují nežádoucí složky, které mohou nepříznivě ovlivňovat celý fermentační proces (ALTMANN a kol. 2010).

3.5 Digestát a jeho využití

Výsledkem fermentačního procesu v bioplynové stanici je stabilizovaný materiál v kapalné podobě, tzv. digestát, který lze použít jako kvalitní organominerální hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu, popř. jako rekultivační materiál (CZ BIOM 2013b).

Neseparovaný digestát, jak ho získáme z procesu fermentace, můžeme dále rozdělit na tekutou složku fugát, která se používá jako hnojivo a tuhous složku separát, který bývá použit ke kompostování.

3.5.1 Vlastnosti digestátu

Vlastnosti digestátu jsou ovlivněné především tím, jaký vstupní materiál byl použit. Jiné vlastnosti má digestát ze statkových hnojiv, z fytomasy a z odpadních materiálů.

To dokazuje například studie ALBURQUERQUE et al. (2011), kde výsledky ukazují, že složení a stupeň stability digestátu se může značně lišit v závislosti na použité surovině, délce rozkladu a způsobu zpracování. Anaerobní digesce, včetně výběru substrátu, proto musí zaručit dosažení určitého stupně stability organické hmoty v digestátu a zamezení škodlivých účinků v systému rostlina - půda. Toto je podmíněno především biologickou rozložitelností štěpeného materiálu.

Digestát obsahuje velmi málo sušiny, proto je klasifikován jako tekutá látka. Hmotnostní zlomek sušiny v digestátu je pod 15 % (ALBURQUERQUE et al. 2012).

Digestát má zásadité pH. Zvýšení hodnoty pH při anaerobní fermentaci může být způsobeno formami dusíku, které zde vznikají. Alkalické pH digestátu je užitečná vlastnost kvůli celosvětovému problému okyselování půd (MAKÁDI et al. 2012).

Obsah lehce rozložitelné organické hmoty v digestátu je nízký. U většiny organické hmoty, která byla na počátku anaerobní fermentace, došlo během fermentace k přeměně především na metan (CH_4). Zbylá organická hmota je stabilní a těžko využitelná pro rostliny (KOLÁŘ et al., 2010).

Obsah makroprvků v digestátu také převážně závisí na výchozím materiálu při výrobě bioplynu. Při samotné anaerobní fermentaci nedochází ke změnám koncentrace makro ani mikroprvků. Na rozdíl od toho většina dusíku je při fermentaci přeměněna z organické formy na formu anorganickou (hlavně amoniak a jeho sloučeniny) pro rostliny lépe vstřebatelnou.

CZ BIOM (2009) uvádí, že celkové obsahy dusíku nejsou fermentačním procesem snižovány. Obsahy dalších látek, jako fosfor, vápník, draslík a hořčík, nejsou biologickým procesem změněny. Část fosforu je jako v případě dusíku převedena do anorganické formy (lépe přístupné rostlinám).

3.5.2 Digestát jako hnojivo

Digestát se uplatňuje jako hnojivo hlavně na zemědělskou půdu. Ve srovnání s klasickými stájovými hnojivy (surová kejda) má digestát následující přednosti:

- 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 (CZ BIOM 2013b).

Digestát, vyrobený anaerobní fermentací ze statkových hnojiv a rostlinných materiálů, převážně ze zemědělské výroby, je považován za typové organické hnojivo (CZ BIOM 2013b).

Tento výrok není však úplně přesný. Podle posledních studií je digestát považován za hnojivo minerální či organominerální (KOLÁŘ a kol. 2010).

3.5.2.1 Proč není digestát organické hnojivo

Metanizací ve fermentoru dochází v substrátu k významným změnám. Organická sušina se redukuje o 45 – 65 %, C:N se mění z původních asi 18:1 až 12:1 na

8:1, okolo 90 % N-NH_4^+ přechází do kapalné fáze. Poměr C:N je zdánlivě mimořádně příznivý. Nelze ale zapomenout, že je běžně stanoven z hodnot C_{tot} a N_{tot} , bez ohledu na rozložitelnost materiálu. A ta se bohužel prudce zhoršuje (KOLÁŘ a kol. 2010).

KOLÁŘ a kol. (2010) také tvrdí, že 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. Dalším kladem jsou minerální živiny, uvolněné při rozkladu organické hmoty. Ale když se organická látka oxidačně nerozkládá, nemůže uvolnit minerální živiny.

Dále se KOLÁŘ a kol. (2010) zmiňují, že praxe je mystifikována údaji o obsahu dusíku v sušině, a považuje tento údaj za reálný obsah v odpadu. V jeho pevné části (separátu) je organický dusík, rostlinám nepřístupný. Jestliže se separát v půdě hydrolyzuje velmi pomalu, může i tento dusík mineralizovat jen pomalu a v zimě se zpravidla vyplaví. V kapalné části digestátu (fugátu) je sice dusík minerální, rostlinám přístupný. V sušině fugátu ho může být až 10 %. Ale obsah sušiny fugátu je jen 1 – 3 %, tj. obsah dusíku v kapalném fugátu je jen 0,15 – 0,30 %.

3.5.3 Použití digestátu

Použití digestátu má mnohá úskalí. Existuje mnoho zákonů a nařízení, jak s digestátem nakládat, jak ho skladovat apod.

Digestát v tuhém i tekutém stavu je zařazen jako organické hnojivo, podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, mezi tzv. závadné látky. Ten, kdo zachází se závadnými látkami, je povinen učinit přiměřená opatření, aby nevnikly do podzemních nebo povrchových vod a neohrozily životní prostředí (CZ BIOM 2013b).

To představuje dodržovat při aplikaci digestátu následující opatření, které jsou v souladu s nařízením vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech např.:

- aplikovat tyto látky pouze na pozemky, kde není provedena meliorace
- je zakázána aplikace na zamokřenou půdu, půdu pokrytou sněhem nebo promrzlou půdu

- při aplikaci digestátu na svážné pozemky se sklonem k vodnímu toku zachovat ochranný pás, kde nebude digestát aplikován (MARADA a kol. 2008).

3.5.3.1 Použití digestátu v ekologickém zemědělství

Obecně platí podle Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů, že digestát lze v ekologickém zemědělství použít pouze v případě, že by BPS pracovala v režimu platném pro ekologicky hospodařící farmu, a potom by i vstupní suroviny musely splňovat podmínku organického hnojiva použitelného pro produkci ekologických výrobků. Právní požadavky však umožňují udělit výjimku pro případ částečného použití digestátu z ekologicky hospodařícího subjektu (MARADA a kol. 2008).

3.5.3.2 Použití digestátu mimo zemědělskou a lesní půdu

Dalším možným způsobem je použití digestátu mimo zemědělskou a lesní půdu jako rekultivačních materiálů např. na skládkách odpadů. Nově to řeší vyhláška č.341/2008 Sb. upravující podrobnosti nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (bioodpady). Tato vyhláška uvádí seznam bioodpadů využitelných v různých zařízeních pro jejich zpracování. Digestáty vyráběné z bioodpadů a používané mimo zemědělskou a lesní půdu se nazývají rekultivační digestáty (MARADA a kol. 2008).

3.5.3.3 Další použití digestátu

Další alternativou použití digestátu je separace a usušení tuhého podílu s následným využitím pro výrobu tuhých alternativních paliv. Separát se může pro výrobu tuhých paliv vhodně kombinovat s dalšími druhy biomasy. Tato varianta je energeticky i ekonomicky náročná, a proto se zatím nenašlo její hojné uplatnění (MARADA a kol. 2008).

3.5.4 Skladování digestátu

Mimo vegetační období platí omezení pro použití digestátu na půdu, proto je nutné vyřešit jeho skladování. Skladování a způsob používání hnojiv musí být v

souladu s vyhláškou č. 274/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů (VEČEŘOVÁ 2009).

Podle vyhlášky č. 274/1998 Sb. se digestát, případně fugát musí skladovat v nepropustných nadzemních, popřípadě částečně zapuštěných nádržích nebo v zemních jímkách. Při provozu jímek a nádrží se musí zamezit přítoku povrchových nebo srážkových vod do jímky nebo nádrže, pokud není v kolaudačním rozhodnutí uvedeno jinak. Tuhý 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 jímka tekutého podílu. Tuhý 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 a kol. 2008).

3.5.5 Registrace digestátu

Registrace hnojiv je správní řízení podle Zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon o hnojivech“), které vykonává podle § 4 zákona o hnojivech ÚKZÚZ. Do oběhu (§ 3 zákona o hnojivech) se smějí uvádět pouze hnojiva, která jsou registrovaná nebo jim byl udělen souhlas podle § 3a zákona o hnojivech (to neplatí, pokud se jedná o statkové hnojivo a hnojivo ES). Dále smějí být do oběhu uváděna hnojiva, která neohrožují úrodnost půdy ani zdraví lidí nebo zvířat, nepoškozují životní prostředí, splňují požadavky na označení, balení a skladování a nejsou znehodnocena. Uváděním hnojiv do oběhu se rozumí jakákoli forma převodu, také např. jejich nabízení formou inzerce v médiích včetně internetu (VEČEŘOVÁ 2009).

Pokud zemědělec vyrábí digestát jen pro vlastní potřebu a neplánuje přebytky digestátu dále distribuovat, potom není registrace digestátu potřeba.

Zákon o hnojivech v § 5 odst. 1 stanoví, že ÚKZÚZ vydá rozhodnutí o registraci hnojiva, jsou-li splněny požadavky tohoto zákona. Požadavky zákona o hnojivech jsou obsaženy v podmínkách registrace a míra jejich splnění je dokumentována závěrečným protokolem a shrnuta v závěru tohoto protokolu do konstatování, zda

hnojivo vyhovuje svými rozhodnými vlastnostmi podmínkám registrace (MARADA a kol. 2008).

3.5.6 Digestát jako odpad

Digestát se může stát odpadem podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, jen ve výjimečných případech. Jde o digestáty, které jsou šířené do oběhu jako hnojivo a nesplňují požadované jakostní znaky, zejména obsah vybraných rizikových látek. Dále může být digestát odpadem, jestliže jeho původní účel určení (jako hnojivo) odpadl nebo zanikl. V tomto případě je producent digestátu povinen nakládat s digestátem podle zákona o odpadech a předat jej oprávněné osobě k využití nebo k odstranění (CZ BIOM 2013b).

3.6 Přehled významu makroprvků sledovaných v pokusu

3.6.1 Fosfor (P)

3.6.1.1 Fosfor v půdě

Celkové množství P v půdě kolísá od 0,01 – 0,15 %. Převážná část celkového P v půdách je pro rostliny nepřijatelná. Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a jen v menší míře vazby kyseliny difosforečné ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$). Sloučeniny P, sloužící jako potenciální zdroj pro výživu rostliny a půdních mikroorganismů (MK) jsou minerální a organické sloučeniny. Minerální vápenaté sloučeniny P mohou za příznivých podmínek postupně uvolňovat P do půdního roztoku, a tím zajistit výživu rostlin. Organické formy fosforu jsou nedílnou součástí organické půdní hmoty. Podíl takto vázaného P činí většinou 30 – 50 % celkové obsahu P v půdě (VANĚK a kol. 2007).

3.6.1.2 Fosfor v rostlinách

Fosfor je přijímán rostlinami ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Příjem jednotlivých forem je závislý na hodnotě pH půdy. Rostliny jsou schopny přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Příjem fosforu je aktivní proces, vyžadující dostatek energie (VANĚK a kol. 2012).

Rostliny jsou schopné aktivně zvýšit příjem fosforu při jeho nedostatku v rostlině mimo jiné i zvětšením prostoru, ze kterého mohou P získat a to zvýšeným růstem kořenů.

VANĚK a kol. (2012) dále uvádějí, že přijatý minerální P je rychle zabudován do organických sloučenin a takto je transportován do míst jeho nejvyšší potřeby - do mladých listů, vegetačního vrcholu, později květů a semen.

Kyselina fosforečná se v živých systémech téměř nevyskytuje, ale po přijetí do rostliny reaguje s organickými látkami a vznikají organofosfáty, jako jsou estery cukrů, glycerolů apod. Nejvýznamnějšími jsou nukleotidy, které jsou stavebními jednotkami nukleových kyselin, aktivují meziprodukty v řadě biosyntéz, adenosinové nukleotidy jsou součástí kofaktorů enzymů a přenašečů energie (ATP).

3.6.1.3 Nedostatek fosforu

Markantním příznakem je tmavé zbarvení listů, tj. hyperchlorofylace, což je provázeno často červeným nebo fialovým zbarvením způsobeným obohacením listů o antokyany. U dvouděložných rostlin jsou listy dlouze řapíkaté se silně vystouplou nervaturou a strnulou polohou listů. Někdy vznikají červené nebo purpurové pigmenty a později nekrózy (RICHTER 1994).

3.6.1.4 Nadbytek fosforu

Nadbytek fosforu se u nás téměř nevyskytuje, neboť P je velmi dobře sorbován půdou a jeho obsah zatím zdaleka nedosahuje kritických hodnot, kdy by přecházel ve vyšších koncentracích do půdního roztoku.

3.6.2 Draslík (K)

3.6.2.1 Draslík v půdě

U většiny půd činí celkový obsah draslíku 0,5 – 3,2 %. Pouze písčité a rašelinné půdy obsahují menší množství. Draslík se v půdách vyskytuje hlavně v primárních a sekundárních křemičitanech. V půdě lze draslík rozlišit na tři kategorie:

- **nevýměnný** Nachází se v primárních a sekundárních minerálech. Mezi nevýměnné formy je zařazován také K, jenž se nachází v mezivrstvách jílovitých

materiálů – tzv. fixovaný draslík, který však může po určitém období přejít do výměnné formy.

- **výměnný** Je představován kationtem K^+ , který je vázán na půdní sorpční komplex a může být „vyměněn“ jiným kationtem.
- **vodorozpustný**. Vodorozpustný draslík se nachází v půdním roztoku a představuje nejlépe přijatelný draslík pro rostliny. Jeho obsah by se měl pohybovat v rozsahu 10 – 20 mg K/l.

Mezi jednotlivými formami draslíku v půdě se ustavují neustále rovnováhy, které mají dynamický charakter – jsou nepřetržitě narušovány odběrem K rostlinami, vlhkostí, hnojením apod. - vždy se ustavují nové podle stavu celého systému (VANĚK a kol. 2007).

3.6.2.2 Draslík v rostlinách

Draslík je přijímán rostlinami jako kationt K^+ . Jeho příjem se uskutečňuje jak aktivně (převládá při nižších koncentracích K v půdním roztoku), tak pasivně. Nároky na výživu draslíkem během vegetace narůstají s tvorbou biomasy a většinou vrcholí před květem. Draslík v rostlinách je přítomen v iontové formě. V rostlinách je velmi dobře pohyblivý a snadno se přemísťuje (VANĚK a kol. 2012).

Draslík má v rostlině řadu velmi důležitých funkcí. Jelikož se v rostlině vyskytuje hlavně jako kationt K^+ , má velký vliv na osmotický tlak a tím i na turgor buněk. Také je potřebný pro dlouhivý růst rostlin. Je znám vliv na aktivitu enzymů, například podporuje tvorbu a aktivuje koenzymy nebo ovlivňuje fotosyntézu, konkrétně transport elektronů v membránách chloroplastů.

3.6.2.3 Nedostatek draslíku

Nedostatek draslíku se u rostlin může projevit i na stanovištích s jeho relativním dostatkem, jestliže jsou nepříznivé podmínky pro jeho příjem. Výraznější nedostatek K se kromě negativního ovlivnění biochemických procesů projevuje již zjevnými vizuálními symptomy. Jsou charakteristické tím, že nejprve začnou zasychat okraje spodních listů, listové pletivo nekrotizuje s následným usycháním, případně až opadem spodních listů, a protože draslík není transportován do okrajů listů, přednostně jsou zásobovány meristémy a mladší listy. Příčinou nedostatečného

příjmu K rostlinami může být jeho nízký obsah v půdě, pevná vazba v půdě (fixace) a již zmíněné nevhodné povětrnostní podmínky (VANĚK a kol. 2012).

3.6.2.4 Nadbytek draslíku

Rostliny s nadbytkem K jsou sytě zelené, bujně rostoucí a pozvolněji jim zasychají a odumírají starší listy (VANĚK a kol. 2012).

Přehnojení draslíkem vede k jeho nadbytečnému příjmu rostlinou a může se projevit vedlejšími antagonistickými nebo synergickými účinky. Nadbytek K^+ iontů v živném prostředí brzdí příjem Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ aj. a v důsledku toho se na rostlině mohou projevit příznaky jejich nedostatku. Naopak zvyšuje se příjem Cl^- , NO_3^- aj. (RICHTER 1994).

3.6.3 Vápník (Ca)

3.6.3.1 Vápník v půdě

Jeho celkový obsah se může pohybovat v širokém rozmezí od 0,15 % (na kyselých písčitých půdách v humidních oblastech) až do 10 % i více na půdách karbonátových. Převážná část vápníku v půdě se nachází v těžko rozpustných sloučeninách, hlavně uhličitanech, křemičitanech, hlinitokřemičitanech a síranech. Z hlediska výživy rostlin i půdní úrodnosti je významný vápník výměnný, vázaný na půdní koloidy s výměnnou sorpcí. Vápník je převažujícím kationtem v půdním roztoku. Dostává se do půdní vody ze sorpčního komplexu výměnou za jiné kationty, zvětráváním křemičitanů a především rozpustností uhličitanů (VANĚK a kol. 2007).

3.6.3.2 Vápník v rostlinách

Ca^{2+} je většinou převažujícím kationtem v půdním roztoku. Vlastní příjem probíhá hlavně pasivně kořenovými špičkami. Aktivní příjem Ca a jeho průchod membránami je omezený. Také jeho pohyblivost a transport v rostlině jsou značně limitované, uskutečňuje se téměř výhradně transpiračním proudem. Příjem Ca^{2+} může být ovlivněn přítomností jiných iontů, přičemž samotný Ca^{2+} působí pozitivně na příjem většiny iontů.

Vápník má mnohostranný význam v procesu metabolismu rostlin. Ovlivňuje semipermeabilitu buněčných membrán a stěn buněk. Ca je stavební látkou. Podílí se

na růstu buněk, které netvoří typickou celulózni stěnu (kořenové vlásky a pylové láčky), a které bez Ca jinak vůbec nerostou. Významně ovlivňuje stabilitu a integritu pletiv, což má vliv na skladovatelnost plodů. Ovlivňuje aktivitu enzymů v rostlinách (RICHTER 1994).

3.6.3.3 Nedostatek vápníku

Závažná fyziologická porucha způsobená nedostatkem Ca se vyskytuje u rajčat. Je to zasychání a hniloba rajčat. V místě květu (okvětí – vrcholová část plodu) je snižená integrita pletiv, pletivo postupně nekrotizuje a vytváří se nahnědlá souvislá skvrna. Podobné příznaky jsou na plodech paprik. Nedostatek Ca vyvolává vážné fyziologické poruchy při dozrávání a skladování jablek. Tyto poruchy mohou mít velmi pestré příznaky.

3.6.3.4 Nadbytek vápníku

Nadbytek Ca v prostředí působí negativně na rostliny jen v souvislosti s vysokou hodnotou pH – na stanovištích s vysokým podílem uhličitánů či na zasolených půdách a stanovištích po radikálním vápnění, kdy dochází k omezení rozpustnosti řady sloučenin, hlavně těžkých kovů – nejvíce Fe a Mn, ale i B aj (VANĚK a kol. 2012).

3.6.4 Hořčík (Mg)

3.6.4.1 Hořčík v půdě

Půdy obsahují v průměru 0,4 – 0,6 % hořčíku, na dolomitech až 10 %. Hořečnaté soli jsou poměrně dobře rozpustné, a proto se při jejich přítomnosti v půdním roztoku nachází dostatek Mg, který je hlavním zdrojem živin pro rostliny. Pro výživu rostlin je kromě Mg obsaženého v půdním roztoku významné množství Mg^{2+} sorbované na půdní koloidy. Mezi hořčíkem v půdním roztoku a výměnně sorbovaným v sorpčním komplexu se ustalují dynamické rovnováhy, a pokud je dostatek sorbovaného Mg, jsou předpoklady dobrého zajištění výživy rostlin touto živinou, protože se dostatečně rychle doplňuje odčerpaný Mg do půdního roztoku (VANĚK a kol. 2007).

3.6.4.2 Hořčík v rostlinách

Hořčík je přijímán jako kationt Mg^{2+} . Jeho obsah je obvykle menší než 0,5 %. V příjmu hořčíku existuje antagonistický vztah k NH_4^+ , K^+ a H^+ iontům. Také formy dusíku mají rozdílný vliv na příjem hořčíku. Zatímco nitráty jeho příjem stimuluji, NH_4^+ působí antagonisticky (RICHTER 1994).

Fyziologický význam Mg v rostlinách spočívá v tom, že aktivuje četné enzymové systémy. Má významné postavení ve fotosyntéze nejen tím, že je součástí chlorofylu, ale také ovlivněním enzymových reakcí tohoto složitého biochemického procesu. Působí na aktivitu ribulózo-1,5-bifosfátkarboxylázy (Rubisko), což je zřejmě nejrozšířenější enzym celé biosféry. Hořčík má také významný vliv na zvýšení fosforylace, tedy ukládání energie do energeticky bohatého ATP. Mg dále působí na syntézu bílkovin (VANĚK a kol. 2012).

3.6.4.3 Nedostatek hořčíku

Nedostatek Mg se většinou projevuje v latentní formě. Rostlina při omezeném příjmu Mg nejprve mobilizuje rezervy, především z organických látek a teprve při výraznějším a dlouhodobějším deficitu Mg se objeví jeho zjevné příznaky. Dochází ke snížení tvorby chlorofylu a karotenoidů, které se při déle trvajícím nedostatku projeví vizuálními symptomy – chlorózami. Na výskyt nedostatku Mg má rozhodující vliv obsah přijatelného Mg v půdě, dále řada půdních vlastností, z nichž je nejvýznamnější pH půdy a obsah přijatelného K (VANĚK a kol. 2012).

3.6.4.4 Nadbytek hořčíku

Ionty Mg působí ve vyšších koncentracích na rostliny toxicky porušením rovnováhy iontů. Přebytkem Mg iontů vznikají škody na kořenech. Délka hlavního kořene se redukuje a je zmenšena i velikost postranních kořenů a kořenového vlášení. Důsledkem toho je i redukce hmoty u nadzemních částí rostlin (RICHTER 1994).

4 Metodika a materiál

Základem této bakalářské práce byl pokus prováděný ve skleníkách České zemědělské univerzity v Praze. Neseparovaný digestát pro tento pokus byl dodán z bioplynové stanice v Krásné hoře.

V BPS je zpracovávána kejda skotu, kukuřičná siláž a travní senáž. Digestát, který v bioplynové stanici vzniká, se využívá jako hnojivo (CZ BIOM, 2008).

4.1 Informace o pokusu

Skleníkový pokus byl prováděn s rostlinou *Gazania rigens*, (L.). Sazenice rostliny byly pěstovány v umělohmotných květináčích u objemu 1500 ml.

Cílem pokusu bylo získat co nejlepší pěstební substrát pro běžně pěstované zahradní rostliny smícháním rašeliny a neseparovaného digestátu (ND) v různém poměru. Rašelina je kyselá (pH kolem 4,0) a chudá na živiny, kdežto ND je naopak zásaditý (pH 7,0 – 8,0) a bohatý na potřebné živiny. Smícháním obou by tedy měl vzniknout vhodný pěstební substrát. Použitá rašelina je od firmy Rašelina Soběslav (Soběslav, ČR).

Byly použity ještě dva typy substrátu jako srovnávací varianty a to pěstební substrát B (firma Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR) a Gramoflor cocofibre G-SG 02919 3,33EN (firma Gramoflor GmbH & Co. KG - Vechta, Německo).

Pokus byl založen s následujícími substráty:

- 1/1-4 Pěstební substrát B
- 2/1-4 Gramoflor
- 3/1-4 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny
- 4/1-4 20 % neseparovaného digestátu a 80 % rašeliny
- 5/1-4 25 % neseparovaného digestátu a 75 % rašeliny

4.1.1 Popis pokusu s *Gazania rigens*, (L.)

Pokus byl založen 5.4.2012 a skončil sklizní provedenou 18.6.2012. Gazánie byly vysazeny v pěti výše uvedených substrátech, vždy se čtyřmi opakováními. Do každého plastového květináče o objemu 1500 ml byla zasazena jedna rostlina *Gazania rigens*.

Rostliny byly dle potřeby zalévány. Po sklizni byly spočítány květy jednotlivých rostlin a zvážená nadzemní biomasa byla podrobena následným laboratorním analýzám.

4.2 Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3

Pro analýzy usušených vzorků substrátů byl použit extrakční roztok dle Mehlich 3 (1984) složený z kyseliny octové (CH_3COOH) o koncentraci (konc.) $c=0,2$ mol/l; fluoridu amonného (NH_4F) o konc. $c=0,015$ mol/l; kyseliny dusičné (HNO_3) o konc. $c=0,013$ mol/l, dusičnanu amonného (NH_4NO_3) o konc. $c=0,25$ mol/l a kyseliny ethylendiaminetetraoctové (EDTA) o konc. $c=0,001$ mol/l. Poměr substrátu a extrakčního roztoku činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml roztoku). Následovalo třepání suspenze po dobu 10 min. Získaný roztok byl zfiltrován a ve vzniklých extraktech byl analyzován obsah fosforečnanů (fotometricky přístrojem SKALAR SAN^{PLUS} SYSTEM) a obsah Ca, Mg a K pomocí atomového absorpčního spektrometru (AAS), typ VARIAN Vista Pro.

4.3 Stanovení hodnoty pH

Pro stanovení hodnoty pH bylo naváženo 20 g usušeného substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1hod. třepání, 1 hod. ustálení) s 50 ml 0,01 mol/l CaCl_2 ve 100 ml plastových lahvičkách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“ přímo v roztoku. Postup byl převzat od laboratoří ÚKZÚZ.

4.4 Analýzy rostlin

Nadzemní hmota analyzovaných rostlin byla usušena a jemně namleta. Bylo naváženo 0,15 g ($\pm 0,005\text{g}$) namletého materiálu. Ten byl rozložen pomocí mikrovlnného rozkladu (Ethos 1, Advanced Microwave Digestion System) v prostředí koncentrované kyseliny dusičné (HNO_3) a peroxidu vodíku (H_2O_2). 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.

4.5 Zpracování výsledků

Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky vypočtené v programu Microsoft Excel a pokročilé statistické vyhodnocení (A-NOVA) bylo realizováno prostřednictvím programu Statistica (STATSOFT, Inc., 2010).

5 Výsledky

Vstupní rozbory substrátů uvedené v tab. 5.1 vyšly podle očekávání. Do tabulky je zahrnuta i čistá rašelina a čistý neseparovaný digestát, které jako pěstební substráty použity nebyly.

Z hlediska sušiny měl největší podíl pěstební substrát B, kde hodnota dosáhla téměř 50 % (48,7 %). O něco méně (43,3 %) bylo naměřeno u Gramofloru. Následovala rašelina s 39,6 %. U substrátů vzniklých smísením rašeliny s ND podíl sušiny klesal s rostoucím podílem ND ve směsi. Nejméně sušiny obsahoval podle předpokladu neseparovaný digestát.

Dalším měřeným parametrem byla hodnota pH. Nejvyšší hodnota pH byla naměřena u čistého neseparovaného digestátu - 7,7. Tato hodnota vyšla podle očekávání a umožňuje po smíchání s rašelinou zvýšit její pH. Hodnoty pH směsných substrátů podle klesajícího podílu digestátu činily 6,0; 5,7, respektive 4,8. Gramoflor a pěstební substrát B vykazovaly podobnou hodnotu pH kolem 5,0. Nejnižší hodnotu pH (3,8) měla samotná rašelina.

Byly měřeny rovněž obsahy přístupných makroprvků v sušině substrátů. Opět se potvrdil náš předpoklad, že ve většině případů měla nejnižší hodnoty měřených makroprvků rašelina. Obsah fosforu v rašelině byl jen 21,1 mg P/kg sušiny, zatímco u ostatních substrátů byly zjištěny 10x vyšší hodnoty a u ND 300x vyšší (6019 mg P/kg). Hodnoty naměřené u ostatních substrátů byly srovnatelné. Gramoflor z nich měl nejmenší obsah přístupného P (249 mg/kg), pak následoval pěstební substrát B s 261 mg P/kg sušiny a směsi rašeliny s ND podle vzrůstajícího obsahu ND.

Stejnou tendenci můžeme pozorovat i u obsahu draslíku. Nejnižší hodnota 108 mg K/kg sušiny byla zjištěna u čisté rašeliny a nejvyšší 61509 mg/kg u čistého ND, tedy hodnota 600x vyšší. Po rašelině následuje pěstební substrát B s obsahem 501 mg K/kg, Gramoflor s obsahem přístupného draslíku 663 mg/kg. Obsah draslíku narůstal společně s procenty přidaného digestátu od 2704 mg K/kg u substrátu s 10 % ND, přes 3851 mg K/kg u substrátu s 20 % ND až po hodnotu 4311 mg K/kg u substrátu s 25 % obsahem ND.

Dalším sledovaným prvkem byl vápník. Největší obsah byl naměřen opět v čistém ND – hodnota zde činila 24679 mg Ca/kg sušiny. Vysoký obsah byl stanoven i v běžných pěstebních substrátech. V pěstebním substrátu B byl zjištěn obsah 6400 mg Ca/kg a v Gramofloru 5353 mg Ca/kg. Rašelina a substráty ze směsi rašeliny s ND mají výrazně nižší obsah Ca. Nejvíce Ca z nich měla samotná rašelina a s nárůstem obsahu ND ve směsi klesal jeho obsah. Po smísení rašeliny s ND došlo pravděpodobně k poutání vápníku do hůře přístupných forem.

Posledním stanovovaným prvkem byl hořčík. Nejmenší obsah Mg (534 mg/kg) byl opět v čisté rašelině, jen o málo více (566 mg Mg/kg) bylo stanoveno v Gramofloru. Ve směsných substrátech rašeliny a ND narůstal obsah přístupného hořčíku s narůstajícím procentickým obsahem ND od 624 mg Mg/kg (10 % ND), přes 721 mg Mg/kg (20 % ND) až po 786 mg Mg/kg (25 % ND), jelikož v čistém ND byl znovu velmi vysoký obsah prvku stejně jako u všech ostatních stanovovaných makroprvků. Z použitých substrátů měl nejvyšší obsah pěstební substrát B, konkrétně 912 mg Mg/kg.

Z těchto údajů nelze jednoznačně určit, který pěstební substrát je nejlepší. Můžeme ale konstatovat, že přídavek neseparovaného digestátu zvyšoval obsah sledovaných makroprvků s výjimkou Ca ve výsledné směsi.

Tab. 5.1 Vstupní rozbory substrátů

Substrát	sušina %	pH	P - sušina mg/kg	K - sušina mg/kg	Ca - sušina mg/kg	Mg - sušina mg/kg
Rašelina	39,6	3,8	21,1	108	2251	534
Gramoflor	43,3	5,1	249	663	5353	566
Pěstební substrát B	48,7	4,9	261	501	6400	912
Rašelina + 10 % ND	29,9	4,8	305	2704	1923	624
Rašelina + 20 % ND	22,1	5,7	351	3851	1601	721
Rašelina + 25 % ND	18,5	6,0	394	4311	1453	786
ND - čerstvá hmota	5,3	7,7	6019	61509	24679	9566

V tabulce 5.2 jsou uvedeny základní charakteristiky sklizených rostlin. Jako první je v tabulce uvedena průměrná hmotnost nadzemní hmoty.

Nejvyšší hodnota byla zjištěna u Gramofloru, ale hodnoty jsou v porovnání s ostatními substráty velmi vyrovnané a podle statistických testů nedosahují významných rozdílů.

Další charakteristikou je průměrná hmotnost sušiny v nadzemní hmotě, kde již byly průkazné rozdíly zjištěny. Nejvyšší hmotnost sušiny měly rostliny pěstované v Gramofloru (7,4 g). Na rozdíl od toho procentické zastoupení sušiny v nadzemní hmotě rostlin bylo vyrovnané a pohybovalo se od 9,6 do 10,5 %.

Největší průměrný počet květů (10,3) byl napočítán u rostlin pěstovaných ve směsném substrátu s nejvyšším obsahem ND, zatímco nejméně květů (5,0) měly rostliny pěstované v substrátu s nejnižším obsahem ND. Srovnatelnost substrátů s přidavkem digestátu s běžnými pěstebními substráty dokládají i obrázky uvedené v přílohách (9.1 a 9.2)

Pro porovnání jsou v tabulce 5.3 uvedeny tytéž hodnoty z obdobného pokusu z roku 2011. U substrátů použitých v tomto roce nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi variantami.

Tab. 5.2 Průměrná hmotnost nadzemní hmoty obsah sušiny a počet květů sklizených rostlin (2012)

	Průměrná hmotnost nadzemní hmoty (g)	Průměrná hmotnost sušiny (g)	Průměrný obsah sušiny (%)	Průměrný počet květů
Pěstební substrát B	65,1	6,5 ^a	10,1	8,3 ^{ab}
Gramoflor	70,6	7,4 ^b	10,5	7,8 ^{ab}
Rašelina + 10 % ND	52,9	5,0 ^a	9,6	5,0 ^a
Rašelina + 20 % ND	59,3	5,7 ^a	9,9	6,3 ^{ab}
Rašelina + 25 % ND	62,3	6,2 ^a	10,0	10,3 ^b
F test	0,92	3,21	0,39	4,3
Hladina významnosti	ns¹	0,05	ns	0,05

Tab. 5.3 Průměrná hmotnost nadzemní hmoty, obsah sušiny a počet květů sklizených rostlin (2011)

	Průměrná hmotnost nadzemní hmoty (g)	Průměrná hmotnost sušiny (g)	Průměrný obsah sušiny (%)	Průměrný počet květů
Substrát Baltica	49,3	16,0	34	8
Gramoflor	37,1	14,6	45	5
Rašelina + 5 % ND	41,3	16,0	39	8
Rašelina + 10 % ND	61,5	17,0	28	7
Rašelina + 15 % ND	51,9	16,3	31	8
F test	2,86	1,88	1,86	1,07
Hladina významnosti	ns¹	ns	ns	ns

¹ ns – nesignifikantní rozdíl mezi variantami

V tabulce 5.4 je uveden přehled obsahu přístupných makroprvků obsažených v sušině substrátů po sklizni rostlin stanovených metodou Mehlich 3.

Nejvyšší průměrný obsah fosforu byl naměřen ve směsných substrátech s 25 % ND (626 mg P/kg) a 20 % ND (611 mg P/kg). V dalších vzorcích už bylo fosforu méně. Ve směsném substrátu s nejmenším podílem ND (10 %) byla zjištěna hodnota 188 mg P/kg. U Gramofloru a pěstební substrátu B byly zjištěny nejmenší obsahy, pěstební substrát B obsahoval 123 mg P/kg a Gramoflor pouze 86 mg P/kg.

Změny obsahu přístupného draslíku v sušině substrátů korespondovaly se změnami obsahu fosforu. Největší obsah měly směsné substráty – 25 % ND (3203 mg K/kg), 20 % ND (3051 mg K/kg). Následoval substrát s 10 % ND (1070 mg K/kg). Nejméně K měly opět Gramoflor (92 mg K/kg) a pěstební substrát B (84 mg K/kg).

Nejvíce přístupného vápníku obsahovala sušina pěstební substrátu B (6384 mg Ca/kg) a nejméně bylo obsaženo v rašelíně s 10 % ND (4206 mg Ca/kg). Ostatní hodnoty se pohybovaly přibližně od 5000 mg Ca/kg do 5500 mg Ca/kg.

U hořčíku se pořadí hodnot opět shodovalo s pořadím u draslíku a fosforu. Nejvíce Mg obsahovala sušina substrátu s 25 % ND (1463 mg Mg/kg) a nejméně sušina Gramofloru (747 mg Mg/kg).

Pro srovnání jsou v tab. 5.5 uvedeny rovněž hodnoty z obdobného pokusu z roku 2011. Pokud porovnáme výsledky statistik, můžeme konstatovat, že tendence změn obsahu prvků v sušině substrátů byly velmi podobné.

Tab. 5.4 Průměrný obsah vybraných makroprvků v sušině substrátů po sklizni gazání stanovené metodou Mehlich 3 (2012)

	č.	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Pěstební substrát B	1	123 ^{ab 2}	84 ^a	6384 ^c	1047 ^b
Gramoflor	2	86 ^a	92 ^a	5020 ^{ab}	747 ^a
Rašelina + 10% ND	3	188 ^b	1070 ^b	4206 ^a	1042 ^b
Rašelina + 20% ND	4	611 ^c	3051 ^c	5300 ^b	1447 ^c
Rašelina + 25% ND	5	626 ^c	3203 ^c	5528 ^{bc}	1463 ^c
F-test		134,36	58,60	7,54	32,37
Hladina významnosti		0,01	0,01	0,01	0,01

² Varianty, které se statisticky průkazně liší, jsou označeny rozdílným písmenem. Čím vyšší jsou hodnoty, tím vyšší je písmeno abecedy.

Tab. 5.5 Přehled obsahu vybraných makroprvků v sušině substrátů po sklizni gazání stanovené metodou Mehlich 3 (2011)

	č.	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Substrát Baltica	1	294 ^c	116 ^a	11221 ^c	774 ^a
Gramoflor	2	81 ^a	141 ^a	3749 ^b	688 ^a
Rašelina + 5% ND	3	104 ^a	687 ^b	2707 ^a	779 ^a
Rašelina + 10% ND	4	234 ^b	1468 ^c	2800 ^a	937 ^c
Rašelina + 15% ND	5	313 ^c	2942 ^d	3041 ^{ab}	1064 ^c
F-test		37,85	124,70	219,05	22,55
Hladina významnosti		0,01	0,01	0,01	0,01

V tabulce 5.6 je uvedeno a procentické zastoupení vybraných makroprvků v sušině nadzemní hmoty rostlin. Celkový obsah fosforu v nadzemních částech rostlin byl téměř vyrovnaný. V substrátech s obsahem ND byly zjištěny neprůkazně vyšší obsahy P.

U obsahu draslíku byly rozdíly výraznější. Nejvíce ho obsahovaly rostliny pěstované v substrátu s 25 % ND (7,7 %) a nejméně ho bylo v rostlinách pěstovaných v Gramofloru (3,8 %).

Nejvyšší obsah vápníku (1,5 %) byl stanoven u rostlin pěstovaných v pěstebním substrátu B a nejméně u substrátů s obsahem ND 10 a 20 % (0,8 % a 0,9 %).

Mezi celkovými obsahy hořčíku v nadzemní hmotě rostlin nebyly statisticky průkazné rozdíly.

Tab. 5.6 Průměrné procentické zastoupení vybraných makroprvků v sušině nadzemní hmoty rostlin

	č.	P %	K %	Ca %	Mg %
Pěstební substrát B	1	0,20 ^a	5,90 ^b	1,50 ^c	0,40
Gramoflor	2	0,20 ^a	3,80 ^a	1,20 ^b	0,40
Rašelina + 10% N.D.	3	0,30 ^b	6,00 ^b	0,80 ^a	0,30
Rašelina + 20% N.D.	4	0,30 ^b	6,50 ^b	0,90 ^a	0,30
Rašelina + 25% N.D.	5	0,30 ^b	7,70 ^c	1,30 ^b	0,30
F-test		12,49	18,95	18,08	2,39
Hladina významnosti		0,01	0,01	0,01	ns

6 Diskuse

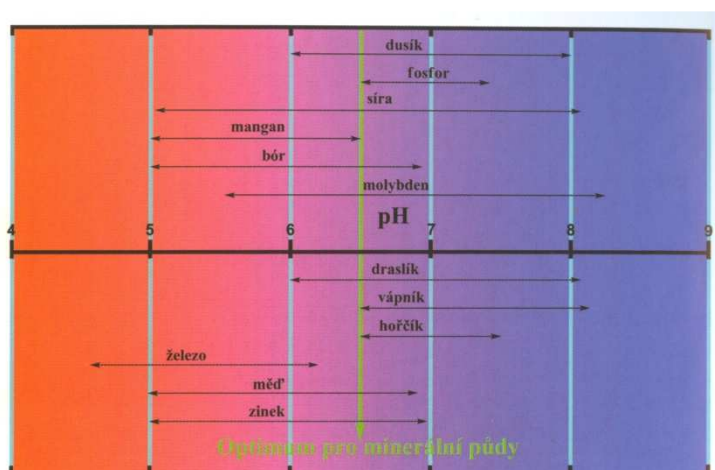
Na počátku této práce stál předpoklad, že přídatky neseparovaného digestátu dokáží nahradit minerální hnojiva přidávaná do rašelinových substrátů, včetně zvýšení hodnoty pH.

Obsah živin v substrátu není jediný faktor, který ovlivňuje příjem těchto živin. Je jich celá řada a každý prvek může ovlivňovat něco jiného. Velmi důležitým faktorem je pH (TROEH et THOMPSON, 2005).

Je známo, že hodnota pH je významným faktorem příjmu živin, resp. dostupnosti živin pro rostlinu. Na neutrální až alkalické půdě jsou nejdostupnějšími živinami N, P, K, S, Ca, Mg, dostupný je i Mo jako jediný mikroprvek. Na kyselých půdách je nejdostupnější Fe, Mn, B, Cu, Zn, Al. Z výše uvedeného lze usoudit, že na půdách s určitými hodnotami pH bude nutno věnovat pozornost nejen živinám, které zde mohou být v nedostatku, nejen faktickém, ale vznikajícím na podkladě obtížného uvolňování těchto živin, ale také nadbytku až toxicitě některých prvků. Typickým příkladem může být nutnost vápnění na vysoce kyselých půdách jako prevence toxicity Al a Mn (HRUDOVOÁ, E. 2011).

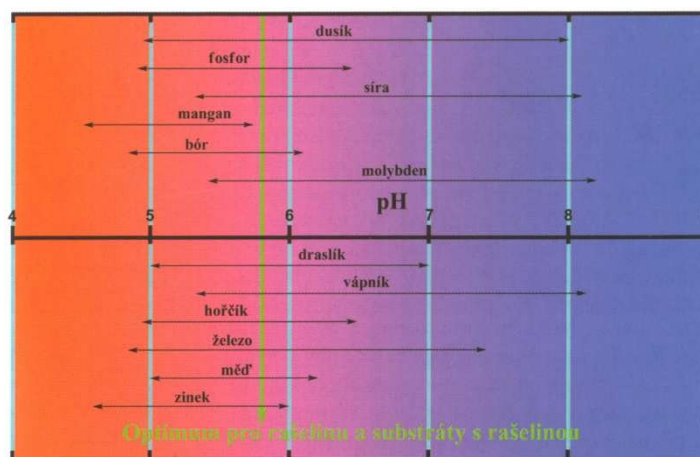
VANĚK a kol. (2012) se ve své knize také zmiňuje o vhodné pH půdy pro příjem živin. Vhodné pH pro příjem živin v minerálních půdách uvádí obr. 6.1. Je žádoucí se vyvarovat extrémnějších hodnot pH půd, tedy alkalické, která výrazně snižuje přijatelnost většiny živin, zvláště Fe, Mn, a podobně i silně kyselého pH, které je nepříznivé pro rozpustnost a přijatelnost fosforu, molybdenu a samozřejmě vápníku a hořčíku. Jako optimální se v minerálních půdách ukazuje hodnota pH okolo 5,5, která zajišťuje přiměřený příjem většiny živin.

Obr. 6.1 Rozsah vhodného pH pro příjem živin v minerálních půdách (VANĚK a kol. 2012)



Podobná situace je s přijatelností živin v rašelině a materiálech s vysokým obsahem organických látek obr. 6.2, jež je posunuta do kyselějších oblastí, proto také optimální hodnota pH pro příjem většiny živin v těchto materiálech je okolo 5,8, tedy ve výrazně kyselější oblasti oproti minerálním půdám.

Obr. 6.2 Rozsah vhodného pH pro příjem živin v rašelině a v substrátech s převahou rašeliny (VANĚK a kol. 2012)



Pokud hodnoty pH substrátu vhodné pro příjem živin z obr. 6.2 porovnáme s naměřenými hodnotami z tab. 5.1 zjistíme, že teoreticky má rašelina tak nízké pH, že rostliny by neměly být schopné získávat z takového substrátu živiny. Z tohoto důvodu čistá rašelina nebyla použita.

Hodnoty pH substrátů s 10 % ND a 20 % ND nedosahovaly 5,0 (viz tab. 5.1), což podle obrázku znamená, že v těchto substrátech dochází ke zhoršenému příjmu Ca

rostlinami a v sušině nadzemních částí rostlin (tab. 5.6) bylo naměřeno malé množství vápníku. Mělo by docházet i ke zhoršenému příjmu draslíku, což je podle naměřených výsledků neprůkazné.

Podle VAŇKA a kol. (2007) má pH půdy značný vliv na výskyt sloučenin P v půdě. V kyselé půdě převládají fosforečnany železité, které mají velmi malou rozpustnost. Obsah fosforu v rašelině je navíc velmi malý přístupného P v rašelině tak malý (tab. 5.1). Vzhledem k uvedeným faktům je samotná rašelina velmi nevhodným substrátem pro pěstování běžných zahradních rostlin.

MÖLLER et MÜLLER (2012) ve své publikaci uvádějí, že procentický obsah sušiny digestátu se pohybuje od 1,5 až do 13,2 %. Tekutá složka má procentický obsah sušiny od 4,5 až do 6,6 %, tzn. že separát obsahuje 19,3 až 24,7 % sušiny. V porovnání s naším pokusem, kde digestát obsahuje 5,3 % sušiny, je možné konstatovat, že výsledek je ve shodě s výše uvedeným zdrojem.

Podobné výsledky zveřejnili TAMBONE et al. (2010). V této studii porovnávali vlastnosti vstupních materiálů pro fermentaci. Zahrnuli do pokusu kombinaci prasečí kejdy a tříděného komunálního odpadu, a digestátů, které vznikly fermentací z těchto materiálů. Digestát, který by mohl být svými vlastnostmi nejvíce podobný digestátu z našeho pokusu pocházel z bioplynové stanice, která zpracovávala prasečí a dobytčí kejdu, dále pak zbytky ze zpracování mléka a travní siláž. Sušina tohoto digestátu byla 3,8 %. Tato hodnota se téměř shoduje s našimi výsledky. Rozdíl byl pravděpodobně způsoben použitím rozdílných materiálů pro fermentaci.

Přístupnost živin může být ovlivněna rovněž vztahem mezi ionty. Ovlivňování může být jak negativní – antagonistické, tak i pozitivní – synergické. Tyto vztahy mezi ionty se mohou projevit jen, pokud je vyšší obsah jednotlivých iontů v prostředí.

VANĚK a kol. (2012) tvrdí, že výrazný vliv na příjem kationtů vykazuje draslík a amonný kationt. Při vysokém obsahu živin v živném prostředí se zvyšuje jeho obsah v rostlině a současně se omezuje příjem ostatních kationtů, nejvíce Na, dále Mg a Ca. Také ionty H^+ zasahují výrazně do příjmu iontů, hlavně kationtů.

V našem případě antagonistické působení draslíku a amonného kationtu bylo potvrzeno pravděpodobně v případě obsahu hořčiku v nadzemní hmotě rostlin, jehož podíl se se vzrůstajícím přídatkem ND neměnil.

7 Závěr

S rostoucím počtem bioplynových stanic roste i množství odpadu jimi vyprodukovaného. Neseparovaný digestát je vhodný doplněk ke hnojení zemědělských půd či k přihnojování pěstebních substrátů s nízkým pH. Někteří autoři tvrdí, že digestát nepatří mezi příliš dobrá hnojiva a rozhodně není hnojivo organické. Díky procesu anaerobní fermentace dojde k přeměně velkého množství organické hmoty ze vstupního materiálu na metan a ve fermentačním zbytku zůstanou pouze stabilní organické látky, které jsou pro rostliny špatně dostupné a mají dlouhou dobu rozpadu v půdě. Navzdory tomu se v digestátu zachovává vysoký obsah minerálních látek, které nejsou průběhem anaerobní fermentace téměř vůbec ovlivněny. Naopak může docházet k zahušťování těchto látek a tedy ke zvýšení jejich koncentrace.

Digestát má rovněž vysokou hodnotu pH, což by v případě smíchání s rašelinou mohlo vést ke vzniku vhodného pěstebního substrátu.

Cílem tohoto pokusu bylo proto najít substrát s optimálním poměrem rašeliny a neseparovaného digestátu, který by se svými vlastnostmi vyrovnal, případně předčil běžně dostupné pěstební substráty pro pěstování gazáníí.

V našem pokusu byly porovnávány dva běžné pěstební substráty (Gramoflor a pěstební substrát B) se substráty z rašeliny s různým podílem ND (10, 20 a 25 %). Experiment navazoval na obdobný pokus z roku 2011, kde již bylo použito 5, 10 a 15 % ND.

Potvrdil se náš předpoklad, že přídavek neseparovaného digestátu do rašeliny výrazně změnil vlastnosti tohoto substrátu ať už z hlediska hodnoty pH či z hlediska obsahu přístupných živin. U varianty s 10 % ND se hodnota pH zvýšila z 3,8 (hodnota pH čisté rašeliny) na 4,8. Varianta s 20 % ND vykazovala hodnotu pH 5,7 a u varianty s 25 % ND hodnota pH vzrostla dokonce na 6,0, což je podle některých autorů velmi vhodná hodnota pH pro výživu rostlin.

Stejně tak došlo k nárůstu obsahu většiny přístupných makroprvků v substrátu, u fosforu téměř 15x, u draslíku dokonce 40x. Pouze u vápníku smísením digestátu s rašelinou došlo ke snížení obsahu, což lze vysvětlit tvorbou hůře přístupných forem Ca.

I vzrůstající obsahy makroprvků v sušině substrátu s narůstajícím podílem ND, po sklizni rostlin, byly ukazatelem zlepšení vlastností vzniklých substrátů.

Dalším ukazatelem byl počet květů na rostlinách. Nejvíce květů bylo napočítáno u varianty s 25 % ND a obsahem sušiny v nadzemní hmotě 10 %.

Závěrem lze tedy konstatovat, že nejlepší vlastnosti z hlediska sledovaných parametrů při pěstování gazáníí vykazovala rašelina s přídatkem 25 % ND. Je však nutné vzít v úvahu, že práce byla zaměřena jen na dílčí charakteristiky tohoto substrátu. Proto je v navazujících pracích nutno vyhodnotit i další parametry, jakými jsou zasolenost substrátu, obsah minerálních forem dusíku, popřípadě rizikových prvků a další.

8 Použitá literatura

- ALBURQUERQUE, J. A.; DE LA FUENTE, C. and BERNAL, M. P.** 2011. *Chemical properties of anaerobic digestate affecting C and N dynamics amended soil*. Agriculture, Ecosystems and Environment. 160. s. 15 – 22. ISSN 01678809
- ALBURQUERQUE, J. A.; DE LA FUENTE, C.; FERRER-COSTA, A.; CARRASCO, L.; CEGARRA, J.; ABAD, M. et al.** 2012. *Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues*. Biomass & Bioenergy. 40. s. 181 – 189. ISSN 09619534.
- ALTMANN, V.; VACULÍK, P. a MIMRA, M.** 2010. *Technika pro zpracování komunálního odpadu*. Česká zemědělská univerzita. Praha. 120 s. ISBN 9788021320222
- CZ BIOM.** *ZD Krásná Hora zprovozní v srpnu novou bioplynovou stanici – zpráva ČTK*. [online]. 2008. [cit. 1.4.2013]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/zd-krasna-hora-zprovozni-v-srpnu-novou-bioplynovou-stanici>>
- CZ BIOM.** 2009. *Průvodce pro výrobu a zpracování bioplynu*. CZ BIOM – České sdružení pro biomasu. Praha. 155 s. ISBN 9788090377752.
- CZ BIOM.** *Dostatek kvalitních vstupních surovin pro výrobu bioplynu*. [online]. Biom.cz. 18-12-2013a [cit. 25-3-2013]. ISSN 18012655. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dostatek-kvalitnich-vstupnich-surovin-pro-vyrobu-bioplynu>>
- CZ BIOM.** *Nakládání s digestátem, možnost využití jako kvalitního hnojiva*. [online]. Biom.cz. 18-12-2013b [cit. 26-3-2013]. ISSN 18012655. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-digestatem-moznost-vyuziti-jako-kvalitni-hnojivo>>
- HRUDOVÁ, E.** *Abionozologie pro rostlinolékaře*. [online]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2011. [cit. 4.4.2013]. Dostupné z <http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm>
- KÁRA, J.; PASTOREK, Z.; PŘIBYL, E. a kolektiv.** 2007. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT, v.v.i. Praha. 117 s. ISBN 9788086884288
- KOLÁŘ, L.; VANĚK, V; KUŽEL, S.** 2010. *Využití odpadu z bioplynových stanic*. Racionální použití hnojiv – sborník z konference. ISBN 9788021320062
- KOUŘA, J. a kolektiv.** 2008. *Bioplynové stanice na zpracování kejdy hospodářských zvířat s biologicky rozložitelnými odpady živočišného a rostlinného původu (Bioplynové stanice s mokrým procesem)*. ČKAIT, Praha. 120 s. ISBN 9788087093337
- MAKÁDI, M.; TOMÓCSIK, A.; OROSZ, V.** 2012 *Digestate: A New Nutrient Source – Review*. In: KUMAR S. (ed.). Biogas. InTech. s. 295 – 310. ISBN 9789535102045.

- MARADA, P.; VEČEŘOVÁ, V.; KAMARÁD, L.; DUNDÁLKOVÁ, P.; MAREČEK, J.** *Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem* [online]. eagri.cz. 2008. [cit. 31.3.2013]. Dostupné z <http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf>
- MEHLICH, A.** 1984. *Mehlich 3 soil test extractant. A modification of Mehlich 2 extractant.* Communications in Soil Science and Plant Analysis. 15. s. 1409-1416.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.** *Metodický pokyn – K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu* [pdf]. Ministerstvo životního prostředí. 2008. [cit. 24.3.2013]. Dostupné z <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/legislativa_metodika_oze/\\$FILE/oued-metodika_schvalovani_BPS-20100312.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/legislativa_metodika_oze/$FILE/oued-metodika_schvalovani_BPS-20100312.pdf)>
- MÖLLER, K.; MÜLLER, T.** 2012. *Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review.* Universität Hohenheim. Stuttgart. Germany. Engineering. In Life Sciences. p. 242 – 257
- RICHTER R.** 1994. *Výživa a hnojení rostlin /Obecná část (1)*, Vysoká škola zemědělská. Brno. 171 s. ISBN 8071571385
- STATSOFT, Inc.:** *Statistica* (data analysis software system). version 9.1. Dostupné z <www.statsoft.com>, 2010
- STRAKA, F. a kolektiv.** 2010. *BIOPLYN, příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů.* GAS s.r.o. Praha. 305 s. ISBN 9788073282356
- TAMBONE, F.; SCAGLIA, B.; SCHIEVANO, A.** et al. 2010. *Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost.* Chemosphere. Italy. 8. p. 577 - 583.
- TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M.** 2005. *Soils and soil fertility.* Blackwell Publishing Professional. Ames, Iowa, USA. 489 p. ISBN 9780813809557
- VÁŇA, J.; UŠŤAK, S.** 2010. *Využití odpadů a surovin ze zemědělského provozu k výrobě bioplynu.* s. 28 – 39. In: ŠVEC, J.; KÁRA, J.; VÁŇA, J.; PASTOREK, J.; MACHÁLEK, E. 2010. *Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství, zemědělské bioplynové stanice.* Vodní zdroje EKOMONITOR. Chrudim. 69 s.. ISBN 9788086832494
- VANĚK, V.; BALÍK, J.; PAVLÍKOVÁ, D.; TLUSTOŠ, P.** 2007. *Výživa polních a zahradních rostlin.* Profi Press s.r.o. Praha. 176 s. ISBN 9768086726250
- VANĚK, V.; BALÍK, J.; ČERNÝ, J.; PAVLÍK, M.; PAVLÍKOVÁ, D.; TLUSTOŠ, P.; VALTERA, J.** 2012. *Výživa zahradních rostlin.* Academia. Praha. 570 s. ISBN 9788020021472
- VEČEŘOVÁ, V.** *Zásady a pravidla registrace hnojiv podle Zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů (novela č. 9/2009 Sb.) – zaměřeno na digestát* [online]. Biom.cz. 18.3.2009. [31.3.2013]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zasady-a-pravidla-registrace-hnojiv-podle-zakona-c-156-1998-sb-o-hnojivech-ve-zneni-pozdejsich-predpisu-novela-c-9-2009-sb-zamereno-digestat>>

9 Samostatná příloha

Obr.9.1 *Gazania rigens* – založení pokusu 5.4.2012.

Následující pořadí substrátů:

1. Pěstební substrát B;
2. Gramoflor;
3. Rašelina s 10% ND;
4. Rašelina s 20% ND;
5. Rašelina s 25% ND



Obr. 9.2 *Gazania rigens* - sklizeň pokusu 18.6.2012

