

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Neseparovaný digestát jako zdroj dusíku pro pěstební substráty

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.

Autor: Bc. Markéta Ficencová

©2013 ČZU v Praze

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Neseparovaný digestát jako zdroj dusíku pro pěstební substráty vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne: 10.4. 2013

Markéta Ficencová

Poděkování

Dovoluji si touto cestou poděkovat především vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Kulhánkovi Ph.D. za pomoc s analýzou vzorků, za cenné poznámky a celkovou pomoc při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a partnerovi za podporu během mého studia.

SOUHRN

S rostoucími požadavky na ochranu životního prostředí je logicky spojený požadavek na obnovitelné zdroje energie. Jedním ze zdrojů obnovitelné energie je bioplyn, což je označení pro plyn, který vzniká při rozkladu biologického materiálu. Zařízení, které slouží pro produkci bioplynu, nazýváme bioplynová stanice. Při produkci bioplynu vzniká jako vedlejší produkt neseparovaný digestát, což je zbytek z biologického materiálu po vyhnutí.

Cílem této práce bylo ukázat, že neseparovaný digestát může posloužit jako zdroj dusíku pro pěstební substráty. Abychom toto tvrzení prokázali, použili jsme směs rašeliny a neseparovaného digestátu jako pěstební substrát. Samotná rašelina je chudá nejen na dusík, ale i na živiny obecně. Navíc, má nízkou hodnotu pH. Neseparovaný digestát naopak obsahuje v sobě hodně dusíku, a jeho hodnota pH je vyšší (7,0 a více). Přidáním neseparovaného digestátu do rašeliny by měla vzniknout směs s optimální hodnotou pH, která obsahuje dostatek živin pro rostliny.

Pro pokusy byly vybrány následující rostliny: Gazánie (*Gazania rigens*), Bazalka (*Ocimum basilicum*) a Máta (*Mentha piperita*). Dva běžné pěstební substráty (Gramoflor a Pěstební substrát B) byly porovnávány s kombinacemi rašelina + 5, 10, 15, 20 a 25 % ND.

Výsledky pokusů potvrdily původní předpoklad. Přidáním neseparovaného digestátu do rašeliny se skutečně zvýšilo množství jak amonné, tak i nitratové formy dusíku v substrátu. Největší množství dusíku bylo zpravidla naměřeno v substrátu s nejvyšším podílem digestátu, tj. v kombinaci rašelina a 25 % ND.

S rostoucím podílem digestátu v rašelině se postupně zvyšovala hodnota pH substrátu, od naměřené hodnoty 3,8 pro samostatnou rašelinu, až po 6,0 pro rašelinu s 25% podílem ND. Kombinace rašelina a 10 % ND měly přibližně stejnou hodnotu pH jako běžně vyráběné substráty, rašelina s vyššími podíly ND měla pak hodnotu pH vyšší.

Z výsledků provedeného experimentu lze jednoznačně říci, že neseparovaný digestát lze použít jako zdroj dusíku pro pěstební substráty. Je však důležité správně stanovit, jaké množství digestátu je možno použít. Příliš mnoho ND způsobí, že výsledný substrát bude obsahovat nadbytek dusíku, což se nepříznivě projeví na růstu rostliny.

Klíčová slova: *digestát, pěstební substráty, dusík, Gazania rigens, Ocimum basilicum, Mentha piperita*

SUMMARY

Nowadays the usage of renewable energy source is undiscussable part of environmental protection. One of these sources is biogas. Biogas is gas produced by anaerobic fermentation of biodegradable materials in biogas plants. The secondary product of biogas production is non-separated digestate (ND) which is the rest of biowaste after anaerobic fermentation.

The aim of this thesis was to demonstrate that non-separated digestate can be used as a nitrogen source for the growing medium. We used the mixture of peat and ND to confirm this hypothesis. The peat alone does not contain enough nitrogen and other macronutrient for healthy growth of plants. Furthermore, its pH value is very low. Otherwise, the mineral N content and other macronutrient is high in non-separated digestate, and its pH value is often higher than 7,0. So the mixture of peat and ND could be the optimal growing medium with optimal pH value and sufficient nitrogen volume for the common plants.

Three plants were chosen for the experiment: Gazania (*Gazania rigens*), Basil (*Ocimum basilicum*) a Mint (*Mentha piperita*). Two commonly used growing substrates (Glamofor, Pěstební substrát B) were compared with mixture of peat and 5, 10, 15, 20 and 25 % of non-separated digestate.

The results of the experiments confirmed the earlier hypothesis. The mineral N content and the total N content in substrates in above ground biomass actually increased with adding of non-separated digestate into the peat. As expected, the highest value of total N usually belonged to the substrate with the highest ratio of non-separated digestate, especially the mixture of peat and 25 % of ND.

The pH value increased proportionally to the amount of digestate in substrate. The lowest pH value was measured for peat alone. The highest pH value belongs to the mixture of peat and 25% ND. The commonly used substrates like Glamofor or Baltica have pH value on the same level as the mixture of peat and 10 % ND

From the results of our experiments we can conclude that non-separated digestate can be used as a source of nitrogen for growing substrates. However, it is important to properly determine the amount of used digestate. Too much of ND cause that there will be an excess of nitrogen in the mixture of peat and digestate which can negative affect the plant growth.

Keywords: *digestate, growing substrat, nitrogen, Gazania rigens, Ocimum basilicum, Mentha piperita*

Obsah

1	ÚVOD	3
2	CÍL PRÁCE	4
3	HYPOTÉZA	5
4	LITERÁRNÍ PŘEHLED	6
4.1	Bioplynové stanice	6
4.1.1	Struktura a součásti bioplynové stanice	6
4.1.2	Rozdělení bioplynových stanic	9
4.1.3	Anaerobní fermentace	12
4.1.4	Anaerobní fermentace vybraných zemědělských odpadů	14
4.2	Dusík	15
4.2.1	Dusík v půdě	15
4.2.2	Dusík v rostlině	17
4.2.3	Nedostatek a nadbytek dusíku	17
4.3	Možnosti doplnění živin do půdy a substrátů	18
4.3.1	Minerální hnojiva	20
4.3.2	Organická hnojiva	23
4.3.3	Zahradnické substráty	25
4.4	Fermentační zbytek - digestát	27
4.4.1	Vlastnosti digestátu	28
4.4.2	Použití digestátu	30
4.4.3	Uvádění digestátu do oběhu	34
5	METODIKA A MATERIÁL	36
6	VÝSLEDKY	39
6.1	Vstupní rozbor substrátů	39
6.2	Hodnocení substrátů po sklizni rostlin	42
6.2.1	Základní charakteristika substrátů	42
6.2.2	Nadzemní hmota rostlin	45
6.3	Nitrátová a amonná forma dusíku v substrátech	49

6.4	Závislost nadzemní hmoty rostliny na vlastnostech substrátů	53
7	DISKUZE	55
8	ZÁVĚR	58
9	POUŽITÁ LITERATURA	60
	Seznam použitých zákonů, vyhlášek, nařízení a norem	65
	Seznam obrázků	66
	Seznam tabulek	67
	Příloha A: Seznam rizikových látek	69
	Příloha B: Fotodokumentace pokusu	71

1. ÚVOD

Dnešní doba se vyznačuje tím, že stále více lidí si uvědomuje svůj vliv na přírodu a životní prostředí. Tento vliv je často negativní. Proto je z mnoha směrů vyvíjena aktiva, jak tento negativní vliv omezit. Větrné, vodní a solární elektrárny už dávno nejsou ničím novým. Úsporné spotřebiče a žárovky pomalu, ale jistě začínají převládat na trhu elektrotechniky. Žluté, modré a zelené kontejnery lze nalézt všude.

Využití odpadu je obecně velké téma dnešní doby. Lze totiž využít takřka veškerý odpad, který lidstvo vyprodukuje. Recyklovaný papír a trička vyrobená z plastových lahví jsou jenom jedním z mnoha takových případů. Speciální kategorií odpadu je biologicky rozložitelný odpad. Tento odpad se vyznačuje tím, že téměř veškerý odpad z této kategorie lze zpracovat bez větší zátěže na životní prostředí a s velkým užitekem pro společnost.

Názorným příkladem zařízení, které zpracovávají bioodpad, je bioplynová stanice (BPS). Jak už plyne z názvu, jedním z výstupních produktů tohoto zařízení je bioplyn. Tento plyn lze použít k mnoha účelům, především k výrobě elektrické energie. Kromě bioplynu vzniká v bioplynové stanici také digestát, což je částečně rozložený bioodpad, který vstupuje do bioplynové stanice. Digestát v sobě obsahuje řadu látek, které potřebuje rostlina ke svému růstu, a tedy jeho další použití je zřejmé - používá se především jako hnojivo.

Jedním z nejdůležitějších prvků, které rostlina potřebuje, je dusík. Cílem této práce bylo prozkoumat digestát, nebo lépe řečeno neseparovaný digestát, jako zdroj dusíku pro pěstební substráty. Na začátku bylo nutné shromáždit řadu teoretických poznatků o dané problematice, jako je princip práce bioplynových stanic, působení dusíku v rostlině, využití digestátu atd. Po teoretické části následovala část praktická, kde byl prozkoumán vliv různých druhů substrátů na růst rostlin, speciální pozornost pak byla věnována substrátům s příměsí neseparovaného digestátu. Výsledky tohoto zkoumání jsou shrnuty v této práci.

2. CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zjištění vhodnosti využití neseparovaného digestátu z bioplynové stanice v Krásné Hoře nad Vltavou z hlediska doplnění obsahu přístupného dusíku do substrátů vzniklých kombinací neseparovaného digestátu s rašelinou.

3. HYPOTÉZA

Práce vychází z předpokladu, že rašelina neobsahuje dostatek dusíku, který je důležitý pro růst rostlin. Z tohoto důvodu se používají hnojiva, které dusík do rašeliny dodávají. Neseparovaný digestát by naopak měl obsahovat velké množství dusíku, a v kombinaci s rašelinou by mohl posloužit jako alternativa k pěstebním substrátům.

4. LITERÁRNÍ PŘEHLED

4.1 Bioplynové stanice

Bioplynová stanice je technologické zařízení sloužící ke zpracování bioodpadu nebo jinak biologicky rozložitelné látky. Při tomto zpracování se využívá procesu zvaného anaerobní digesce. Při anaerobní digestaci vzniká řada produktů, především bioplyn a digestát¹. Hlavním produktem je bioplyn, který využíváme pro výrobu elektrické energie a tepla. Digestát se skládá převážně ze dvou složek, z částečně rozloženého i nerozloženého vstupního substrátu a z hmoty, kterou tvoří mikroorganismy přítomné při fermentaci. Digestát se dá upravovat separací na tuhý zbytek - separovaný digestát, a tekutý zbytek, tzv. fugát. Fugát má podobu odpadní vody a je většinou odváděn do čistírny odpadních vod (BILÍK et al., 2010; MATĚJKA et al., 2010).

Energetické využití biomasy pomáhá diverzifikovat výrobu elektřiny a snižovat naši závislost na fosilních palivech. Kromě tohoto má využití bioodpadu příznivé účinky na životní prostředí, protože jeho zpracováním snižujeme celkové množství odpadu, který produkujeme (MOTLÍK a VÁŇA, 2002). Pro představu, podle RIGBY and SMITH (2011) jenom samotné Spojené království ročně vyprodukuje přes 100 milionů tun biologicky rozložitelného odpadu.

U nás o lepší nakládání s odpady usiluje zákon o odpadech (č. 185/2001 Sb.) a zákon o integrované prevenci před znečištěním ovzduší a registraci znečišťovatelů (č. 76/2002 Sb.).

4.1.1 Struktura a součásti bioplynové stanice

Proces zpracování odpadů bioplynovou stanicí se skládá z více fází. První fáze procesu výroby bioplynu je navázení neboli příjem substrátů. Při navázení je důležité provést vstupní kontrolu, která se většinou provádí vizuálně. Dále se zaznamenává váha a všechny dostupné vstupní údaje.

Dovezený odpad často není přímo dodáván do bioplynového reaktoru, a je tedy nutné ho skladovat. Vzhled a velikost skladu závisí na používaných substrátech a jejich množství. V případě, že se jedná o zemědělskou bioplynovou stanici, je potřeba dbát na přísné oddělení příjímáčí stanice od zemědělského provozu. Pro zmírnění zápachu by skladování mělo probíhat v halách, z nichž je vzduch odváděn a následně čištěn přes biofiltr.

Před dalším použitím je nutné odpad náležitě upravit. Odpad se upravuje proto, aby se

¹Pokud nebude uvedeno jinak, pod pojmem *digestát* vždy budeme rozumět *neseparovaný digestát*

splnily zákonné požadavky, nebo aby se vytvořily optimální podmínky pro mikroorganismy, kteří svou aktivitou produkují metan. Mezi úpravy odpadů patří:

- Třídění a oddělování příměsí - podle složení substrátu probíhá třídění. Kameny jsou většinou oddělovány v předjímce. Ostatní příměsí mohou být oddělovány ručně.
- Hygienizace - hygienizace se provádí pro splnění zákonných požadavků pro některé skupiny odpadů (například vedlejší produkty živočišné výroby), aby vyhovovaly z hlediska epidemiologické hygieny a fytohygieny. Abychom tyto požadavky splnili, provádí se tepelná hygienizace, kdy se materiál prohřeje na 70 °C po dobu minimálně jedné hodiny. Díky tomu jsou substráty lépe zformovatelné a rozložitelné.
- Drcení - čím více substrát rozdrolíme, tím více stoupne rychlost biologického rozkladu. Výtěžek plynu ovšem nemusí nutně záviset na rychlosti rozkladu. Záleží totiž i na době, po kterou je odpad ve fermentoru a stupněm rozdrolení.
- Máčení a macerování - máčení je důležité, když potřebujeme zvýšit kapalnost substrátu. Provádí se v předjímce krátce po vložení substrátu do fermentačního procesu. Jako ředící tekutina je používána kejda nebo odpadní voda.

Po úpravě odpadu následuje doprava a vnášení substrátu do bioplynového reaktoru. Použitá technika pro dopravu a vnášení substrátu závisí na fyzikálních vlastnostech substrátu, kdy rozlišujeme pumpovatelné a hrudkovité substráty. Při vnášení musíme dbát na jejich teplotu.

K přepravě pumpovatelných substrátů uvnitř bioplynové stanice jsou používány hlavně pumpy poháněné elektromotory. Existuje několik druhů pump, které se používají na různé druhy substrátů. Odstředivé pumpy se používají hlavně v případě kejdy, vřetenová čerpadla slouží k přepravě hustých tekutých substrátů s vysokými obsahy sušiny a membránová čerpadla se využívají k přepravě hustých látek s velkými podíly cizích těles.

Při transportu sypkých materiálů se používají nakladače. V případě automatického dávkování jsou nasazena drapáková dna, posuvné podlahy a šnekové dopravníky.

Čerpatelné substráty jsou zpravidla vnášeny do betonové předjímky. Tam jsou dočasně skladovány a promíchávány ve snaze dosáhnout stejnorodé směsi. Velikost předjímky musí být dostatečná pro pojmnutí vícedenního množství substrátu. V předjímce také může probíhat i úprava sypkých materiálů, pokud bioplynová stanice nemá možnost dávkovat tuhé substráty přímo do fermentoru.

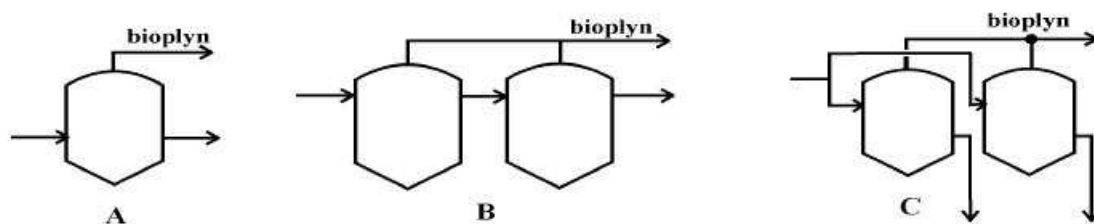
Pevné látky jsou vnášeny přímo do fermentoru. Pokud by substrát nejdříve putoval do předjímky, bylo by ztíženo plynulé dávkování substrátu do fermentoru. Vnášení většího

množství pevných látek umožňuje příjmová šachta. Pokud chceme do fermentoru přidat přídatné substráty, využijeme pístové dopravníky (KRATOCHVÍLOVÁ et al., 2009; KÁRA et al., 2008).

Nejdůležitější součástí bioplynové stanice je anaerobní reaktor. V podstatě se jedná o velkou vyhřívanou nádrž s možností míchání, kde probíhá anaerobní fermentace, proto se můžeme setkat s pojmem fermentor. Pojem anaerobní fermentace je blíže popsán v podkapitole 4.1.3. Ve fermentoru se množí a působí mikrobiální kultury, pro jejichž činnost je nutné udržovat stálou optimální teplotu. Toho je dosaženo pomocí soustavy trubek s horkou vodou, které ohřívá substrát přímo ve fermentoru. Velikost nádrží je dána množstvím a kvalitou materiálu, množstvím aktivní biomasy v reaktoru a požadovanou dobou zdržení.

Rozlišujeme dva typy systémů zapojení anaerobních reaktorů, jednoduchý a kombinovaný. Jednoduché systémy obsahují jeden nebo více reaktorů, které zpracovávají stejný druh odpadu. Tyto reaktory můžeme zapojit sériově nebo paralelně (obrázek 4.1). Společným znakem jednoduchých systémů je sdružený odběr bioplynu. Kombinované systémy mají nejméně dva reaktory s odlišným prostředím (KÁRA et al., 2007).

Obrázek 4.1: Způsoby zapojení anaerobních reaktorů (KÁRA et al., 2007)



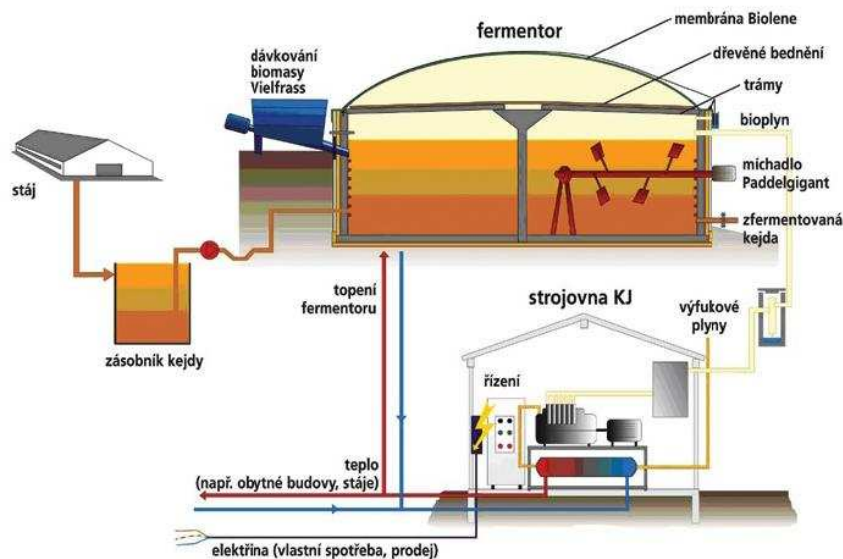
A - reaktor jednostupňový průtočný, B - reaktory sériové (jednostupňový průtočný systém), C - reaktory paralelní (jednostupňový průtočný systém)

Fermentory mohou být zhotoveny z různého materiálu. Můžeme se setkat s reaktory betonovými, kovovými nebo plastovými. Podle orientace můžeme fermentory dělit na reaktory s osou vodorovnou nebo svislou.

Z anaerobního reaktoru je plyn odváděn pomocí bioplynové koncovky. Ta se skládá z potrubí odvádějícího bioplyn a z bezpečnostních a kontrolních prvků (obrázek 4.2).

Po odvedení bioplynu zůstává ve fermentoru digestát. K jeho odvedení slouží kalová koncovka. Ta se skládá z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů a separačních zařízení. Pokud je digestát používán jako hnojivo, tak není chemicky čištěn, pokud je ale vypouštěn jako odpadní voda do řeky, pak je nutné provést chemické čištění (PASTOREK et al., 2004).

Obrázek 4.2: Schéma bioplynové stanice (MARTANOVÁ, 2010)



4.1.2 Rozdělení bioplynových stanic

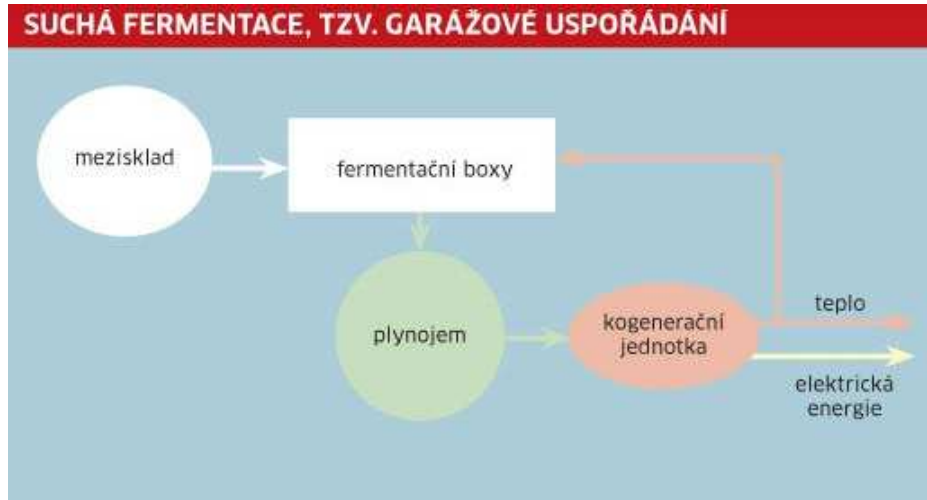
Základní rozdělení bioplynových stanic je podle použité fermentace. Anaerobní fermentaci můžeme rozdělit na tzv. suchou a mokrou. Každá z těchto dvou technologií má své výhody a nevýhody, a používá se pro jiný druh substrátu.

Suché technologie jsou používány u bioplynových stanic, které zpracovávají komunální odpad. Tuto suchou fermentaci lze použít u biomasy, u mokré fermentace biomasu nelze bez předchozí úpravy zpracovat.

V posledních letech bioplynové stanice využívající technologii suché fermentace zažívají v západní Evropě velký rozvoj, a to díky jejich nižší energetické náročnosti. Počet takovýchto stanic ale pořád není vysoký. Vstupní materiály pro tuto technologii se vyznačují velkým podílem sušiny, obvykle kolem 30 %, a také minimálním použitím ředící kapaliny. Jako substrát může posloužit hnůj z živočišné výroby, kukuřičná siláž, travní senáž, trávy z veřejných prostranství nebo řada biologicky rozložitelných odpadů.

Proces přeměny odpadu je zahájen navezením biomasy do fermentoru, který svým tvarem připomíná garáž. Následuje uzavření plynotěsných vrat stanice po naplnění fermentoru (obrázek 4.3). Bioplyn, který zde vzniká, je odsáván do plynových vaků umístěných nad fermentory. Následně plyn putuje do kogenerační jednotky, kde je využit na výrobu elektrické energie a tepla.

Obrázek 4.3: Suchá fermentace (ŠKORVAN et al., 2011)



Celý proces je diskontinuální, neboli s přerušovaným provozem, kdy doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru. Po uplynutí určité doby je nutné celý fermentor vyprázdnit. Větší podíl vyfermentované biomasy je znovu smíchán s čerstvou biomasou a vrácen do fermentoru. Menší díl vyfermentované biomasy se používá jako hnojivo. V tabulce 4.1 jsou shrnuty výhody a nevýhody suché fermentace (ŠKORVAN et al., 2011).

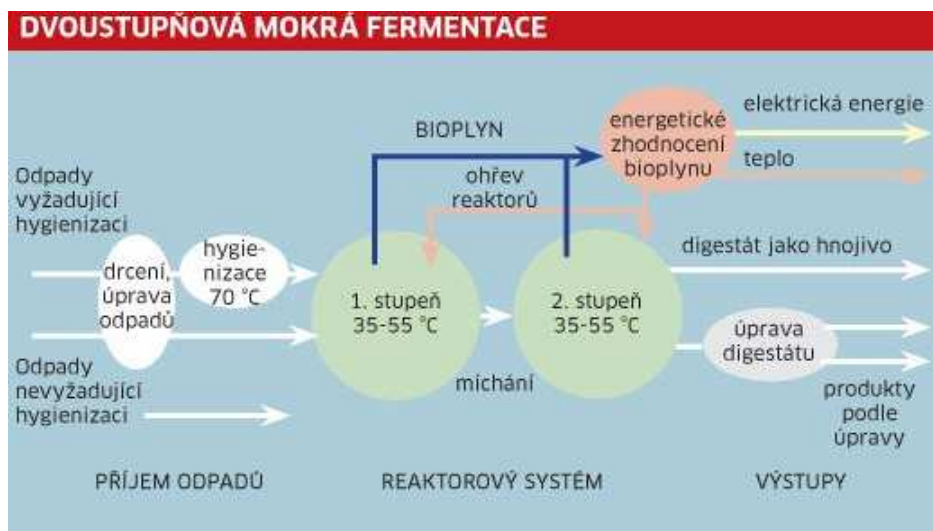
Tabulka 4.1: Výhody a nevýhody suché fermentace

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - nižší spotřeba el. energie - biomasu není nutné před vstupem do fermentoru upravovat - nižší nároky na obsluhu - vyšší obsah metanu a nižší obsah síry 	<ul style="list-style-type: none"> - nižší účinnost - zařízení není vhodné pro bioodpady vyžadující hygienizaci - nutnost otevřené manipulace s bioodpadem při naskladnění a vyskladnění

Bioplynové stanice využívající technologii mokré fermentace (obrázek 4.4) jsou mnohem čtenější než ty, které využívají suchou fermentaci. Počet instalací v Evropě se počítá na tisíce kusů.

Fermentace je prováděná ve fermentorech, které mají podobu nádrže. Tyto nádrže mohou být ležaté, svislé, případně kombinace obou dvou typů. Pracovní sušina substrátu vstupujícího do fermentoru se dle materiálu a použitého míchacího systému pohybuje mezi 4 až 12 %. Při zpracování biologicky rozložitelného odpadu metodou mokré anaerobní fermentace je vždy nutná předúprava zpracovávaného bioodpadu drcením, případně tříděním.

Obrázek 4.4: Mokrá fermentace (ŠKORVAN et al., 2011)



Ve fermentorech je udržována stálá teplota kolem 35 °C při mezofilních podmínkách, nebo kolem 55 °C při termofilních podmínkách. Při termofilním procesu dochází k hlubšímu rozkladu organické hmoty, vyšší produkci bioplynu, avšak tento proces je méně stabilní.

Celý proces přeměny odpadu na elektrickou energii a teplo je kontinuální. V následující tabulce 4.2 jsou shrnuty výhody a nevýhody mokré fermentace (ŠKORVAN et al., 2011).

Tabulka 4.2: Výhody a nevýhody mokré fermentace

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> - možnost zpracovávat tekuté materiály - stálá produkce bioplynu - homogenita vstupního digestátu - dobře zvládnutý a ověřený proces 	<ul style="list-style-type: none"> - nutnost stálého přísunu substrátu - náročná předúprava bioodpadů - produkce velkého množství kapalného výstupního digestátu

Kromě dělení bioplynových stanic dle používané technologie, je také můžeme dělit podle druhů substrátů, které do ní vstupují. Rozlišujeme tak zemědělské bioplynové stanice, stanice zpracovávající čistírenské kaly a ostatní bioplynové stanice.

Zemědělské bioplynové stanice zpracovávají odpadní materiály ze zemědělské prvovýroby, a to buď živočišného původu (kejsda, hnůj apod.), anebo rostlinného původu. Jak je psáno v zákoně č. 185/2001 Sb., o odpadech, nesmí se na těchto zemědělských BPS zpracovávat odpady ani jiné materiály, které spadají pod nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 o vedlejších živočišných produktech (AUTERSKÁ, 2010).

Nejčastěji jsou takto zpracovávány exkrementy hospodářských zvířat a některé druhy rostlinných odpadů. Exkrementy hospodářských zvířat se využívají k přímému hnojení půdy, neboť představují významný zdroj organických látek, které je potřeba do půdy vracet. Ne vždy jsou ale exkrementy vhodné pro přímou aplikaci do půdy, často je potřebujeme upravit. Upravujeme je právě pomocí anaerobní nebo aerobní fermentace (kompostování) (ALTMANN et al., 2010).

Vstupním materiálem pro čistírenské bioplynové stanice jsou pouze kaly z čistíren odpadních vod. Bioplyn je zde brán jako vedlejší produkt, protože hlavním úkolem těchto stanic je stabilizace kalu vznikajícího v čistírnách odpadních vod. Tato stabilizace se děje pomocí anaerobní digesce. Žádné jiné bioodpady, kromě kalů z čistíren odpadních vod, žump a septiků, zde nejsou zpracovávány.

Ostatní bioplynové stanice zpracovávají odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech (například vedlejší produkty živočišného původu). Tyto stanice jsou nejobtížnější na řízení. Dochází zde totiž k velkým výkyvům v množství a druhu zpracovávaného odpadu. Velké problémy, které tyto výkyvy způsobují, jsou pachové emise.

Z těchto důvodů je nutné mít jak uzavřené zásobníky na digestát, tak i kontejnery, kterými se materiál dopravuje na bioplynovou stanici. Kromě toho, příjmové haly by měly být uzavřeny a vybaveny systémem pro čištění vzduchu. Vzduch se nejčastěji čistí pomocí spalování nebo biologickými filtry (AUTERSKÁ, 2010).

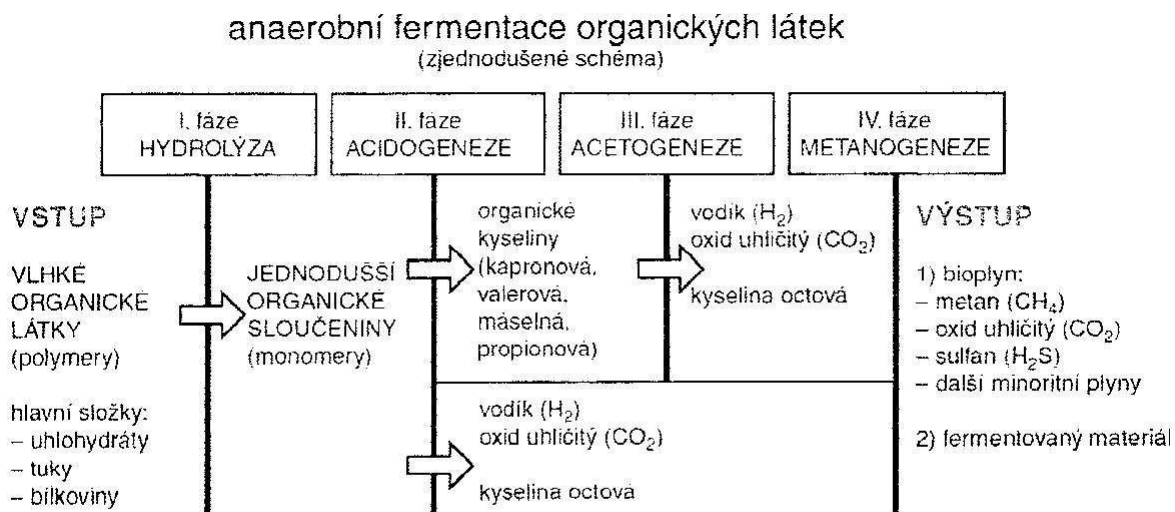
4.1.3 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je proces, při kterém mikroorganismy rozkládají organické látky bez přístupu vzduchu (obrázek 4.5). Tento proces probíhá v přírodě za určitých podmínek samovolně v bažinách, na dně jezer nebo na skládkách komunálního odpadu, nebo je vyvolán záměrně pomocí biotechnických zařízení. Ekvivalentní výrazy k anaerobní fermentaci jsou anaerobní digesce, metanová fermentace nebo metanové kvašení (MUŽÍK a KÁRA, 2009).

Optimálním materiálem pro fermentaci by měla být organická látka s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek a s nízkým obsahem anorganického podílu (popelovin). Obsah sušiny se liší podle druhu použitého odpadu. U pevných odpadů je podíl sušiny 22 - 25 %, u tekutých odpadů je 8 - 14 %. Dalším faktorem, který by se měl u vstupního materiálu sledovat, je hodnota pH, která ovlivňuje metanogenní fermentaci. Hodnota pH na vstupu do procesu by měla být 7 - 7,8. V průběhu procesu se tato hodnota mění. Dále je pro anaerobní fermentaci důležitý poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. Za optimální poměr se považuje 30:1 (KÁRA et al., 2007; HOLEČKOVÁ, 2012).

Anaerobní fermentace musí být chápána vždy jako soubor na sebe navazujících procesů. Pro jednodušší vysvětlení je přiloženo schéma čtyř jednotlivých fází tvorby metanu:

Obrázek 4.5: Anaerobní fermentace (PASTOREK et al., 2004)



I.) Hydrolýza - začíná anaerobním rozkladem organické hmoty. Probíhá přímý rozklad makromolekulárních rozpuštěných i nerozpuštěných organických látek (polysacharidy, lipidy, proteiny). Vznikají nízkomolekulární látky, které jsou rozpustné ve vodě. Tyto látky jsou na rozdíl od původních vysokomolekulárních schopny transportu do buňky, kde pokračuje jejich rozklad (ŠVEHLA et al., 2007).

Pro tvorbu metanu (CH₄) se musí vytvořit optimální podmínky. Každý mikroorganismus, který metan produkuje, má jiné substrátové požadavky, proto je nezbytné vytvořit vhodné podmínky pro jeho činnost. Nejznámější mikroorganismy, které metan produkují jako metabolicky vedlejší produkt jsou: *Methanobacterium bryantii*, *Methanobacterium formicium*, *Methanobacterium smithii* atd.

II.) Acidogeneze - je po hydrolýze druhým stupněm anaerobního rozkladu organické hmoty. Produkty hydrolýzy jsou uvnitř buňky rozkládány dále na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂). Obě dvě zmíněné fáze tvorby metanu zajišťují pestré a početné kultury příslušející k čeledím *Streptococcaceae* a *Enterobacteriaceae* a k rodům *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* a další.

III.) Acetogeneze - je třetí fáze anaerobního rozkladu organické hmoty. Probíhá zde oxidace vyšších produktů acidogeneze na kyselinu octovou CO₂ a H₂. Využíváme zde činnosti

acetogenních mikroorganismů. *Syntrophobacter wollinii* rozkládá kyselinu propionovou na kyselinu octovou, vodík a CO₂.

IV.) Metanogeneze - jedná se o poslední fázi fermentace, kdy se díky činnosti tzv. metanogenních organismů rozkládají metanol, kyselina mravenčí a další jednoduhlíkaté organické látky. Z víceuhlíkatých látek se rozkládá pouze kyselina octová. Při této fázi vznikají dvě základní složky bioplynu, metan a oxid uhličitý (ŠVEHLA et al., 2007; ALTMANN et al., 2010).

Jak už bylo řečeno, při anaerobní fermentaci vzniká řada produktů, nejvíce nás ale zajímá bioplyn a digestát.

Bioplyn je plynný produkt anaerobní methanové fermentace. Skládá se v ideálním případě ze dvou plynných složek, a to metanu (CH₄) a oxidu uhličitého (CO₂). S tak dokonalým složením bioplynu se setkáváme málokdy, většinou součástí bioplynu jsou i další plyny např. vodík, dusík, kyslík. Tento proces ovlivňují další faktory např. složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, hodnota pH atd. (STRAKA a DOHÁNYOS, 2006).

Mnoho autorů navrhuje používat digestát jako hnojivo. Tato hnojiva jsou bohatým zdrojem látek, potřebných pro růst rostlin, a mohou sloužit jako alternativa k průmyslově vyráběným hnojivům. Samotný pojem digestát je blíže charakterizován v kapitole 4.4.

4.1.4 Anaerobní fermentace vybraných zemědělských odpadů

Výběr fermentační technologie ovlivňuje druh, složení a množství dostupného odpadu. V České republice se z hospodářských zvířat nejvíce chová skot, prasata a drůbež. Skot zpracuje potravu s vysokým obsahem celulózy, což způsobuje, že exkrementy skotu jsou více rozloženy a mají nižší energetický potenciál než drůbež (ALTMANN et al., 2010).

Pro lepší představu, o jak velké množství takto využitelného odpadu se jedná, lze například uvést údaj o roční produkci exkrementů hospodářských zvířat v Evropské unii - 1500 milionů tun (BUSTAMANTE et al., 2012).

Anaerobní technologii neovlivňuje jen znalost kategorie zvířat, ale také jejich vlastnosti a složení např. používaná krmiva, typ ustájení atd. Přes všechny tyto okolnosti statková hnojiva tvoří významný potenciál substrátu pro bioplyn (ALTMANN et al., 2010).

4.2 Dusík

Dusík je jeden z nejvýznamnějších prvků v koloběhu živin v přírodě a patří k základním stavebním prvkům nejdůležitějších sloučenin živé hmoty - bílkovin. Podle kvantitativního zastoupení v rostlinné biomase stojí na čtvrtém místě mezi biogenními prvky. Pod pojmem biogenní prvek rozumíme prvky, které jsou nezbytné pro život. Je nepostradatelnou živinou nejen pro rostliny, ale také pro všechny živé organismy. Tento prvek má vliv i na životní prostředí (VANĚK et al., 2007).

V rostlinách najdeme dusík hlavně v organických, ale i v anorganických sloučeninách. Organické sloučeniny dusíku plní v rostlinách např. metabolickou, stavební, transportní a zásobní funkci. Množství dusíku se liší v závislosti na jednotlivých částech rostlin, po odkvětu se velká část dusíku přesouvá ze stébla a listu do semen (IVANIČ et al., 1984).

4.2.1 Dusík v půdě

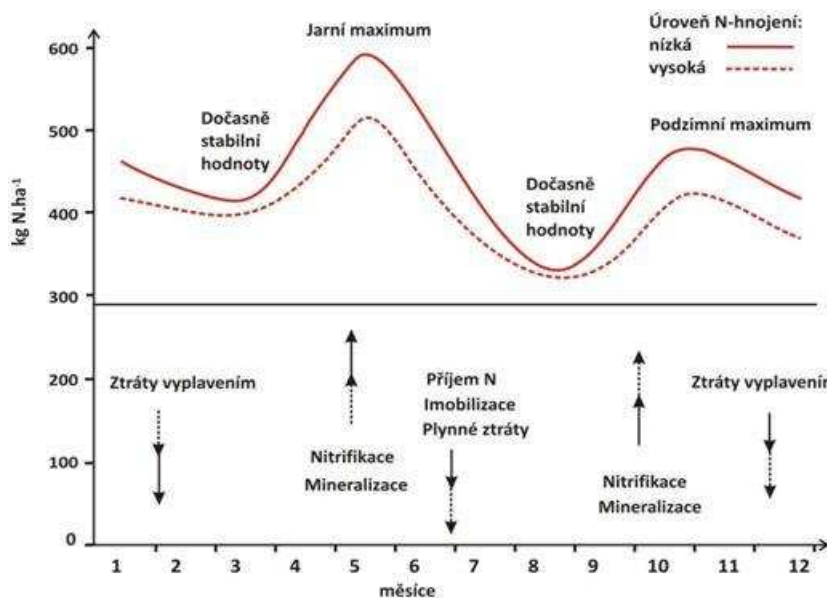
Nejdůležitějším zdrojem dusíku pro rostlinu je půda. Dusík není v půdě rozmístěn rovnoměrně, nejvíce ho nalezneme ve svrchní vrstvě půdy, neboli ornici. Je to způsobeno tím, že zde probíhá rozklad organických látek, při kterém se uvolňuje dusík. Postupně se však dusík vyplavuje z dosahu kořenů plodin (HABERLE, 1998).

Množství dusíku v půdě je úzce spojené s ročním obdobím (obrázek 4.6). Na jaře dochází k tzv. jarnímu maximu. Množství minerálního dusíku v tomto období dosahuje maximálních hodnot (NĚMEČEK, 2002). Dochází k tomu proto, že v důsledku teplejšího počasí mikroorganismy, které rozkládají minerální látky, zvyšují svou aktivitu. Dále velký vliv na množství dusíku v půdě má i hnojení, které probíhá v tomto období.

Po dosažení jarního maxima, množství dusíku začíná postupně klesat, neboť dusík je jednak odebírán rostlinami a jednak odplavován z půdy pryč. Zároveň se také snižuje intenzita nitrifikace. Hodnota se postupně snižuje na tzv. letní minimum, které časově připadá na období těsně před a po sklizni (letní minimum).

Po letním minimu znovu začíná množství dusíku v půdě růst, až k tzv. podzimnímu maximu. Tento růst mají na svědomí vhodné vlhkostní a teplotní podmínky na podzim. Poté s klesajícími teplotami klesá i činnost mikroorganismů, což způsobuje snižování obsahu dusíku (VAN SCHÖLL et al., 1997; KOZLOVSKÝ, 2011).

Obrázek 4.6: Změna obsahu N_{min} v půdě v hloubce 0 - 0,6 m (KOZLOVSKÝ, 2011)



Proces, při kterém se dusíkaté látky uvolňují do půdy, se nazývá mineralizace. Je to proces, kdy se rozkládají organické látky. Při tom dochází k uvolňování živin (dusík, fosfor atd.), které využívají rostliny. Jedná se v podstatě o amonifikaci, neboli přeměnu organických sloučenin na amoniak (JANSSON and PERSSON, 1982).

Amoniak, který vznikl při mineralizaci, vstupuje do různých procesů, především pak do procesu zvaného nitrifikace. Tento proces je v mnoha ohledech klíčový pro rostliny, neboť mění nepohyblivou amonnou formu na velice pohyblivou dusičnanovou formu dusíku.

Opačným procesem k nitrifikaci je proces zvaný denitrifikace. Při denitrifikaci jsou dusičnany za pomoci organických látek redukovány až na elementární dusík (KOZLOVSKÝ, 2011).

Množství dusíku v půdě se neustále mění. Část dusíku odchází z půdy pryč, a to především díky vyplavení dusíku do podzemních vod nebo díky větrné erozi. Obzvláště náchylné k migraci jsou pohyblivé dusičnany. Další cestou, kterou dusík odchází z půdy, je těkání NH_3 z povrchu či vrchní vrstvy půdy. Takovému procesu se říká volatilizace dusíku (DELGADO, 2002).

Proces, který je opačný k volatilizaci dusíku, se nazývá depozice dusíku. Dochází zde k přechodu reaktivních dusíkatých sloučenin z atmosféry do biosféry.

Není dobré, když dochází k velkým únikům dusíku z půdy. Proces, kdy dochází k poutání dusíku, se nazývá imobilizace. Rozlišujeme poutání biologické a nebiologické. V případě biologické imobilizace dusík vstupuje do rostlin a mikroorganismů. Nebiologická fixace se týká především amonných iontů navázaných do mezivrstev jílovitých minerálů (STEVENSON and COLE, 1999).

4.2.2 Dusík v rostlině

Dusík rostliny přijímají ve formě iontů, a to kationtu amonného (NH_4^+), nebo aniontu nitrátového (NO_3^-). Pro většinu rostlin není důležité, zda je přijímaný dusík ve formě NH_4^+ nebo NO_3^- . Množství dusíku, které rostlina nakonec přijme, závisí především na obsahu dusíku v půdě a na samotné fyziologické potřebě rostliny (VANĚK et al., 2007).

To, zda rostlina přijímá dusík ve formě kationtů nebo aniontů, ovlivňují vnější podmínky, především hodnota pH půdy a teplota. V neutrálním prostředí je vyšší příjem NH_4^+ , se snižující se hodnotou pH se jeho příjem omezuje. V kyseljším prostředí má převahu příjem NO_3^- , neboť v takovémto prostředí je dostupné větší množství protonů, které pomáhají dopravit dusičnany do rostliny (MENDEL and KIRKBY, 2001; PAVLÍKOVÁ et al., 2007).

Optimální hodnota pH pro příjem živin, a speciálně dusíku, se liší podle typu půdy. V lehkých půdách je optimální hodnota pH kolem 6,5, dusík je dobře vstřebáván při hodnotách pH 6,0 až 8,0. V případě rašeliny a půdy s velkým podílem organických látek, je optimální hodnota pH o něco nižší, kolem 5,8, a dusík je zde vstřebáván při hodnotách pH 5,0 až 8,0.

Druhým faktorem, který ovlivňuje formu přijímaného dusíku, je teplota. Při běžných podmínkách převažuje příjem dusíku ve formě NO_3^- . S klesající hodnotou klesá i příjem NO_3^- a při teplotě 5 °C se příjem dusičnanů takřka zastavuje, zatímco dusík v amonné formě rostliny mohou přijímat i při nižších teplotách.

Určitá část přijatého dusíku (především NH_4^+), ale i část redukováného NO_3^- , je již v kořenech rostlin vázána do organických sloučenin. Transport dusíku do nadzemních orgánů rostlin se tak realizuje v původní minerální formě (hlavně NO_3^-), i v nových organických sloučeninách, především v amidech a aminokyselinách (VANĚK et al., 2012).

4.2.3 Nedostatek a nadbytek dusíku

Rostlina potřebuje dostatek dusíku od počátku vegetace. Pokud dojde k nedostatečnému zásobení rostlin dusíkem, obsah dusíkatých látek v rostlině se snižuje a její vývoj je slabší. Nedostatek dusíku se projevuje celkovým omezením růstu rostlin nebo části rostlin (například rostlina má kratší stébla, lodyhy či menší listy), porosty jsou nevyrovnané a světlejší.

Světlejší zbarvení rostlin je způsobeno sníženou tvorbou chlorofylu. Podle stupně nedostatku dusíku se mění barva nejstarších listů od bledě zelené do žluté. Při velkém nedostatku dusíku list odumírá a později opadne. Listy v dolní části rostliny jsou zasaženy nedostatkem dusíku dříve, protože dusík, který je čerpán z půdy, se přemisťuje do horní části rostliny, aby se udržel vývoj plodů a semen (RICHTER a HLUŠEK, 1994).

Jak se přesně nedostatek dusíku projeví, záleží na konkrétním druhu rostliny, a také na té

části vegetační doby, kdy nastane nedostatek. Například u obilovin v době odnožování se sníží počet odnoží, v době diferenciacce vegetačních vrcholů se omezí počet zrn v klasu, v období sloupkování až metání je zvýšená redukce založených stébel. Při pozdější fázi vegetace se sníží kvalita i hmotnost zrna.

U okopanin a zeleniny je potřebné, aby rostliny měly dostatek dusíku na začátku vegetace pro lepší tvorbu biomasy, hlavně listů, ke konci vegetace je naopak lepší menší množství dusíku, který přispívá k fyziologickému dozrávání, a tím ke zvýšení produkce, např. vyšší cukernatost u cukrovky.

Odstranění nedostatku dusíku během vegetace není problém. Můžeme to provést: tuhými dusíkatými hnojivy, kapalnými hnojivy a případně mimokořenovou aplikací. Vhodné je aplikovat hnojiva s ledkem vápenatým, tzv. ledková forma nebo ledek amonný s vápencem. Při postřiku proti plevelům nebo chorobám, je vhodné současné hnojení močovinou nebo hnojivem DAM 390. Další způsob, jak odstranit nedostatek dusíku, je použití organických hnojiv, což jsou exkrementy hospodářských zvířat nebo právě digestát z bioplynových stanic.

Nadbytek dusíku je méně častý než nedostatek, a projevuje se většinou s časovým odstupem. Stejně jako u nedostatku dusíku jsou projevy nadbytku dusíku různé u různých rostlin. Drobnosemenné zeleniny (např. zelí, květák, salát atd.) jsou už v začátku vegetace náchylné na nadbytek dusíku. Nadbytek dusíku v pozdější fázi vegetace se hromadí v minerální formě (nitráty NO_3^-) v rostlinách. Nitráty se v rostlinách více hromadí při zhoršené viditelnosti, proto je problém při pěstování zeleniny ve sklenících v zimním období, kdy na ně dopadá málo slunečního svitu. Dusík při dobrých růstových podmínkách je využíván k růstu stonků, listů atd. Nadbytek dusíku má vliv na bujný růst rostlin. Rostliny produkují více vegetativní hmoty na úkor generativních orgánů a mají větší asimilační plochu. Listy jsou temně zelené, u obilovin jsou stébla řídká. Při velkém nadbytku dochází k nekrotám a zasychání krajů listů, které může vést až ke kompletnímu odumření. Přijatý dusík je přemisťován až do okrajů listů, kde se hromadí, a když jeho obsah přesáhne toxickou úroveň, jsou poškozovaná pletiva (VANĚK et al., 2007, 2012).

4.3 Možnosti doplnění živin do půdy a substrátů

Žádná rostlina se neobejde bez organických a anorganických látek. Mezi základní prvky, které se podílejí na stavbě rostlinného těla, patří uhlík, vodík a kyslík. Rostlina pro růst, rozmnožování a plazení potřebuje celulózu a celou řadu dalších prvků vázaných ve sloučeninách. Mezi prvky v rostlinném těle nejvíce zastoupené patří dusík, fosfor, draslík atd. Pro

život rostlin jsou nebezpečné vysoké obsahy těžkých kovů, jako je například kobalt, olovo nebo rtuť.

Volně rostoucí rostliny jsou odkázány na půdní zdroje. V případě nedostatku potřebných látek v půdních zdrojích jsou rostlinám a dřevinám využívaných pro zemědělské účely živiny dodávány prostřednictvím hnojiva. Za hnojiva označujeme směsi používané pro zlepšení růstu rostlin. Aplikací hnojiv do půdy nazýváme hnojení. Pokud hnojení probíhá na vzrostlém porostu, pak tuto operaci pojmenováváme přihnojování (VANĚK et al., 2007, 2012).

Zemědělská hnojiva můžeme dělit podle různých faktorů:

- podle působení na rostliny - na přímá, obsahující rostlinné živiny a pomocné látky, a nepřímá, která neobsahují rostlinné živiny ve větším množství, ale svým vlivem umožňují rostlinám příjem živin
- podle konzistence - na krystalická, granulovaná a kapalná
- podle původu - na organická a minerální

Než začneme popisovat hnojiva blíže, je nutné si vysvětlit několik základních pojmů. Podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů definujeme následující pojmy:

- "Hnojivo - látka způsobilá poskytnout účinné množství živin pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti a pro příznivé ovlivnění výnosu či kvality produkce.*
- Minerální hnojivo - hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy ve formě minerálních látek získaných extrakcí nebo jiným fyzikálním nebo chemickým postupem; za minerální hnojivo se považuje také dusíkaté vápno, močovina a její kondenzační a asociační produkty a hnojivo obsahující stopové živiny ve formě chelátů nebo komplexů.*
- Organominerální hnojivo - hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy v minerální a organické formě.*
- Organické hnojivo - hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy v organické formě.*
- Statkové hnojivo - hnojivo, vznikající jako vedlejší produkt při chovu hospodářských zvířat nebo produkt při pěstování kulturních rostlin, není-li dále upravováno; za úpravu se nepovažují přirozené procesy přeměn při skladování, mechanická separace kejdy a přidávání látek snižujících ztráty živin nebo zlepšujících účinnost živin."*

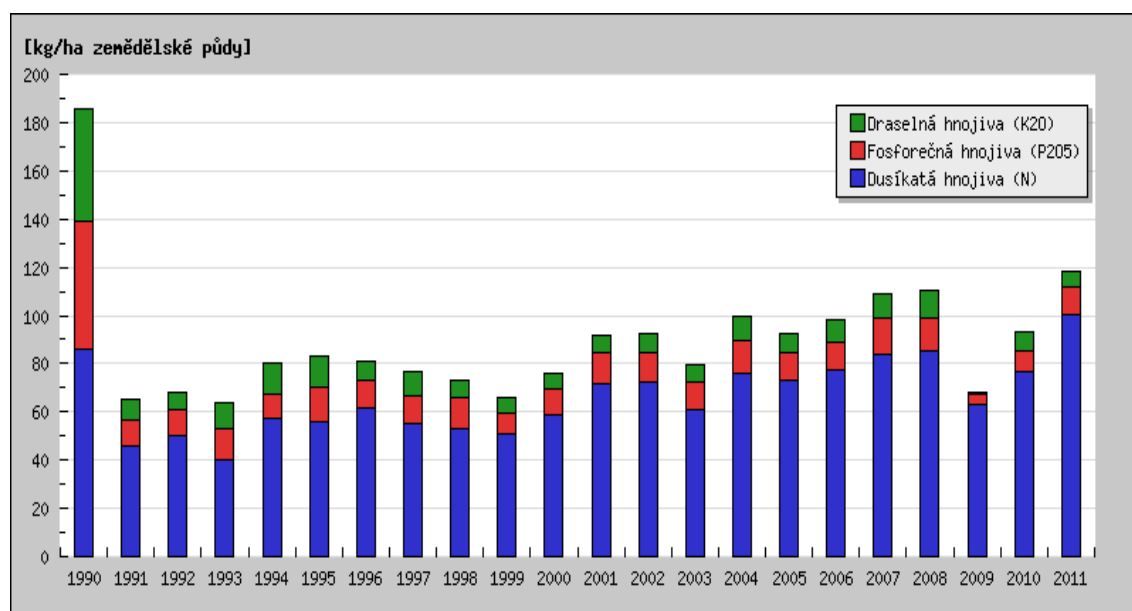
V praxi se ale pojmy organické hnojivo a statkové hnojivo příliš nerozdělují.

4.3.1 Minerální hnojiva

Minerální hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu. Na jejich výrobě se mohou podílet i další úseky hospodářství. Jsou vyráběna z přírodních surovin a to např. z fosfátů, draselných minerálů nebo vápence. Základem jejich účinnosti je, že se při jejich výrobě eliminuje řada vedlejších složek. Koncentrace potřebných živin se tak zvyšuje, a samotné živiny se přeměňují do využitelných forem.

Na obrázku 4.7 je zobrazen vývoj množství použitých minerálních hnojiv na hektar půdy v ČR od roku 1990.

Obrázek 4.7: Spotřeba minerálních hnojiv v ČR (ISSaR, 2012)



Minerální hnojiva nahrazují ty živiny, které se ztrácejí z půdy v rámci koloběhu živin. Díky tomu zůstává hladina látek nezbytných pro zdravý vývoj rostlin na potřebné úrovni. Živiny z půdy mizí především díky sklizni, vyplavením a chemickou či biologickou sorpcí, a ne vždy tyto ztráty lze nahradit jenom statkovými hnojivy, ačkoliv se těchto hnojiv používá násobně více, než minerálních (viz obrázek 4.8).

Obrázek 4.8: Spotřeba hnojiv za hospodářský rok 2010/2011 v ČR (ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD)

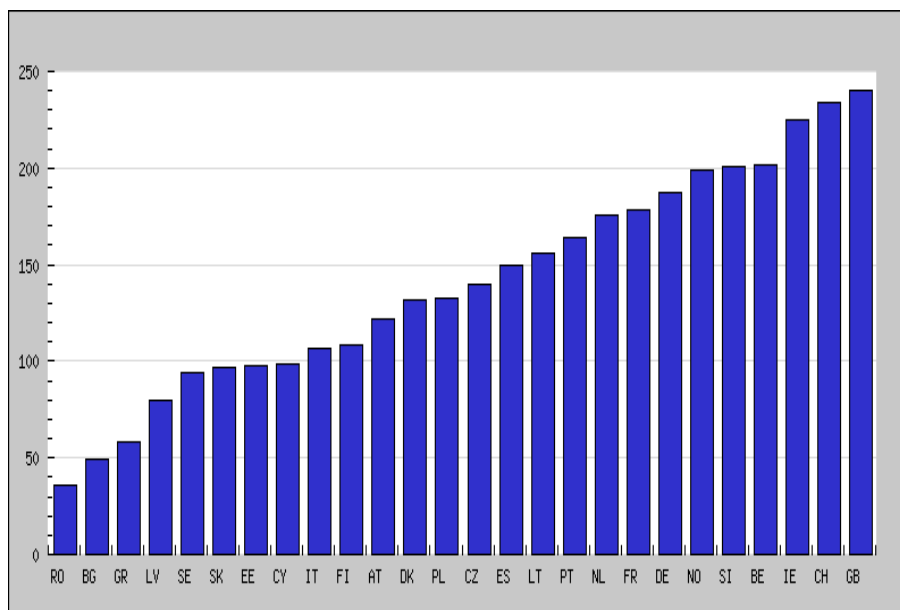


Minerální hnojiva neslouží jenom jako zdroj živin. Přímým důsledkem jejich použití je samozřejmě lepší výživa, a tedy i větší výnos hnojených plodin. Mezi nepřímé důsledky lze zařadit zvýšení výroby statkových hnojiv, protože vyšší množství sklizených plodin znamená i vyšší množství materiálů pro pozdější kompostování, a také rozvoj živočišné výroby.

V případě minerálních hnojiv je důležité jejich správné používání. Správné používání se projeví kromě již zmíněných vyšších výnosů také vyšší jakostí i trvanlivostí plodin při skladování, vyšší odolností plodin proti škůdcům a nemocím, a rovněž pozitivním vlivem na životní prostředí díky silnějšímu kořenovému systému hnojených rostlin. Naopak, nesprávné používání minerálních hnojiv může napáchat velké škody životnímu prostředí, a tedy i člověku. Na obrázku 4.9 je mezinárodní srovnání intenzity použití minerálních hnojiv v kilogramech na hektar obhospodařované půdy.

Mezi minerální hnojiva patří: dusíkatá, fosforečná, draselná, hořečnatá, vápenatá, pevná vícesložková (kombinovaná), dvousložková kapalná (VANĚK et al., 2007).

Obrázek 4.9: Spotřeba minerálních hnojiv za rok 2010 (v kg/ha), mezinárodní srovnání (ISSaR, 2012)



Dusíkatá hnojiva

Jedním z nejdůležitějších prvků pro tvorbu listové hmoty je dusík. Důležitost dusíku spočívá v tom, že je součástí chlorofylu v listech, dále je dusík přítomen v aminokyselinách, vitamínech, enzimech atd.

Aplikace hnojiv, která obsahují velké množství dusíku, vyžaduje dobrou znalost půdních vlastností, a nároků na jednotlivé plodiny.

Pro hnojení do půdy na podzim i na jaře používáme z těchto hnojiv spíše močovinu a formy amonné. K přihnojování dáváme přednost ledkovým formám. Na orné půdě a travních porostech se musíme vyhnout přihnojování močovinou.

Dusíkatá hnojiva způsobují v důsledku svého složení většinou okyselení půdy. Mezi dusíkatá hnojiva patří: močovina, dusíkaté vápno, ledek vápenatý, síran amonný, DAM 390 (roztok dusičnanu amonného a močoviny), dusíkaté hnojivo s obsahem síry (DASA), dusičnan amonný, ledek amonný s vápencem (RICHTER a HLUŠEK, 1994).

Vícesložková hnojiva

Vícesložková, nebo také (kombinovaná), hnojiva obsahují dvě a více hlavních živin. Podle počtu složek, které v sobě obsahují, je můžeme rozdělit na dvousložková, třísložková a vícesložková. Výběr vhodného vícesložkového hnojiva ovlivňuje:

1. obsah dusíku v hnojivu a požadovaná úroveň dusíkaté výživy
2. obsah a forma fosforu v hnojivu a půdě, schopnost plodiny osvojovat si fosfor
3. obsah a forma draslíku v hnojivu a porovnání s potřebou pro půdu a náročnosti plodiny

Kromě dělení podle počtu složek přítomných v hnojivu, můžeme tato hnojiva dělit také podle stavu, a to na pevná a kapalná.

Pevná vícesložková hnojiva se vyrábějí nejčastěji v podobě granulí, což umožňuje jejich stejnoměrnou aplikaci. Skutečnost, že v sobě obsahují více živin, je výhodou i nevýhodou zároveň. Na jedné straně není potřeba míchat jednotlivá jednoduchá hnojiva, a na druhé straně mají tyto hnojiva konstantní poměr živin, který je v případě potřeby možné upravit výrobou hnojiv s různými obsahy a poměry živin.

Zástupci kategorie pevných dvousložkových hnojiv je například hnojivo Amofos, které obsahuje 11 - 12 % N, 48 - 50 % P_2O_5 , převážně ve formě fosforečnanu amonného nebo NP Lovofert 20-20, které neobsahuje draselnou složku.

Příklady tříložkových a vícesložkových pevných hnojiv jsou různé typy Kristalonu, Universolu, ale také Silvagen NPK 24-5-9,5 + 3,5 % MgO.

Kapalných dvousložkových hnojiv existuje více druhů, nejčastějšími jsou pak dusíkato-fosforečná hnojiva (Fostim, Symsol), které se používají k základnímu hnojení ozimých i jarních plodin na pozemcích s nedostatečnou zásobou fosforu a vysokou zásobou draslíku, dusíkato-draselná hnojiva (Kombisol), které se naopak používají na pozemcích s dobrou zásobou fosforu, a dusíkato-hořečnatá hnojiva (Folimag, Synmag).

Zvláštní skupinu mezi vícesložkovými hnojivy tvoří vícesložková hnojiva s obsahem mikroelementů. Jejich pomocí dodáváme rostlinám mikroživiny, které jim mohou chybět. Tato hnojiva kromě dusíku, fosforu a draslíku obsahují také například Mg, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Co, Mo. Existují jak tuhá hnojiva s mikroelementy (Fragarin, Cucumex), tak i kapalná (Harmavit, Vegaflor) (RICHTER a HLUŠEK, 1994; VANĚK et al., 2012).

4.3.2 Organická hnojiva

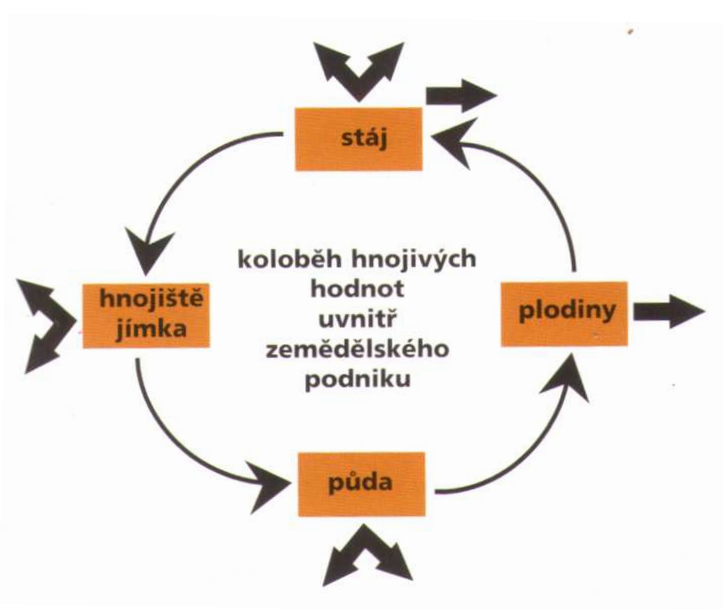
Většinou jsou vyráběna přímo v zemědělském podniku. Organická hmota může být označena za organické hnojivo, pokud je snadno mikrobiálně rozložitelná, tj. musí snadno uvolňovat potřebné živiny pro půdní mikroorganismy (KOLÁŘ et al., 2009).

Hlavní složku tvoří organické látky rostlinného nebo živočišného původu (sacharidy, celulóza, aminokyseliny, bílkoviny atd.), které nelze v souvislosti se zvyšováním půdní úrodnosti

nijak nahradit. Kromě těchto látek organická hnojiva obsahují také živiny (N, P, K, Ca). Organická hnojiva patří mezi univerzální zdroje uhlíku, nezbytné energie a živin (obrázek 4.10).

Působení těchto hnojiv je pozvolnější a dlouhodobé. Půdy pravidelně hnojené statkovými hnojivy jsou úrodnější, protože mají lepší fyzikální vlastnosti, lépe přijímají vodu, lépe zadržují živiny, jsou odolnější k výkyvům hodnoty pH, umožňují vhodnější dávkování minerálních hnojiv a lepší využití živin rostlinami (RICHTER a HLUŠEK, 1994).

Obrázek 4.10: Koloběh látek a živin v přírodě (VANĚK et al., 2007)



Organická hnojiva mají stejný význam jako minerální hnojiva. Jejich pomocí se snažíme dosáhnout toho, aby výnosnost plodin byla na stabilní a vysoké úrovni. Organickou hmotou je do půdy dodáváno mnoho komponentů - rostlinné živiny, organické látky, mikroorganismy, stimulační, růstové a hormonální látky. Zatímco minerální hnojiva přímo dodávají konkrétní živiny do půdy, organická hmota má význam při tvorbě půdního humusu. Humus je směs odumřelých látek organického původu. Jedná se o nejurodnější část půdy. Dostatečné množství humusu dodává půdě řadu příznivých vlastností. Takové půdy lépe regulují příjem živin v průběhu růstu rostlin, mají lepší příjem vody, vyšší odolnost k výkyvům hodnoty pH. Zároveň jsou přístupnější k hnojení minerálními hnojivy.

Zbytky po úrodě setrvávají v půdě každoročně, statková hnojiva, která jsou v podstatě vedlejším produktem zemědělství, dodáváme do půdy periodicky. Pokud se sníží počet hospodářských zvířat a dojde k pasivní bilanci organických látek v půdě, je nutné tyto látky nahradit zaoráváním slámy či pěstováním plodin na zelené hnojení (NEUBERG et al., 1995).

Nejběžněji používanými organickými hnojivy jsou: sláma, kejda, chlévský hnůj, močůvka,

zelené hnojení a komposty. Komposty zde rozepíšeme více, protože vznikají stejným způsobem jako digestát s tím rozdílem, že vznikají za přístupu vzduchu.

Kompost vzniká biologickým rozkladem zbytků rostlinného a živočišného původu. Je to důležitý článek v koloběhu látek a živin v přírodě, protože jeho prostřednictvím se vrací velké množství živin a organických látek zpátky do půdy. Navíc, kompostování těchto vedlejších produktů zemědělské činnosti snižuje množství odpadu, které při zemědělské produkci vzniká.

Kvalita kompostu závisí na tom, z čeho a jakým způsobem se kompost vyrábí. Při aerobním zpracování může výsledný kompost obsahovat organické látky s vysokou sorpcí. Díky této vlastnosti se na organické látky vážou potřebné živiny. Podmínky vzniku kompostu a jeho stáří mají vliv na to, v jaké formě se bude v kompostu vyskytovat dusík. Dusík v amonné formě převládá v čerstvých nebo nedostatečně aerovaných kompostech, naopak ve zralých kompostech je dusík přítomen spíše ve formě nitrátové (HABART, 2010).

4.3.3 Zahradnické substráty

Zahradnické substráty nemají charakter hnojiv, protože nejsou hlavním zdrojem živin. Řadíme je do speciální skupiny, a to do organických materiálů. Jedná se o pěstební média používaná na přípravu pěstebních záhonů a do pěstebních nádob. V zahradnictví se dříve nejčastěji používaly zahradnické zeminy, které měly dobrý vliv na pěstování rostlin. Z hlediska pěstování rostliny je důležitý obsah organických látek, ale i fyzikální a chemické vlastnosti připravovaných zemin.

Pro pěstování rostlin ve skleníku byly nejčastěji používány dvě základní zemité směsi, směsi těžké o objemové hmotnosti 0,75 - 0,80 kg/l s převahou minerálních zemin a neutrální hodnotou pH, a směsi lehké s objemovou hmotností okolo 0,50 kg/l s převahou organických zemin a hodnotou pH v rozsahu 5,5 - 6,5.

V dnešní době se na výrobu substrátů nejvíce používá rašelina, která má nízkou objemovou hmotnost. Nejčastěji se rašelina kombinuje s fermentovanou kůrou. Jelikož už produkty nevykazují vlastnosti zahradních zemin, tak je pro ně používán termín substráty. Na substráty klademe řadu požadavků. Tyto požadavky můžeme dělit na:

- biologické - nutná hygienická nezávadnost (bez zárodků chorob, škudců atd.)
- chemické - vhodná hodnota pH, obsah solí, obsah rizikových prvků, přiměřený obsah organických látek, poměr C:N, obsah přijatelných živin aj.
- fyzikální - velikost částic, struktura, pórovitost, sorpce živin atd.

Za nejvýznamnější údaje lze považovat obsah organických látek, vodivost a hodnotu pH. Důležitá je rovněž objemová hmotnost.

Mezi hlavní materiály pro přípravu substrátů řadíme rašelinu, perlit i písek, které můžeme používat i samostatně. Většina substrátů se ale připravuje jako kombinace různých materiálů. Tyto materiály můžeme dělit na:

1. Organické komponenty - ovlivňují fyzikální vlastnosti substrátů. Nejčastěji se používá rašelina. Rašelina se v půdě pomalu rozkládá, tak že působí delší dobu. O rašelině nelze říci, že je to hnojivo, protože není zdrojem živin ani snadněji rozložitelných organických látek. Kromě rašeliny se používá i kůra, což je odpadní produkt dřevozpracujícího průmyslu, který pro uplatnění v substrátech musí být fermentován. Při tomto procesu se podpoří mikrobiální procesy, a tak se postupně kůra vlivem fermentačních procesů při teplotách 60 - 80 °C zbavuje látek nepříznivě ovlivňujících biologické procesy a růst rostlin. Kromě těchto dvou organických komponentů jsou používány ještě další, a to například kokosová vlákna, rýžové plevy, dřevní vlákna nebo komposty.
2. Minerální komponenty - mezi ně patří zeminy. Zeminy je vhodné přidávat do substrátů, především do těch, které mají vyšší obsah jílnatých částic. V substrátech zvyšují sorpční kapacitu a současně stabilitu vůči změnám hodnoty pH. Dále sem můžeme zařadit písek.
3. Meliorační komponenty - pro speciální substráty se používají materiály s mimořádnými vlastnostmi jako je např. vysoká pórovitost nebo sorpce živin. Jsou to materiály přírodní nebo i syntetické. Příkladem je pemza - hornina vulkanického původu, která dobře poutá vodu a dokáže substrát provzdušnit. Dále sem řadíme: perlit, keramzit, pěnový polystyren, hydroabsorbenty.
4. Hnojiva - nejběžnějším je vápenec, případně dolomitický vápenec. Jedná se o hnojivo používané k úpravě hodnoty pH kyselých složek substrátů, hlavně rašelin. Další hnojiva se aplikují podle potřeby a účelu použití substrátů (VANĚK et al., 2007, 2012).

4.4 Fermentační zbytek - digestát

Jak již bylo zmíněno, při anaerobní fermentaci organických substrátů vznikají dva hlavní produkty, a to bioplyn a digestát. V této části se budeme věnovat digestátu.

Digestát se skládá převážně ze dvou složek, z částečně rozloženého i nerozloženého vstupního substrátu a z hmoty, kterou tvoří mikroorganismy přítomné při fermentaci. Uhlík, který je obsažen v substrátu, z větší části (asi 95 %) přechází do bioplynu, a z menší do biomasy mikroorganismů.

Množství nerozložené biomasy je ovlivněno především dobou, po kterou se zdržuje substrát v anaerobním reaktoru, a podílem látek v původní biomase, které se při fermentaci rozkládají hůře (celulóza, hemicelulóza) nebo vůbec (lignin). V případě nejběžnějších vstupních surovin zemědělského původu (kejska hospodářských zvířat, rostlinná biomasa) se rozloží 40 – 60 % původní organické hmoty.

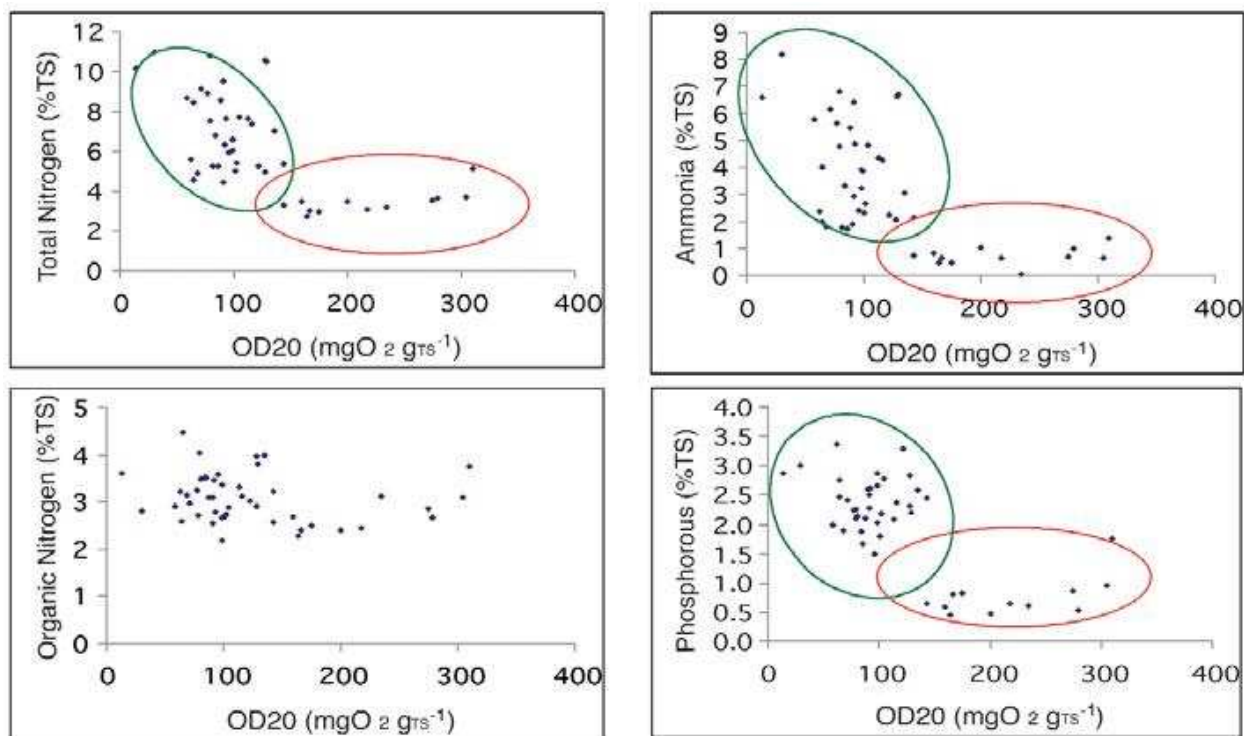
Ta část organické masy, která se nerozloží, obsahuje přibližně stejné množství dusíku a ostatních minerálních látek, jaké bylo obsaženo v původní hmotě. Digestát tedy lze použít pro návrat živin do půdy (MATĚJKA et al., 2010).

Celkové množství dusíku a ostatních minerálních látek v digestátu by mělo zůstat zachované. To ve své práci potvrzuje i SCHIEVANO (2009). Mimo jiné zde porovnával relativní obsah organického a amonného dusíku a fosforu ve vstupních materiálech a výstupním digestátu.

Jak se ukázalo, po procesu anaerobní fermentace, kdy se část bioodpadu rozložila, se skutečně zvýšila koncentrace amonného dusíku, zatímco koncentrace organického N zůstala na původních hodnotách. Obdobný nárůst koncentrace byl pozorován i pro fosfor. Nárůst koncentrace byl přímo úměrný biologické stabilitě.

Výsledky měření zobrazuje graf 4.11. V zeleném kruhu se nachází hodnoty naměřené pro digestát, v červeném hodnoty naměřené pro původní vstupní substrát. Grafy znázorňují závislost koncentrací celkového množství N, dále koncentraci amonného a organického dusíku, a fosforu na biologické stabilitě suroviny. Biologická stabilita byla měřená jako spotřeba kyslíku v miligramech na gram látky po dobu 20 hodin (SCHIEVANO et al., 2009).

Obrázek 4.11: Závislost koncentrace látek na biologické stabilitě (SCHIEVANO et al., 2009)



Z grafu lze tedy vyčíst dvě věci, a to, že digestát je biologicky stabilnější než původní materiály, neboť jeho spotřeba kyslíku je menší, a také že s rostoucí stabilitou roste i koncentrace živin v digestátu.

Jelikož minerální dusík je pro rostlinu lépe vstřebatelný než organický, lze se domnívat, že digestát může být použit jako zdroj dusíku.

4.4.1 Vlastnosti digestátu

Bioplynové stanice se staví primárně pro výrobu bioplynu. Nicméně, při výstavbě a provozu bioplynové stanice by se nemělo zapomenout ani na technickou a ekonomickou stránku využití digestátu. Při zpracování kejdy nebo fytomasy vzniká stejné množství digestátu, jako byl objem zpracovávané suroviny. Proto je potřeba do realizace zahrnout i náklady na uskladnění a potřebnou techniku pro práci s digestátem v souladu s platnými legislativními předpisy.

Jak už bylo několikrát zmíněno, digestát má dvě složky, kapalnou a tuhou. K jejich vzájemnému oddělení se používají kalolisy, centrifugy nebo šnekové separátory (KRATOCHVÍLOVÁ et al., 2009). Tyto dvě složky se od sebe oddělují proto, aby nedocházelo k sedimentaci ve skladovacích jímkách.

Tekutá část, neboli fugát, se po oddělení od pevné části skladuje v nepropustných nadzemních či částečně zapuštěných nádrží nebo v zemních jímkách. Lze jej znovu použít k ředění biomasy v bioplynové stanici nebo jako kapalné hnojivo.

Tuhý digestát se musí skladovat stejným způsobem jako fugát. Navíc je zde nutná sběrná jímka tekutého podílu. Lze ho rovněž skladovat na zabezpečených hnojištích nebo přímo použít pro výrobu kompostu. V obou uvedených případech se musí zamezit přítoku povrchových nebo srážkových vod do jímky nebo nádrže.

Při skladování hospodářských hnojiv může docházet k produkci emisních plynů. Mohou to být emise plynu zvyšující skleníkový efekt, jako je metan nebo oxid dusný, nebo emise amoniaku a zapáchajících látek. Emise amoniaku se vyskytují převážně během vynášení substrátu, protože díky fermentaci stoupá podíl amoniaku ve fermentačním zbytku. Co se týká skleníkových plynů, výroba bioplynu výrazně přispívá k jejich omezení. Například v případě kejdy výroba bioplynu snižuje celkově emise skleníkových plynů o 60 - 70 %. Dochází především ke snížení emisí metanu. Stupeň snížení emisí metanu závisí na stupni rozložení organické hmoty, a tedy na mnoha faktorech souvisejících s intenzitou fermentačního procesu (doba zdržení, teplota apod.) (KRATOCHVÍLOVÁ et al., 2009).

Stejně jako i samotné bioplynové stanice, tak i digestát z nich pocházející můžeme dělit dle vstupních surovin. Podle vstupních materiálů pak klademe na výstupní digestát různé požadavky, které jsou často definované příslušnými zákony a nařízeními.

První typ digestátu pochází ze stanic, kde vstupní surovina jsou statková hnojiva a materiály rostlinného původu, tj. sláma všech typů obilovin i olejnin, bramborová nať, travní biomasa nebo kukuřičná siláž. V tomto případě nelze použít jako vstupní surovinu odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, tj. jako vstupní surovina nemohou sloužit například vedlejší produkty živočišné výroby. Požadavky na hnůj, zpracovaný hnůj a zpracované výrobky z hnoje se řídí nařízením ES č. 1069/2009. Jednou ze základních podmínek uvádění zpracovaných výrobků z hnoje na trh je hodnocení jeho hygienizace v průběhu nebo po zpracování.

Další typ digestátu pochází z bioplynových stanic, kde jednou ze vstupních surovin mohou být odpady. Takové bioplynové stanice zpracovávají bioodpady, statková hnojiva a materiály rostlinného původu. Tyto BPS lze provozovat pouze na základě rozhodnutí orgánu kraje. Tento orgán schvaluje provozní řád BPS. Pokud jsou BPS stanice součástí ČOV, vzniká anaerobně stabilizovaný kal. V těchto BPS se zpracovávají kaly pouze z ČOV, septiků, žump a odpadní voda.

Poslední typ digestátu pochází ze stanice, které mohou zpracovávat vedlejší živočišné

produkty. Pokud digestát vzniká v BPS, kde se zpracovávají vedlejší živočišné produkty, je nutné dodržovat podmínky nařízení ES č. 1069/2009, a to je např. hygienizace suroviny. Tyto BPS musí být schváleny Krajskou veterinární správou. Na těchto stanicích lze zpracovávat např. jateční odpady, kuchyňské odpady, zmetkové potraviny, hnůj a obsah trávicího traktu. S digestáty z této BPS musí být při uskladnění zacházeno tak, aby se zabránilo opětovnému znečištění (MARADA et al., 2008).

Kromě dělení dle vstupních surovin do bioplynové stanice lze fermentační zbytek dělit také dle obsahu sušiny.

4.4.2 Použití digestátu

Způsob použití digestátu závisí na jeho kvalitě a řeší se před zprovozněním BPS. Digestát může mít různou jakost v závislosti na druzích zpracovávaných odpadů, technologii zpracování a stupni odvodnění.

Použití digestátu na zemědělské půdě

Při tom nejjednodušším způsobu využití digestátu, tj. jeho přímé aplikaci na zemědělskou či lesní půdu, je nutné brát v úvahu určitá omezení. Pevná i tekutá složka digestátu jsou podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, tzv. závadné látky.

”Závadné látky jsou látky, které nejsou odpadními ani důlními vodami a které mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod.”

Aby nedošlo ke kontaminaci podzemních a povrchových vod nebo znečištění životního prostředí, je ten, kdo s takovými látkami nakládá, povinen přijmout soubor přiměřených opatření:

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

Pokud aplikace digestátu na zemědělskou půdu, respektive jeho zpracování na organické hnojivo, probíhá ve shodě se zákonem č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, pak se digestát nepovažuje za odpad, ale za hnojivo, a je nutné postupovat podle příslušných předpisů ministerstva zemědělství.

Dávka a čas hnojení digestátem není v legislativě omezená. Dávky digestátu musí vycházet z obsahu dusíku v digestátu. Obsah dusíku se udává buď jako podíl ze sušiny nebo jako podíl z čerstvé hmoty digestátu.

Pro určení množství digestátu je potřeba brát v úvahu řadu faktorů, jaké jsou potřeby živin pro předpokládaný výnos a kvalitu produkce porostu, množství přípustných živin v půdě, vliv klimatu a půdního typu, půdní reakce hodnoty (pH), poměr důležitých kationtů (vápníku, hořčíku a draslíku), množství humusu atd. (MARADA et al., 2008).

Mezi pozitivní stránku digestátu jako hnojiva patří:

- Pokles emisí skleníkových plynů - při manipulaci se statkovými hnojivy a rostlinnou biomasou dochází k emisím oxidu uhličitého a metanu. V bioplynové stanici při anaerobní fermentaci organických substrátů jsou rozložitelné látky přeměněny na bioplyn, který je jímán a dále používán k energetickým účelům.
- Snížení zápachu - látky, které vytvářejí nepříjemný zápach některých statkových hnojiv, jsou transformovány anaerobní fermentací na látky bez pachu, což je oxid uhličitý a metan.
- Snížení obsahů patogenů a semen plevelů - snížení rizika mikrobiální kontaminace digestátu je dána řadou podmínek a to například zvýšená teplota fermentace na 50 °C, doba zdržení 20 - 60 dnů záleží na druhu substrátu.
- Zlepšení reologických vlastností - ke zlepšení dochází ze dvou důvodů. Prvním důvodem je homogenizace a biologická stabilizace substrátu v anaerobním reaktoru. Homogenizace umožňuje rovnoměrnější aplikaci digestátu do půdy. Druhým důvodem zlepšení je nižší viskozita digestátu, díky čemuž hnojivo lépe proniká do půdy, a tím pádem snižuje i riziko vyplavení. Nízká viskozita a také menší obsah mastných kyselin v digestátu umožňují jeho aplikaci i ke vzrostlým rostlinám.
- Zachování hnojivých látek - při anaerobní fermentaci biomasa obsahuje 5 % uhlíku. Z rozložené biomasy je 95 % uhlíku přeměněno na bioplyn. To znamená, že při fermentaci se nesnižuje celkové množství živin. Díky rozkladu většiny organických látek, se zvýší koncentrace a využitelnost živin v digestátu (MATĚJKA et al., 2010; HAVLÍČKOVÁ et al., 2008).

Nicméně, výhodnost použití digestátu jako hnojiva není jednoznačná. Jsou zde pochybnosti, zda vůbec lze považovat digestát za organické hnojivo. Aby hnojivo bylo označeno za organické, mělo by splňovat podmínku snadné rozložitelnosti. V případě digestátu jsou ale nejněsněji rozložitelné složky již spotřebované, ať už v trávicím traktu zvířat nebo při anaerobní fermentaci. Zbylá hmota je tak relativně stabilní, a živiny se z ní neuvolňují tak snadno.

To ovšem neznamená, že použití digestátu v zemědělství nemá smysl. Organická hmota pevné složky digestátu je totiž výborným prostředkem pro zlehčení těžkých půd a pro úpravu jejich vlastností. Tato hmota se pomalu rozkládá, což zvyšuje provzdušněnost těžkých půd. Provzdušněnost může mít mnohem lepší vliv na výnosnost, než nadměrné aplikace hnojiv na půdu s nevhodnými vlastnostmi (KUŽEL et al., 2010).

Použití stabilizovaných kalů

Se stabilizovaným kalem je nutné nakládat podle vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách používání upravených kalů na zemědělské půdě. Tyto stabilizované kaly mají podobné vlastnosti digestátu, ale jsou považovány za čistírenské kaly. Při stabilizaci tohoto kalu vzniká kalová voda. Pokud kalovou vodu nelze použít jako hnojivo, lze ji pouštět pouze na ČOV.

Při použití upravených kalů musíme dodržovat určité podmínky: od umístění kalů na zemědělskou půdu musí být kaly zapraveny do půdy do 48 hodin, potřeba dodání živin do půdy musí být doložena výsledky agrochemických vlastností půd uvedenými v evidenčním listu využití kalů v zemědělství, dávka dusíku dodaného v kalech nesmí překročit 70 % celkového potřebného dusíku pro hnojenou plodinu a další požadavky. V půdě, na které mohou být použity kaly, nesmějí být překročeny mezní hodnoty koncentrace rizikových prvků uvedené v příloze A (tabulka 10.1).

Použití digestátu v ekologickém zemědělství

Podle nařízení Rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů digestát v ekologickém zemědělství nemůžeme použít vždy. Můžeme ho použít v případě, že by BPS pracovala v režimu platném pro ekologicky hospodařící farmu. Potom by musely splňovat požadavky i vstupní suroviny. Požadavkem na vstupní suroviny jsou podmínky organického hnojiva použitelného pro produkci ekologických výrobků. Je možné podle právních předpisů udělit výjimku pro částečné použití digestátu z ekologicky hospodařícího subjektu. Hnojení podle právních předpisů se provádí výrobkem vzniklým při anaerobní fermentaci propojené s výrobou bioplynu z rostlinných materiálů a živočišných odpadů tříděných u zdroje.

Použití digestátu mimo zemědělskou a lesní půdu

Použití digestátů mimo zemědělskou a lesní půdu řeší vyhláška č. 341/2008 Sb., upravující podrobnosti nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Digestáty, které jsou vyráběny z bioodpadů a používají se mimo zemědělskou a lesní půdu tak jsou nazývány rekultivační digestáty. Rekultivační digestáty lze použít např. na povrchu terénu u rekreačních a sportovních zařízení, při rekultivaci v průmyslových zónách nebo pro rekultivační vrstvy skládek.

Rekultivační digestáty musí splňovat určité požadavky. Jsou to požadavky na vlhkost hmoty, ta musí být maximálně 98 %, dále celkový obsah N v sušině musí být vyšší než 0,3 % a hodnota pH musí být v rozmezí 6,5 - 9,0. Tyto požadavky stanovuje vyhláška č. 341/2008 Sb. Jako stabilizované kaly, tak i rekultivační digestát má limitní ukazatele rizikových látek a prvků (viz příloha A, tabulka 10.2).

Podle uvedené vyhlášky se výstupy z BPS dělí na 4 skupiny. Třídu 1 lze použít na povrch terénu určeného nebo používaného pro městskou zeleň včetně parků a lesoparků. Digestáty 2. a 3. třídy jsou používány k pěstování energetických, technických a okrasných rostlin. Dále jsou určeny k obohacování antropogenních půd a jako suroviny pro výrobu rekultivačních substrátů. Aby vše proběhlo, správně, měla by být teplota udržována ve fermentoru na 55 °C a to po dobu 24 hodin. Celková doba zdržení ve fermentoru by měla být 20 dnů.

Je nutné dávat pozor na zákon č. 254/2001 Sb., o vodách. I tento zákon má určité požadavky na rekultivační digestát a to např. aplikace pouze na pozemky, kde není provedeno odvodnění nebo zakazuje aplikaci na zamokřenou půdu, půdu pokrytou sněhem a promrzlou půdu. I když skladujeme digestát, musíme si dát podle uvedeného zákona pozor na místo, kde se tyto materiály skladují nebo dopravují, tak aby bylo zabráněno mísení s odpadními nebo srážkovými vodami atd.

Důležitý je také zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Tento zákon pojednává o zabezpečení BPS produkujících rekultivační digestát. Tyto BPS musí být zabezpečeny proti úniku zápachu.

Další použití digestátu

Kromě použití digestátu jako hnojiva jej lze rovněž využít pro výrobu tuhých paliv. Z digestátu se kvůli tomu musí vyseparovat a vysušit jeho tuhá část. Tuto tuhou část lze kombinovat i s dalšími druhy biomasy. Výroba paliva z digestátu je však ekonomicky i energeticky náročná, proto tato možnost využití digestátu není příliš rozšířená.

Pokud je jedním ze vstupních materiálů do bioplynové stanice komunální odpad, může se stát, že ve výsledném digestátu bude překročen limit pro obsah rizikových látek. Takový digestát nemůže být aplikován na zemědělskou nebo jinou půdu, ale je nutné s ním zacházet jako s odpadem podle zákona o odpadech, tj. takový digestát musí být spálen, čištěn na ČOV nebo uložen na skládce.

Likvidace digestátu je však krajní možností. Provozovatelé BPS se jí snaží vyhýbat pomocí vhodného výběru surovin, které vstupují do fermentačního procesu (MARADA et al., 2008).

4.4.3 Uvádění digestátu do oběhu

Uváděním do oběhu se rozumí jakákoli forma převodu (nabízení formou inzerce). Do oběhu se smí uvést digestát, který:

- je registrován podle zákona o hnojivech
- neohrožuje úrodnost půdy ani zdraví lidí nebo zvířat
- nepoškozuje životní prostředí
- splňuje požadavky na označování, balení a skladování
- není znehodnocen

Naopak do oběhu se nesmí uvést digestát, který:

- je neoznačený
- je označený nepravdivými nebo klamavými údaji
- u něhož obsah rizikových prvků je vyšší, než stanovuje vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva (viz příloha A, tabulka 10.3)

Každý digestát by měl být ohlášen nebo registrován. Registrace je správní řízení podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů (novela č. 9/2009 Sb., zaměřeno na digestát), který vykonává podle zákona o hnojivech Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Praze (ÚKZÚZ). U některých typů hnojiv (jejich seznam je ve vyhlášce č. 474/2000 Sb.) lze registraci obejít ohlášením, což je proces, při kterém na rozdíl od registrace se nemusí dokládat provedené chemické analýzy hnojiva, neplatí se registrační poplatek a celková doba potřebná k uvedení hnojiva do oběhu se zkrátí minimálně na polovinu.

Ohlášení podléhají ty digestáty, které jsou vyrobené výhradně s využitím statkových hnojiv, musí být při uvádění do oběhu ohlášeny podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů. Ohlašovací povinnost ani registrace ale neplatí, pokud tyto digestáty se použijí pro vlastní potřebu.

Registrace je naopak povinná pro všechny digestáty vyráběné s použitím odpadů (např. kaly, vedlejší živočišné produkty). Registrovat se musí i ty digestáty, které nejsou uváděny do oběhu.

Žadatelem o registraci je výrobce, dovozce nebo dodavatel. Případná registrace digestátu by se realizovala do 60 dnů od obdržení žádosti o registraci. Registrace hnojiv se uskutečňuje

na pracovišti ÚKZÚZ. Žadatel musí při registraci digestátu splnit řadu požadavků, např. součástí žádosti by měl být vzorek digestátu, nebo zpracovaný příbalový leták (nebo alespoň jeho návrh), kde je řešeno dávkování, druh plodiny a způsob aplikace (VEČEŘOVÁ, 2009).

5. METODIKA A MATERIÁL

Digestát, který byl použit při skleníkovém pokusu, pocházel z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Tuto bioplynovou stanici, která byla postavena v roce 2008, provozuje zemědělské družstvo Krásná Hora nad Vltavou a.s (ZD Krásná Hora). Jako vstupní substráty slouží především kejda, dále také travní senáž a kukuřičná siláž. Výkon stanice v Krásné Hoře je 526 kW (BIOM, 2008).

Celkově bylo provedeno pět pokusů se třemi různými rostlinami, *Gazania rigens*, *Ocimum basilicum* a *Mentha piperita*. Cílem pokusů bylo srovnat běžně vyráběné pěstební substráty a rašeliny s určitým podílem neseparovaného digestátu.

Směs rašeliny s ND jsme srovnávali se dvěma průmyslově vyráběnými pěstebními substráty, konkrétně s Pěstebním substrátem B (firma Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR) a Gramoflor cocofibre G-SG 02919 3,33EN (firma Gramoflor GmbH & Co. KG - 35, Vechta, Německo). Rašelina pochází z firmy Rašelina Soběslav (Soběslav, ČR), a digestát z bioplynové stanice ZD Krásná Hora.

Kromě běžných substrátů byly v rámci pokusu použity následující kombinace rašeliny a neseparovaného digestátu (poměry byly namíchaný objemově):

- 5 % neseparovaného digestátu a 95 % rašeliny
- 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny
- 15 % neseparovaného digestátu a 85 % rašeliny
- 20 % neseparovaného digestátu a 80 % rašeliny
- 25 % neseparovaného digestátu a 75 % rašeliny

Pro každý z popsaných substrátů jsme provedli čtyři opakování.

Do každé plastové nádoby o objemu 1000 ml byla zasazena jedna rostlina *Gazania rigens*. Rostliny byly dle potřeby pravidelně zalévány. Po celou dobu byl monitorován jejich vývoj. Po několika týdnech (viz níže) byly rostliny sklizeny, spočítány květy a zjištěna hmotnost nadzemní části. Tato nadzemní část byla usušena, namleta a podrobena dalšímu laboratornímu zkoumání.

Průběh u *Ocimum basilicum* byl stejný jako v případě *Gazania rigens*, s tím rozdílem, že tentokrát byla použita nádoba o objemu 1500 ml, do které byly zasazeny čtyři rostliny.

U *Mentha Piperita* byl průběh experimentu stejný jako v případě *Ocimum basilicum*, i tentokrát byly použity nádoby o velikosti 1500 ml.

Pokus s *Gazania rigens*

rok **2011** - založeno: 6.4. 2011, sklizeno: 18.5. 2011

substráty - Gramoflor, Baltica, Rašelina + 5 + 10 + 15 % ND

rok **2012** - založeno: 5.4. 2012, sklizeno: 18.6. 2012

substráty - Gramoflor, Pěst. substr. B, Rašelina + 10 + 15 + 25 % ND

Pokus s *Ocimum basilicum*

rok **2011** - založeno: 20.7. 2011, sklizeno: 31.8. 2011

substráty - Gramoflor, Pěst. substr. B, Rašelina + 5 + 10 + 15 % ND

rok **2012** - založeno: 26.4. 2012, sklizeno: 11.6. 2012

substráty - Gramoflor, Pěst. substr. B, Rašelina + 10 + 15 + 25 % ND

Pokus s *Mentha piperita*

rok **2012** - založeno: 5.6. 2012, sklizeno: 10.7. 2012

substráty - Gramoflor, Pěst. substr. B, Rašelina + 5 + 10 + 15 % ND

Stanovení obsahu amonného a nitrátového dusíku extrakcí CAT

Dostupnost či obsah vybraných půdních živin a prvků se stanovuje dle normy EN 13651. Tato evropská norma popisuje extrakční metodu pro stanovení živin a prvky extrahovatelné s chloridem vápenatým/DTPA (diethylentriaminpentaoctová kyselina). Norma není vhodná pro stanovení vápníku. Zkušební vzorek je při pokojové teplotě extrahován roztokem 0,01 mol/l CaCl_2 a 0,002 mol/l DTPA v poměru 1:5 (pevná látka/kapalina). Extrakce CAT se používá v několika evropských zemích, aby prověřila dostupnost živin v druhotných surovinách, biologickém odpadu, půdě či pěstebních substrátech. V některých zemích se výsledky stanovení obsahu mikroživin v půdě používají k výpočtu dodatečné dávky pro rostliny. Ve zhotovených extraktech byl fotometricky měřen obsah amonného, nitrátového a celkového přístupného dusíku přístrojem SKALAR SAN⁺⁺ SYSTEM.

Stanovení obsahu amonného a nitrátového dusíku extrakcí CaCl_2 (c=0,01 mol/l)

Roztok byl sestaven dle předpisu HOUBA et al. (1994). Bylo naváženo 10 g čerstvého substrátu a přidáno 100 ml roztoku CaCl_2 (c=0,01 mol/l). Vzorky se třepaly 2 hodiny a poté byly odstředěny. V extraktech byl fotometricky měřen obsah amonného a nitrátového přístrojem SKALAR SAN⁺⁺ SYSTEM.

Stanovení hodnoty výměnného pH

Pro stanovení hodnoty pH byla využita metoda adaptovaná dle RAYMENT and LYONS (2011), běžně používaná Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělství. Bylo naváženo 10 g suché půdy a přidáno 50 ml roztoku CaCl_2 ($c=0,01$ mol/l). Vzorky se třepaly po dobu 1 hodiny, dále se nechaly po dobu 1 hodiny ustálit. Po ustálení proběhlo měření výměnné hodnoty pH přístrojem "HANNA Instruments, HI 991 300" přímo v roztoku.

Obsah dusíku v nadzemní hmotě rostlin

Obsah dusíku byl stanoven po rozkladu koncentrovanou kyselinou sírovou dle KJELDAHLA (ČSN 46 1011-18). Pro extrakci bylo naváženo 0,5 g suchého, jemně namletého vzorku nadzemní hmoty. Toto množství bylo mineralizováno 10 ml koncentrované kyseliny sírové, za přítomnosti selenového katalyzátoru po dobu 1 hodiny při teplotě 400 °C. Mineralizovaný materiál byl následně měřen přístrojem Gerhardt Vapodest 50s.

Získané výsledky byly zpracovány pomocí dvou programů. Program Microsoft Excel (verze 2007) byl použit na výpočet základních statistických charakteristik, pomocí programu Statistica (StatSoft verze) bylo provedeno pokročilejší statistické vyhodnocení (ANOVA).

6. VÝSLEDKY

K vyhodnocování výsledků byla použita statistická metoda ANOVA dle CLEWER and SCARISBRICK et al. (2001). Každá tabulka obsahuje vypočtenou testovou statistiku (F test), která byla porovnána s kvantilem F rozdělení se stupni volnosti 4 a 15 na hladině spolehlivosti 95 % a 99 %. Pokud vypočtená testová statistika byla větší, než jeden ze dvou kvantilů, pak jsme zamítli nulovou hypotézu, tj. zamítli jsme tvrzení, že mezi substráty neexistuje rozdíl. V případě, že došlo k zamítnutí nulové hypotézy, je uvedena nižší hladina významnosti, na které došlo k zamítnutí, v opačném případě je uvedeno označení *ns* (*nesignifikantní*).

Pokud se ukázalo, že mezi jednotlivými variantami existují významné rozdíly, je pomocí písmen *a*, *b*, *c*, *d*, *e* označeno, které varianty se od sebe liší. Čím je písmeno dále v abecedě, tím je průměr této skupiny vyšší. Příklad: označení *a* pro jednu variantu a *b* pro druhou variantu znamená, že varianty se od sebe liší na dané hladině významnosti. Pokud napíšeme *a*, *ab*, *b*, pak tento zápis znamená, že první a třetí varianta se od sebe průkazně liší, ale v případě druhé skupiny se nepodařilo prokázat, že by se významně lišila od první nebo třetí skupiny.

Čísla v tabulce představují průměry pro danou kategorii. Při hodnocení výsledků musíme ale pamatovat, že každá skupina obsahuje jenom čtyři pozorování, a odlehle pozorování může značně ovlivnit průměr pro skupinu.

6.1 Vstupní rozbor substrátů

Výsledky vstupního rozboru substrátů jsou shrnuty ve dvou tabulkách, první obsahuje rozbor základních vlastností substrátů, jako je množství sušiny v %, objemovou hmotnost a hodnotu pH, druhá výsledky měření množství dusíku přítomného v substrátech.

Jak je z tabulky 6.1 patrné, nejvíce sušiny má Pěstební substrát B a to 49 %. Nejméně sušiny, pouhých 5,3 %, bylo změřeno v neseparovaném digestátu (ND), ze substrátů použitých pro pěstování rostliny bylo nejméně sušiny naměřeno v rašelině s 25 % ND (19). Nejmenší objemovou hmotnost má substrát Gramoflor (342 g/l), a pokud nebudeme počítat neseparovaný digestát, který měl objemovou hmotnost (980 g/l), největší objemovou hmotnost měla rašelina a 25 % ND (684 g/l). Nejnižší hodnotu pH (3,8) má samotná rašelina, nejvyšší pak neseparovaný digestát (7,7), avšak ani jeden nesloužil přímo pro pěstování rostliny. Z těch substrátů, které byly použity jako pěstební médium, byla nejnižší hodnota pH změřená u kombinace rašelina a 5 % ND (4,3), nejvyšší u kombinace rašelina a 25 % ND (6.0).

Dále dle očekávání platí, že s rostoucím podílem neseparovaného digestátu v rašelině klesá množství sušiny v substrátu, a naopak, roste jeho objemová hmotnost a hodnota pH.

Tabulka 6.1: Vstupní údaje

Substrát	sušina %	objemová hmotnost g/l	pH
Pěstební substrát B	49	452	4,9
Pěstební substrát Baltica	45	463	5,8
Gramoflor	43	342	5,1
Rašelina	40	426	3,8
Rašelina + 5 % ND	35	491	4,3
Rašelina + 10 % ND	30	552	4,8
Rašelina + 15 % ND	27	581	5,3
Rašelina + 20 % ND	22	645	5,7
Rašelina + 25 % ND	19	684	6,0
ND - čerstvá hmota	5,3	980	7,7

Jak už bylo zmíněno, minerální dusík v půdě se vyskytuje především ve dvou formách, v nitrátové formě NO_3^- a v amonné formě NH_4^+ . Pomocí metod extrakce CaCl_2 (0,01 mol/l) a CAT bylo změřeno množství těchto dvou forem dusíku v substrátech.

Největší množství jak NO_3^- , tak i NH_4^+ , bylo stanoven v čerstvé hmotě neseparovaného digestátu, který v kombinaci s rašelinou může posloužit jako výborný zdroj dusíku pro rostlinu (tabulka 6.2). Avšak nadbytek dusíku je pro rostlinu stejně nevhodný jako jeho nedostatek, proto jsme se snažili pomocí různých podílů neseparovaného digestátu a rašeliny najít vhodnou kombinaci substrátu pro optimální růst rostlin.

Tabulka 6.2: Obsah amonného a nitrátového dusíku v sušině stanovený metodami CAT a CaCl₂ (0,01 mol/l)

Substrát	CaCl ₂ (0,01 mol/l)		CAT	
	NO ₃ ⁻ mg/kg	NH ₄ ⁺ mg/kg	NO ₃ ⁻ mg/kg	NH ₄ ⁺ mg/kg
Pěstební substrát B	559	203	101	5,9
Pěstební substrát Baltica	46	26	26	53
Gramoflor	3,8	760	19	698
Rašelina	14	361	0,5	172
Rašelina + 5 % ND	17	745	0,8	900
Rašelina + 10 % ND	14	2058	2,3	1687
Rašelina + 15 % ND	14	2582	3,7	2223
Rašelina + 20 % ND	19	3575	6,3	4023
Rašelina + 25 % ND	28	5327	6,9	5288
ND - čerstvá hmota	2213	31613	385	27185

6.2 Hodnocení substrátů po sklizni rostlin

6.2.1 Základní charakteristika substrátů

Tabulka 6.3 se týká množství sušiny v substrátu. Při pohledu na výsledky metody ANOVA, nelze jednoznačně říci, zda množství sušiny v jednom ze substrátů výrazně převyšuje ostatní. Nicméně ve dvou případech byl prokázán rozdíl mezi Pěstebním substrátem B a ostatními substráty. Ve čtyřech z pěti případů je procento sušiny Pěstebního substrátu B nejvyšší, z čehož můžeme usoudit, že tento substrát měl nejvyšší podíl sušiny.

Tabulka 6.3: Průměrné množství sušiny v substrátech po sklizni rostlin (v %)

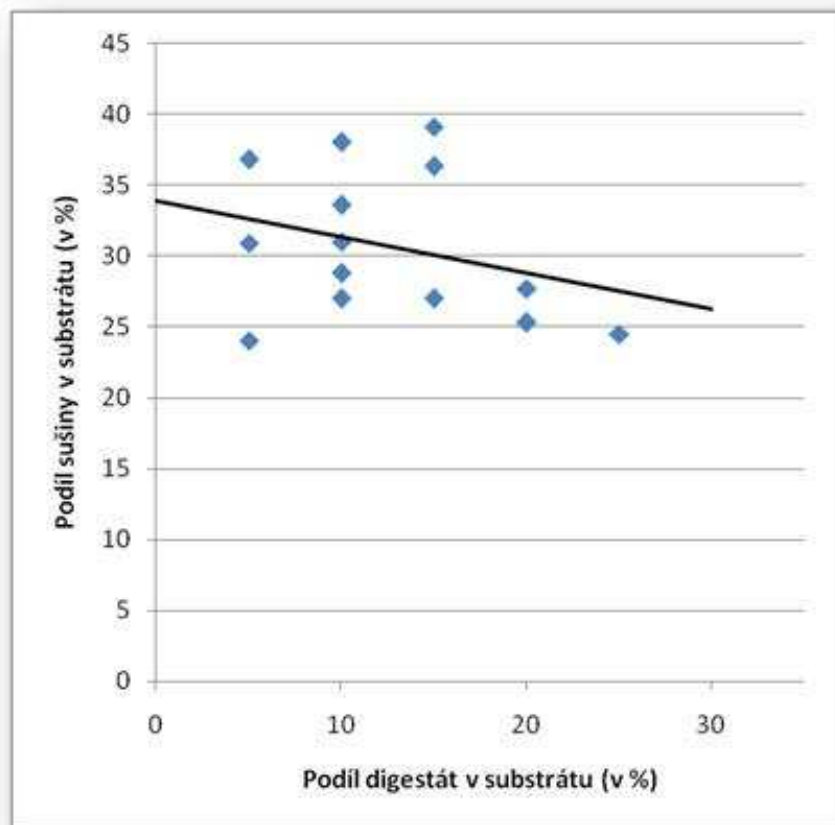
Substrát	Bazalka		Gazanie		Máta
	2011	2012	2011	2012	2012
Pěstební substrát B	48	38 ^b	-	42	40 ^b
Pěstební substrát Baltica	-	-	25	-	-
Gramoflor	40	29 ^a	29	37	26 ^a
Rašelina + 5 % ND	37	-	31	-	24 ^a
Rašelina + 10 % ND	34	29 ^a	31	38	27 ^a
Rašelina + 15 % ND	39	-	36	-	27 ^a
Rašelina + 20 % ND	-	25 ^a	-	28	-
Rašelina + 25 % ND	-	25 ^a	-	46	-
F test	1,46	6,29	1,84	1,45	6,58
Hladina významnosti	ns	0,01	ns	ns	0,01

Ačkoliv se statisticky neprokázal rozdíl mezi procentem sušiny pro různé kombinace rašeliny a neseparovaného digestátu, došlo po sklizni rostlin k vyrovnání procenta sušiny v substrátech zaléváním a odběrem rostlin. Předpokládali jsme, že s rostoucím podílem digestátu bude klesat podíl sušiny. Neseparovaný digestát je totiž tekutá látka s podílem sušiny v jednotkách procent.

Na základě výsledků z tabulky 6.3 nelze tento předpoklad na první pohled ověřit, proto byl vytvořen graf 6.1 závislosti podílu sušiny na procentuálním množství digestátu v substrátu¹. Proložený lineární trend je klesající, což je v souladu s výsledky z tabulky 6.1, kde je shrnut vstupní rozbor substrátů. Hodnota regresního koeficientu R^2 je však velmi nízká.

¹Pozorování pro substrát s 25 % ND z roku 2012 s hodnotou sušiny 46 % bylo z toho grafu vyloučené, protože se jedná o odlehlé pozorování.

Obrázek 6.1: Závislost podílu sušiny na množství neseparovaného digestátu v substrátu



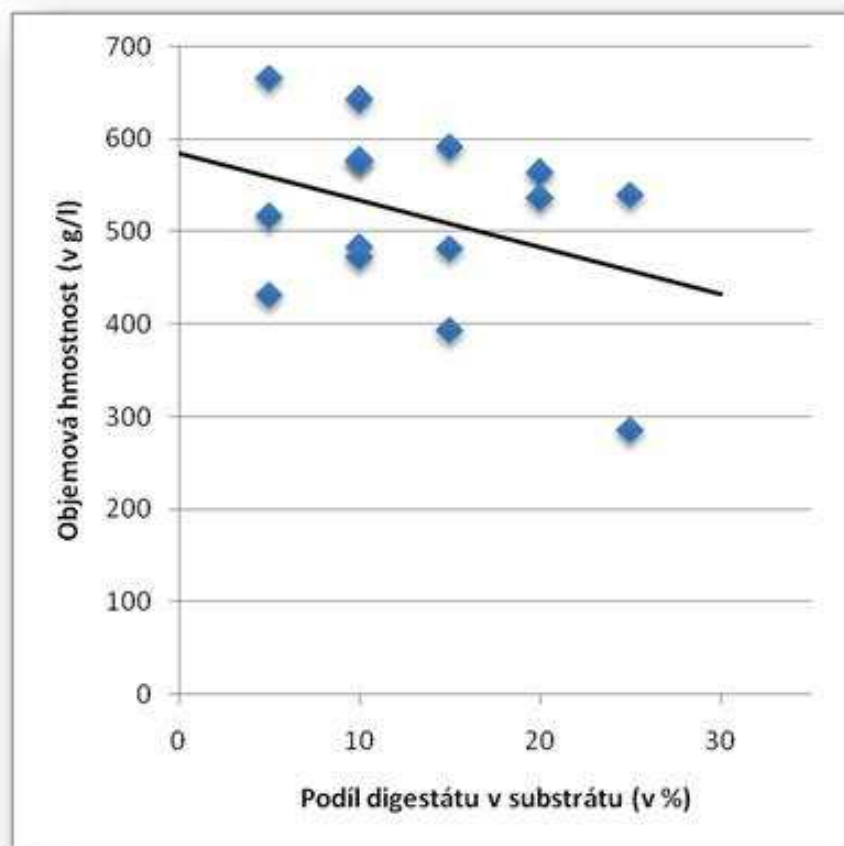
V případě objemové hmotnosti substrátů (tabulka 6.4) nastala obdobná situace, jako v případě sušiny, tj. až na jeden případ není statisticky prokázáno, že se jednotlivé substráty liší. Výjimku tvoří pozorování z roku 2011 pro gazánii. Tato odlišnost je způsobená tím, že místo Pěstebního substrátu B byl použit pěstební substrát Baltica, který měl v porovnání s ostatními vysokou objemovou hmotnost.

Až na jeden případ zde není statisticky prokázán rozdíl mezi objemovou hmotností jednotlivých substrátů s příměsí digestátu. Pokud ale vytvoříme graf podobný grafu 6.1, pak lze pozorovat, že s rostoucím podílem digestátu klesá objemová hmotnost. Toto zjištění je zdánlivě v rozporu s tvrzením z předchozí kapitoly, kdy bylo prokázáno, že s rostoucím podílem digestátu stoupá objemová hmotnost. Je třeba si ovšem uvědomit, že výsledky z předchozí kapitoly se vztahovaly k čerstvým nepoužitým substrátům, kdežto zde prezentujeme rozbor substrátů po sklizni. Hodnota regresního koeficientu R^2 (0,12) je i zde nízká, proto lze závislost objemové hmotnosti na množství ND v substrátu považovat za velmi slabou.

Tabulka 6.4: Průměrná objemová hmotnost substrátů (v g/l)

Substrát	Bazalka		Gazanie		Máta
	2011	2012	2011	2012	2012
Pěstební substrát B	464	575	-	528	554
Pěstební substrát Baltica	-	-	658 ^c	-	-
Gramoflor	377	515	364 ^a	477	573
Rašelina + 5 % ND	516	-	432 ^a	-	666
Rašelina + 10 % ND	483	577	576 ^{bc}	473	643
Rašelina + 15 % ND	394	-	482 ^{ab}	-	591
Rašelina + 20 % ND	-	564	-	536	-
Rašelina + 25 % ND	-	540	-	286	-
F test	1,18	0,44	5,88	1,97	0,89
Hladina významnosti	ns	ns	0,01	ns	ns

Obrázek 6.2: Závislost objemové hmotnosti na množství neseparovaného digestátu v substrátu



Na rozdíl od předchozích vlastností se hodnota pH jednotlivých substrátů liší celkem výrazně, což bylo i statisticky potvrzeno. Nejvyšší hodnotu pH má Pěstební substrát B, nejnižší pak rašelina s 5% podílem neseparovaného digestátu. Tento výsledek není překvapivý, protože samotná rašelina má hodnotu pH nízkou (3,8) a neseparovaný digestát naopak má hodnotu pH vyšší (7,7). S rostoucím podílem digestátu by tedy měla růst hodnota pH směsi.

Výsledky z tabulky 6.5 toto tvrzení potvrzují.

Tabulka 6.5: Průměrná hodnota pH substrátů

Substrát	Bazalka		Gazanie		Máta
	2011	2012	2011	2012	2012
Pěstební substrát B	5,0 ^e	5,0 ^c	-	5,0 ^c	5,1 ^d
Pěstební substrát Baltica	-	-	4,9 ^c	-	-
Gramoflor	4,4 ^c	4,5 ^b	4,5 ^{ab}	4,5 ^b	4,8 ^c
Rašelina + 5 % ND	3,8 ^a	-	3,8 ^{ab}	-	3,8 ^a
Rašelina + 10 % ND	4,2 ^b	4,1 ^a	4,3 ^b	4,0 ^a	4,2 ^b
Rašelina + 15 % ND	4,6 ^d	-	4,5 ^{ab}	-	4,3 ^b
Rašelina + 20 % ND	-	4,2 ^a	-	4,1 ^a	-
Rašelina + 25 % ND	-	4,3 ^{ab}	-	4,4 ^b	-
F test	169,39	25,61	7,70	50,59	54,58
Hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

6.2.2 Nadzemní hmota rostlin

Mezi zváženou nadzemní hmotou rostlin se neprokázaly statisticky významné rozdíly (tabulka 6.6). Výjimku tvoří výsledky pro bazalku. V roce 2011 byla hmotnost nadzemní hmoty rostliny pěstované v rašelině s 5% podílem neseparovaného digestátu průkazně nejnižší, mezi ostatními substráty se rozdíl neprokázal. V roce 2012 byly nejnižší hodnoty stanoveny u rašeliny s 20% a 25% podílem neseparovaného digestátu, nejvyšší pro substráty Gramoflor a rašelina s 5 % neseparovaného digestátu. Tyto výsledky indikují to, že příliš velké množství dusíku v substrátu pravděpodobně negativně ovlivnilo růst rostliny, stejně tak, jako i nedostatek dusíku.

Tabulka 6.6: Průměrná hmotnost nadzemní hmoty rostlin (v g)

Substrát	Bazalka		Gazánie		Máta
	2011	2012	2011	2012	2012
Pěstební substrát B	32 ^b	35 ^b	-	-	34
Pěstební substrát Baltica	-	-	49	65	-
Gramoflor	29 ^b	48 ^c	37	71	31
Rašelina + 5 % ND	19 ^a	-	41	-	37
Rašelina + 10 % ND	29 ^b	47 ^c	62	53	40
Rašelina + 15 % ND	36 ^b	-	52	-	56
Rašelina + 20 % ND	-	23 ^a	-	59	-
Rašelina + 25 % ND	-	21 ^a	-	62	-
F test	9,33	41,5	2,86	0,92	2,0
Hladina významnosti	0,01	0,01	ns	ns	ns

Počet květů jsme mohli porovnat jenom v případě gazánie (tabulka 6.7), ostatní rostliny byly sklizeny před vykvetením. V roce 2011 předpoklad o stejném počtu květů pro všechny substráty zamítnut nebyl. V roce 2012 už byla tato hypotéza zamítnuta, s tím, že nejmenší počet květů mají rostliny pěstované v rašelině s 10 % neseparovaného digestátu a nejvyšší počet květů mají gazánie, které rostly v rašelině s 25% podílem neseparovaného digestátu. Nicméně abychom prokázali, že s rostoucím podílem digestátu roste i počet květů gazánie, potřebovali bychom větší množství opakování variant.

Tabulka 6.7: Průměrný počet květů gazánie

Substrát	2011	2012
Pěstební substrát B	-	8,3 ^{ab}
Pěstební substrát Baltica	8,0	-
Gramoflor	5,0	7,8 ^{ab}
Rašelina + 5 % ND	8,0	-
Rašelina + 10 % ND	7,0	5,0 ^a
Rašelina + 15 % ND	8,0	-
Rašelina + 20 % ND	-	6,3 ^{ab}
Rašelina + 25 % ND	-	10 ^b
F test	1,07	4,30
Hladina významnosti	ns	0,05

Procento sušiny v rostlině se pro jednotlivé substráty neliší (tabulka 6.8). Výjimku znovu tvoří pozorování bazalky, ale ani tam nebyly zjištěny průkazné rozdíly. Nejméně sušiny bylo v rostlinách pěstovaných v rašelině s 10 % digestátu, nejvíce v rostlinách rostoucích v Gramofloru a rašelině s 20 % digestátu.

Hodnoty sušiny pro gazánii z roku 2011 jsou řádově vyšší než výsledky naměřené v roce 2012. Tento rozdíl lze vysvětlit tím, že rostliny byly v roce 2012 před sklizní více zalité, a tak v sobě po sklizni obsahovaly více vody. Zalévání probíhalo rosením, proto rostliny byly při sklizni vlhké i na povrchu, což mohlo způsobit rozdílné výsledky naměřeného % sušiny.

Tabulka 6.8: Průměrné procento sušiny rostlin

Substrát	Bazalka		Gazánie		Máta
	2011	2012	2011	2012	2012
Pěstební substrát B	8,7 ^c	7,7 ^a	-	10	17
Pěstební substrát Baltica	-	-	34	-	-
Gramoflor	8,1 ^{bc}	9,3 ^b	45	11	15
Rašelina + 5 % ND	7,7 ^{ab}	-	39	-	14
Rašelina + 10 % ND	7,1 ^a	7,5 ^a	28	9,6	13
Rašelina + 15 % ND	7,5 ^{ab}	-	31	-	14
Rašelina + 20 % ND	-	9,3 ^b	-	9,9	-
Rašelina + 25 % ND	-	8,6 ^{ab}	-	10	-
F test	4,41	4,29	1,86	0,39	1,70
Hladina významnosti	0,05	0,01	ns	ns	ns

Množství dusíku v rostlině se liší pro jednotlivé substráty i rostliny, a jedná se o statisticky významné rozdíly (tabulka 6.9). Výjimku tvoří pozorování pro mátu.

Z dosažených výsledků jsme vyvodili dva závěry. První je, že množství dusíku je o něco nižší pro ty rostliny, které byly pěstovány v průmyslově vyráběných substrátech. Množství dusíku se významně neliší u rašeliny s nízkým podílem digestátu (5 % a 10 %), ale s rostoucím podílem se tento rozdíl stává významným. V případě máty se na zvolené hladině významnosti nepodařilo prokázat rozdíl mezi jednotlivými substráty, nicméně pokud hladinu významnosti snížíme na 90 %, pak nulovou hypotézu o stejném množství dusíku pro všechny substráty můžeme zamítnout.

S rostoucím podílem neseparovaného digestátu rostlo i množství dusíku v rostlině. V dalších kapitolách bude popsáno, na čem závisí výsledné procento dusíku v rostlině, a jak množství dusíku v rostlině ovlivňuje její vzrůst.

Tabulka 6.9: Průměrné procento N v rostlině

Substrát	Bazalka		Gazanie		Máta
	2011	2012	2011	2012	2012
Pěstební substrát B	4,6 ^a	4,3 ^b	-	2,2 ^a	2,7
Pěstební substrát Baltica	-	-	2,9 ^a	-	-
Gramoflor	5,0 ^{ab}	3,3 ^a	3,5 ^a	2,3 ^a	2,7
Rašelina + 5 % ND	5,1 ^{ab}	-	3,4 ^a	-	2,8
Rašelina + 10 % ND	5,6 ^{bc}	4,9 ^c	3,4 ^a	3,3 ^b	3,0
Rašelina + 15 % ND	5,8 ^c	-	4,8 ^b	-	3,6
Rašelina + 20 % ND	-	6,1 ^d	-	3,4 ^b	-
Rašelina + 25 % ND	-	6,0 ^d	-	3,3 ^b	-
F test	5,87	52,54	9,24	19,77	2,69
Hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	0,01	ns

6.3 Nitrátová a amonná forma dusíku v substrátech

Minerální dusík se vyskytuje v půdě především ve dvou podobách, ve formě nitrátové NO_3^- a amonné NH_4^+ . Pro změření množství této formy dusíku v substrátu byly použity metody popsané v 5. části. Výsledky měření, které bylo prováděno pro substráty po sklizni rostliny, jsou shrnuté v následujících tabulkách. Obecně se dá říci, že množství jak nitrátového, tak i amonného dusíku v substrátech po sklizni je nižší, než jaké bylo zjištěno při vstupním rozboru. Je to způsobeno tím, že část dusíku bylo využito rostlinou, část byla spotřebovaná při procesu denitrifikace (viz podkapitola 4.2.1).

V tabulce 6.10 jsou shrnuty výsledky pokusu s bazalkou. Ve všech případech byl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi substráty. V roce 2011, kdy byly zkoušeny nižší podíly neseparovaného digestátu a rašeliny, byly nejvyšší hodnoty nitrátového dusíku naměřeny v Pěstebním substrátu B a Gramofloru. Naopak, největší naměřené množství amonného dusíku patřilo kombinaci rašeliny a 15 % neseparovaného digestátu.

V roce 2012 byly vyzkoušeny větší podíly digestátu, 20 % a 25 %. Nejvíce amonného dusíku bylo znovu naměřeno právě v těchto substrátech. Například rozdíl v množství NH_4^+ mezi substrátem s 5 % ND a 25 % ND je přibližně 4500 mg/kg (tabulka 6.2). Navíc, vysoký podíl neseparovaného digestátu způsobil, že i hodnoty nitrátového dusíku u těchto substrátů byly značně vyšší, než u ostatních sledovaných variant.

Tabulka 6.10: Obsah NH_4^+ a NO_3^- (v mg/kg) v substrátech po pěstování bazalky stanovený metodami CaCl_2 (0,01 mol/l) a CAT

Substrát	2011				2012			
	NO_3^-		NH_4^+		NO_3^-		NH_4^+	
	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT
Pěstební substrát B	148 ^b	369 ^b	7,2 ^a	12 ^a	139 ^a	239 ^a	13 ^a	11 ^a
Gramoflor	668 ^c	334 ^b	16 ^a	10 ^a	27 ^a	36 ^a	15 ^a	17 ^a
Rašelina + 5% ND	5,0 ^a	119 ^a	678 ^b	890 ^b	-	-	-	-
Rašelina + 10% ND	3,0 ^a	22 ^a	1058 ^c	1007 ^b	25 ^a	153 ^a	527 ^b	676 ^b
Rašelina + 15% ND	17 ^a	24 ^a	1517 ^d	1110 ^b	-	-	-	-
Rašelina + 20% ND	-	-	-	-	1264 ^b	1811 ^b	1329 ^c	1507 ^c
Rašelina + 25% ND	-	-	-	-	1874 ^c	2502 ^c	1271 ^c	1446 ^c
F- test	40,68	8,39	33,77	4,93	232,86	94,61	47,61	36,33
Hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Výsledky pro gazánii se podobají výsledkům pro bazalku (tabulka 6.11). V roce 2011 patří nejvyšší naměřené hodnoty nitrátového dusíku průmyslově vyráběným substrátům, v roce 2012 nejvyšší hodnoty mají kombinace rašeliny 20 %, resp. 25 % neseparovaného digestátu. V případě NH_4^+ je situace podobná, nejvíce amonného dusíku obsahují substráty, kdy se kombinovala rašelina s 15ti a více procenty neseparovaného digestátu.

Tabulka 6.11: Obsah NH_4^+ a NO_3^- (v mg/kg) v substrátech po pěstování gazáníí stanovený metodami CaCl_2 (0,01 mol/l) a CAT

Substrát	2011				2012			
	NO_3^-		NH_4^+		NO_3^-		NH_4^+	
	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT
Pěstební substrát B	-	-	-	-	5,4 ^a	2,4 ^a	7,7 ^a	8,7 ^a
Pěstební substrát Baltica	5,3	6,6	16 ^a	61 ^a	-	-	-	-
Gramoflor	7,3	1,5	26 ^a	638 ^b	2,7 ^a	53 ^{ab}	14 ^a	18 ^a
Rašelina + 5% ND	2,7	0,9	152 ^a	145 ^a	-	-	-	-
Rašelina + 10% ND	6,3	1,8	659 ^b	53 ^a	510 ^b	407 ^{ab}	17 ^{ab}	64 ^b
Rašelina + 15% ND	8,7	18	1186 ^c	1477 ^c	-	-	-	-
Rašelina + 20% ND	-	-	-	-	2025 ^c	2215 ^c	39 ^{bc}	44 ^c
Rašelina + 25% ND	-	-	-	-	2250 ^c	682 ^b	28 ^c	14 ^a
F-test	1,57	1,28	39,98	20,82	208,17	21,65	7,76	25,29
Hladina významnosti	ns	ns	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Výsledky pokusu s mátou v roce 2012 jsou ve shodě s pokusy s bazalkou a gazáníí z roku 2011, protože zde byly použity kombinace rašelina a 5 %, 10 % a 15 % neseparovaného digestátu (tabulka 6.12). A tak znovu platí to, že více nitrátového dusíku je obsaženo v průmyslově vyráběných substrátech, přičemž nejvyšší množství NO_3^- je v Pěstebním substrátu B. Naopak, nejvíce amonného dusíku obsahuje rašelina s 15 % digestátu.

Tabulka 6.12: Obsah NH_4^+ a NO_3^- (v mg/kg) v substrátech po pěstování máty stanovený metodami CaCl_2 (0,01 mol/l) a CAT

Substrát	NO_3^-		NH_4^+	
	CaCl_2	CAT	CaCl_2	CAT
Pěstební substrát B	36 ^b	37 ^c	9,3 ^a	9,2
Gramoflor	12 ^a	16 ^a	17 ^b	15
Rašelina + 5% ND	3,9 ^a	0,9 ^a	17 ^a	31
Rašelina + 10% ND	3,5 ^a	3,3 ^a	26 ^b	61
Rašelina + 15% ND	5,2 ^a	4,4 ^a	68 ^c	142
F test	9,19	30,66	25,34	1,76
hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	ns

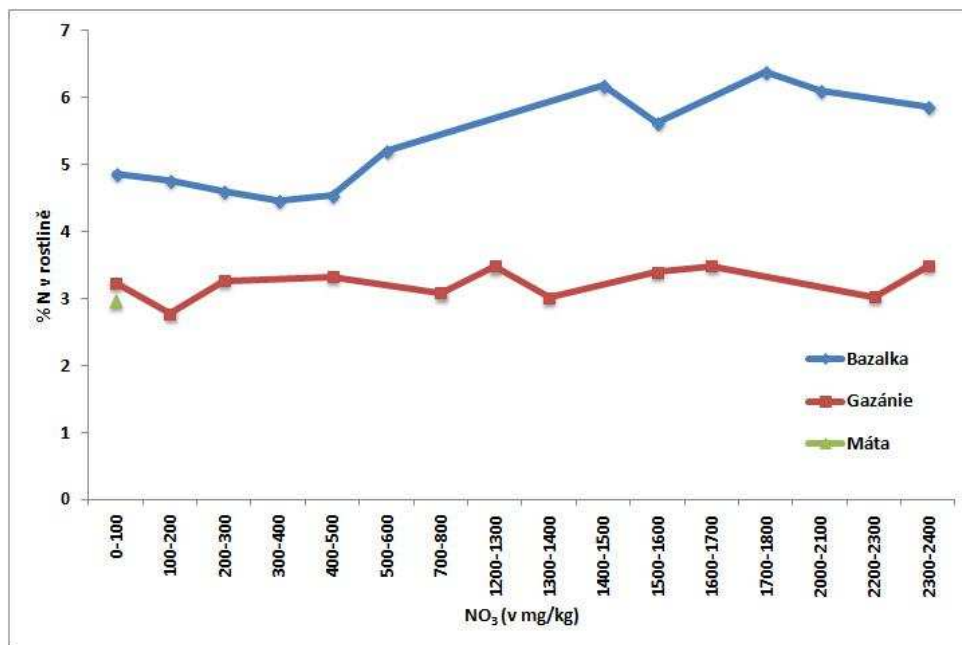
Množství dusíku, které rostlina dokáže přijmout, závisí na řadě okolností, mimo jiné na formě dusíku přítomného v pěstebních substrátech a jeho množství. Důležitá je také potřeba dusíku a schopnost přijímat dostupnou formu dusíku danou rostlinou, neboť tyto potřeby a schopnosti se liší pro různé druhy.

Byly sestrojeny grafy závislosti % N v rostlině na množství NO_3^- a NH_4^+ . Pro jednoduchost jsme nerozlišovali mezi jednotlivými substráty. Hodnoty NO_3^- , respektive NH_4^+ , byly pro přehlednost seskupeny do větší skupiny, kdy do jedné skupiny spadají pozorování s hodnotami NO_3^- , resp. NH_4^+ v intervalu 0-100 mg/kg, 100-200 mg/kg atd. Odpovídající hodnota % N na ose y je tak průměrem pozorování patřících do této skupiny.

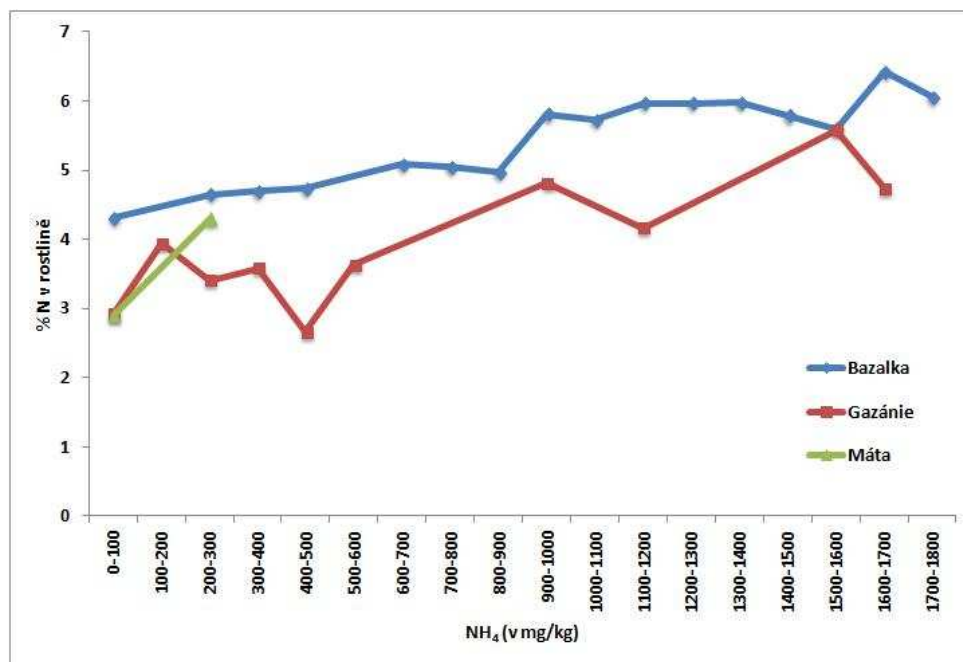
V grafu 6.3 je znázorněná závislost % N na množství NO_3^- v substrátu. Hodnoty NO_3^- naměřené v pokusu s mátou jsou v rozmezí 0 až 100 mg/kg, proto je tato rostlina v grafu znázorněná jenom jedním bodem. Reakce bazalky a gazánie na rostoucí množství dusíku v substrátu je odlišné. V případě bazalky množství N v rostlině vzrostlo z 5 % na 6 %. V případě gazánie % N bylo přibližně stejné bez ohledu na množství NO_3^- v substrátu.

Graf 6.4 znázorňuje závislost množství N v rostlině na obsahu NH_4^+ v substrátu. Z tohoto grafu lze usoudit, že amonná forma ovlivnila množství dusíku v rostlině více než nitrátová. S rostoucím množstvím amonného dusíku se procento N v bazalce zvýšilo ze 4 % na 6 %. U gazánie, u které předchází graf neprokázal vliv NO_3^- na % N, s rostoucím NH_4^+ stoupl % N ze 3 % na 4 %.

Obrázek 6.3: Závislost % N v rostlině na množství NO_3^- v substrátu



Obrázek 6.4: Závislost % N v rostlině na množství NH_4^+ v substrátu



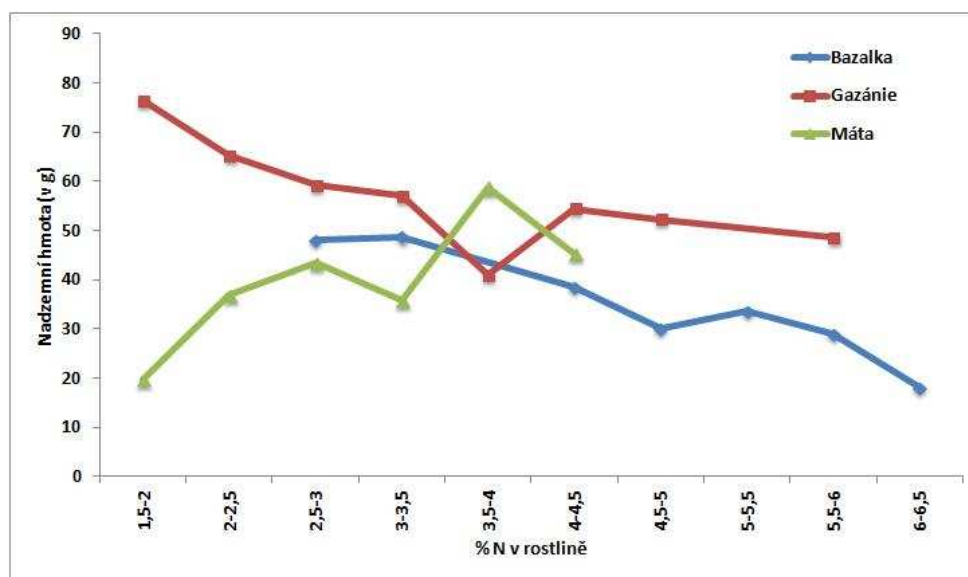
Na základě dvou výše uvedených obrázků lze konstatovat, že amonná forma dusíku měla v našich pokusech na výsledné procento N v rostlině větší vliv než nitrátová forma. Toto zjištění lze vysvětlit tím, že množství amonného dusíku naměřeného v substrátech bylo řádově vyšší, než nitrátového (viz tabulka 6.2).

6.4 Závislost nadzemní hmoty rostliny na vlastnostech substrátů

Dusík je nezbytně nutný pro růst rostliny. Nicméně, nadbytek dusíku, respektive nadbytek NO_3^- nebo NH_4^+ v půdě může nepříznivě ovlivnit vývoj rostliny. Následující graf 6.5 vyjadřuje závislost hmotnosti nadzemní části na procentu dusíku přítomného v rostlině. V případě bazalky a gazánie je zřetelně vidět klesající trend, kdy s rostoucím množstvím dusíku je spojená menší hmotnost. U máty nebyl zaznamenán pokles hmotnosti v souvislosti s rostoucím množstvím dusíku. Je však pravděpodobné, že pokud by byly provedeny pokusy s mátou a rašelinou s více než 15 % neseparovaného digestátu, pokles hmotnosti nadzemní hmoty by byl rovněž zaznamenán.

Jak je zřejmé z předchozí kapitoly 6.3, procento dusíku v rostlině úzce souvisí s množstvím NO_3^- a NH_4^+ v substrátu. Znamená to tedy, že substráty s nadměrným množstvím nitrátového a amonného dusíku nejsou vhodnými pro pěstování rostlin, neboť nadměrné množství těchto částic blokuje schopnosti rostliny přijímat další živiny (VANĚK et al., 2012). Obzvláště negativně tímto způsobem působí amonná forma dusíku. Jak uvádí VANĚK et al. (2012), při hnojení by nemělo docházet k jednorázovému použití dávky s vysokým obsahem N. Při použití substrátů, kde rašelina obsahovala 20 % a 25 % neseparovaného digestátu, došlo právě ke zmínovanému použití jednorázové dávky s vysokým obsahem N, neboť v těchto substrátech bylo naměřeno nadměrné množství NO_3^- a NH_4^+ i po skončení pokusu.

Obrázek 6.5: Závislost hmotnosti nadzemní hmoty na % N v rostlině

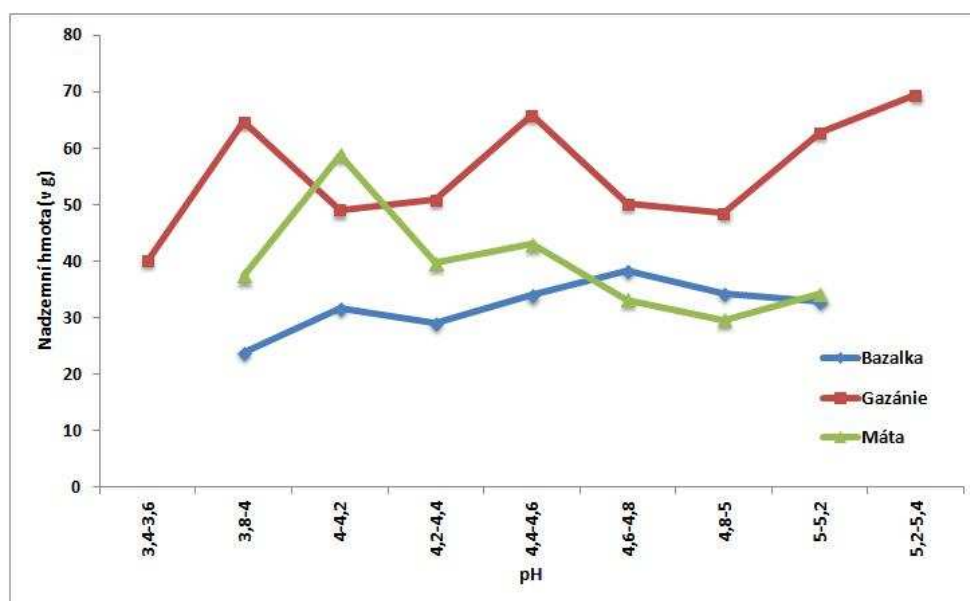


Další vlastnost, která významně ovlivňuje růst rostliny, je hodnota pH substrátu. Pro prostředí, ve kterém rostliny vyrůstají, by nemělo být příliš kyselé ani zásadité. Abychom se podívali, jaký vliv má pH na námi zkoumané rostliny, sestrojili jsme graf 6.6 závislosti hodnoty pH na nadzemní hmotu rostliny.

Jak už bylo zmíněno v podkapitole 4.2.1, optimální hodnota pH, při kterém dochází k dostatečnému uvolňování živin z půdy s příměsí organických látek do rostliny se pohybuje kolem 5,8, dusík je dobře přijímán při hodnotách 5,0 až 8,0. Substráty, které vyhovují těmto požadavkům na hodnotu pH, jsou Gramoflor nebo kombinace rašelina a 15 % až 25 % neseparovaného digestátu.

V našem případě pro bazalku a gazánii platí, že největší nadzemní hmotu mají ty rostliny, jenž byly pěstovány v substrátech s hodnotou pH přibližně 4,5 až 5, v případě máty v substrátech s hodnotou pH 4 až 4,5. Námi naměřená optimální hodnota pH je tedy přibližně o jednu jednotku nižší, než je udávána. Tento rozdíl lze vysvětlit rozdílem v měření. Naše naměřená hodnota pH pochází z půdního vzorku po sklizni rostliny, kdežto údaj o optimální hodnotě pH 5,8 se týká samostatné zeminy. Hodnota pH samostatné zeminy se může lišit od hodnoty pH substrátu odebraného v blízkosti rostliny. Rostlina totiž podle Vaněk et al. (2012) dokáže ovlivnit, nejčastěji snížit, hodnotu pH ve svém okolí.

Obrázek 6.6: Závislost hmotnosti nadzemní hmoty na hodnotě pH substrátu



7. DISKUZE

Vhodná hodnota pH je jedním z nejdůležitějších faktorů pro zdravý růst rostlin. Optimální hodnota pH zajistí vhodný příjem živin rostlinou. Stanovit ideální hodnotu pH nelze, neboť se tato hodnota liší pro jednotlivé substráty a druhy rostlin. Nicméně obecně platí, že příliš kyselé nebo zásadité prostředí není pro růst rostliny vhodné. V kyselém prostředí se zvyšuje příjem rizikových prvků (Mn, Cd, Cr a dalších), v alkalickém prostředí naopak dochází ke zhoršení rozpustnosti některých prvků, například Fe nebo Mn (VANĚK et al., 2012).

Na základě četných studií jsme předpokládali, že neseparovaný digestát má vysokou hodnotu pH (MÖLLER and MÜLLER, 2012). Jedním z hlavních předpokladů při našem experimentu tedy bylo to, že použití zásaditého neseparovaného digestátu zvýší jinak nízkou hodnotu pH rašeliny, čímž vznikne prostředí s takovou hodnotou pH, které umožní příjem nezbytných živin rostlinou. Přidáváním neseparovaného digestátu do rašeliny skutečně došlo k růstu hodnoty pH. Nejnižší hodnota (3,8) patřila samostatné rašelině, nejvyšší (6,0) pak rašelině s 25% podílem ND. Samostatný digestát měl hodnotu pH rovnou 7,7.

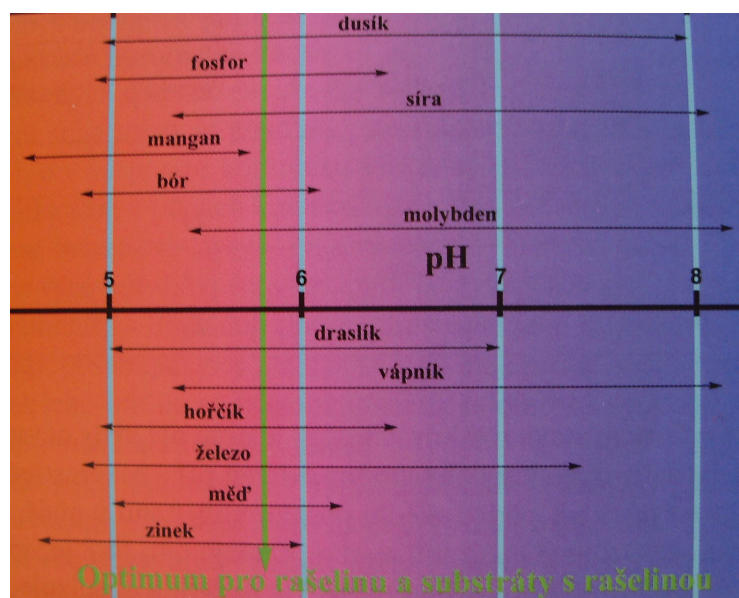
Hodnotu pH ovlivňuje složení vstupního substrátu. MÖLLER and MÜLLER (2012) uvádějí, že hodnota pH digestátu se pohybuje v rozmezí 7,3 - 9. V případě digestátu z bioplynové stanice z Krásné Hory nad Vltavou jsme naměřili hodnotu pH 7,7. Kromě hodnoty pH pro neseparovaný digestát ve zmíněné práci byla také změřena hodnota pH zvlášť pro tekutou a zvlášť pro pevnou složku digestátu. Přibližná hodnota pH pro tekutou složku digestátu byla 7,9, pro pevnou 8,9. Jelikož tekutá složka tvoří většinu hmoty ND, lze očekávat, že ND se bude svými vlastnostmi blížit spíše tekuté složce. Proto námi naměřená hodnota pH se shoduje s hodnotou pH tekuté složky digestátu uvedené v práci MÖLLER and MÜLLER (2012).

V práci RIGBY and SMITH (2011) byly mimo jiné zkoumány vlastnosti digestátu bioplynových stanic, kde hlavní složku tvořily exkrementy hospodářských zvířat. Takový digestát by měl mít podobné vlastnosti jako vzorek pocházející z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Hodnoty pH uváděné RIGBY and SMITH (2011) se pohybují v intervalu 7,6 až 8,8, což souhlasí s naším vzorkem (7,7).

Procento sušiny tvoří 3,5 až 9,3 % hmoty digestátu, průměrná hodnota je 4,9 % (RIGBY and SMITH, 2011). Sušina v našem případě tvořila 5,3 % hmoty digestátu. Podle zmíněné práce MÖLLER and MÜLLER (2012) se procento sušiny v digestátu pohybuje v rozmezí 1,5 až 13,2 %, přičemž tekutá složka digestátu má procento sušiny v rozsahu 4,5 až 6,6 %, pevná v rozsahu 19,3 až 24,7 %. Naše výsledky tedy korespondují s oběma výše uvedenými pracemi.

VANĚK et al. (2012) uvádí, že optimální příjem živin pro rašelinu a materiály s vyšším obsahem organických látek nastává při hodnotě pH kolem 5,8 (obrázek 7.1). Této hodnotě pH přibližně odpovídá směs rašeliny a 20 % ND, respektive s 25 % ND.

Obrázek 7.1: Rozsah vhodného pH pro příjem živin v rašelině a v substrátech s převahou rašeliny (VANĚK et al., 2012)



Tento předpoklad se ale v roce 2012 při pokusech s tak vysokými podíly neseparovaného digestátu nepotvrdil. V případě pokusu s bazalkou váha nadzemní části rostliny rostoucí v rašelině s 20 % ND, respektive s 25 % ND, klesala. To bylo způsobeno extrémně vysokým množstvím amonného dusíku v substrátech. Tento dusík působí dle BLUME et al. (2002) antagonisticky na příjem ostatních prvků, zejména draslíku.

Množství NH_4^+ pro rašelinu s 20 % ND (25 % ND) bylo pomocí CaCl_2 naměřeno 3575 mg/kg, pomocí CAT 4023 mg/kg (pro 25 % ND: 5327/5288 mg/kg). Samotný neseparovaný digestát obsahoval přibližně 30 000 mg/kg NH_4^+ , což je přibližně 3 % ze sušiny digestátu.

Určení množství NH_4^+ v neseparovaném digestátu patří mezi základní kroky při analýze vlastnosti digestátu, proto je zde k dispozici řada výsledků, se kterými lze srovnat naše hodnoty. ALBURQUERQUE et al. (2012) zkoumali možnost použití digestátu jako hnojiva. Část jimi zkoumaného digestátu pocházela z bioplynových stanic, kde převážnou část vstupního substrátu tvořila dobytčí kejda, což se podobá materiálům, které zpracovává bioplynová stanice v Krasné Hoře nad Vltavou. Podíl sušiny v digestátu byl 3,1 %, což se shoduje s námi naměřenými hodnotami. Množství NH_4^+ v čerstvé hmotě digestátu byl 0,9 g/l, což přibližně odpovídá koncentraci 29 000 mg/l sušiny. Množství NH_4^+ z digestátu z Krásné Hory bylo při-

bližně 30 000 mg/kg, a protože objemová hmotnost tohoto digestátu byla 980 g/l, můžeme prohlásit, že koncentrace amonného dusíku je přibližně na stejné úrovni.

Ve stejné práci byl zkoumán i digestát pocházející z prasečí kejdy. Podíl sušiny v tomto případě byl 2,9 % a množství amonného dusíku 2,8 g/l v čerstvé hmotě, což odpovídá přibližně 96 000 mg/l v sušině.

Obdobný pokus proběhl v TAMBONE et al. (2010). Autoři zde porovnávali vlastnosti vstupních materiálů, například kombinaci prasečí kejdy a tříděného komunálního odpadu, a digestátů, které vznikly z těchto substrátů. Digestát, který by se svými vlastnostmi mohl nejvíce blížit digestátu z Krásné Hory, pocházel z bioplynové stanice, která zpracovávala prasečí a dobytčí kejdu, dále pak zbytky ze zpracování mléka, travní siláž a zbytky po pěstování rýže, to vše v poměru 48:14:24:10:4. Sušina tohoto digestátu byla 3,8 %. Množství amonného dusíku bylo kolem 55 000 mg/kg sušiny. Tento výsledek je o něco vyšší než ten, který jsme při svém pokusu změřili. Rozdíl se dá patrně vysvětlit jiným složením materiálu, který vstupuje do bioplynové stanice.

Množství amonného a nitrátového dusíku v substrátu souvisí s množstvím dusíku v rostlině. Čím více bylo amonného a nitrátového dusíku v substrátu, tím více dusíku bylo naměřeno v rostlině. Množství dusíku v bazalce rostoucí v rašelině s 10 % ND bylo 4,9 %, v rašelině s 25 % ND dusíku bylo 6,0 %. V případě máty to bylo 2,8 % N pro rašelinu s 5 % ND, a 3,6 % N pro rašelinu s 15 % ND. Výjimku tvořila gazánie, kdy množství dusíku v rostlině bylo pro všechny substráty srovnatelné. Stejně výsledky byly dosaženy v pokusu, který proběhl ve skleníku České zemědělské univerzity v Praze v roce 2011. I zde v případě bazalky nejnižší množství dusíku v rostlině (5,1 %) bylo naměřeno pro rašelinu s 5 % ND, nejvyšší (5,8 %) bylo v rostlině rostoucí v rašelině s 15 % ND. Obdobně to bylo i u gazánie, kdy nejméně dusíku (3,5 %) bylo v rašelině s 5 % ND a nejvíce (4,8 %) v rašelině s 15 % ND.

Škodlivý vliv nadměrného množství dusíku, který se u nás projevil malou nadzemní hmotou především u bazalky, se v roce 2011 neobjevil, protože zde nebyl testován substrát s tak vysokým podílem neseparovaného digestátu (HOLEČKOVÁ, 2012).

Závěrem tedy lze říci, že naše výsledky nejsou v rozporu s výsledky obdobných pokusů, kde se zkoumaly vlastnosti digestátu. Aby byly rozdíly v jednotlivých naměřených hodnotách spolehlivě vysvětleny, bylo by nutné znát bližší údaje o zmíněných experimentech, například podrobnější popis vstupních materiálů do bioplynových stanic nebo o použitých metodách pro stanovení množství živin v digestátu.

8. ZÁVĚR

Trendem dnešní doby je zvýšená péče, kterou člověk věnuje ochraně životního prostředí. S touto problematikou je pak úzce spojená i otázka využití alternativních zdrojů energie a minimalizace množství odpadů, které skončí na skládkách. S oběma problémy nám může pomoci bioplynová stanice, která pomocí procesu zvaného anaerobní fermentace přeměňuje biologicky rozložitelný odpad, jako jsou například zbytky z rostlinné či živočišné výroby, na bioplyn a digestát.

Dlouhou dobu v centru pozornosti byl jenom jeden z výstupů bioplynové stanice - bioplyn, pomocí kterého se vyrábí teplo a elektrická energie. Nicméně, s rostoucím množstvím bioplynových stanic, rostlo i množství vyprodukovaného digestátu. Proto se začaly zkoumat biologické, chemické a fyzikální vlastnosti digestátu, a také jeho potenciální využití.

Digestát lze použít jako hnojivo. Díky anaerobní fermentaci, kdy z organické látky se uvolní metan a u dalších látek, se ve zbývající hmotě zvýší koncentrace živin nezbytných pro růst rostliny. Mezi tyto živiny patří především dusík, dále pak draslík, hořčík, fosfor atd. Někteří autoři však tvrdí, že digestát není až tak dobré hnojivo, jak se často prezentuje. Argumentují tím, že digestát je celkem stabilizovaný, neboť nejsnadněji rozložitelné látky se rozložily během anaerobní digesce, a zbylé živiny se již nebudou uvolňovat tak snadno.

Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti použití digestátu jakožto zdroje dusíku pro pěstební substráty. Pro potvrzení této hypotézy byl založen experiment se třemi rostlinami: *Gazania rigens*, *Ocimum basilicum* a *Mentha piperita*, které byly zasazeny do různých substrátů. Jako pěstební média byly zvoleny následující substráty: Pěstební substrát B a Gramoflor, což jsou průmyslově vyráběné substráty pro pěstování především zahradních rostlin. Dále byly vytvořeny substráty pomocí smíchání rašeliny s určitým podílem digestátu. Podíl neseparovaného digestátu činil postupně 5 %, 10 %, 15 %, 20 % a 25 % objemových. Práce navazuje na experiment, který proběhl v roce 2011 ve skleníku České zemědělské univerzity v Praze.

Nejdříve byly realizovány vstupní rozborů jednotlivých substrátů, kde se určovala jejich hodnota pH, objemová hmotnost, podíl sušiny, a také množství nitrátového a amonného dusíku v sušině substrátu. Samostatný neseparovaný digestát měl nejvyšší objemovou hmotnost (980 g/l), nejnižší podíl sušiny (5,3 %), nejvyšší hodnotu pH (7,7). Dále také nejvyšší množství NO_3^- a NH_4^+ . Samotná rašelina naopak měla nejnižší hodnotu pH (3,8), druhou nejnižší objemovou hmotnost (426 g/l) a průměrný podíl sušiny (39 %). Množství dusíku v rašelině bylo nižší než u běžně vyráběných substrátů. S rostoucím podílem neseparovaného digestátu

v rašelině rostla i hodnota pH, objemová hmotnost a množství NO_3^- a NH_4^+ , a naopak klesal podíl sušiny.

Růst rostliny závisí na vlastnostech substrátu, především na množství živin v něm obsažených a na jeho hodnotě pH. Hodnota pH je důležitá, neboť ovlivňuje jak dobře rostlina dokáže vstřebat živiny obsažené v substrátu. Cílem smíchání rašeliny s různým množstvím neseparovaného digestátu bylo najít vhodnou kombinaci obou dvou materiálů.

Z výsledků experimentu nebylo možné jednoznačně určit, který substrát je nejvhodnější. Z hlediska hmotnosti nadzemní hmoty bazalky bylo statisticky průkazně nejlepších výsledků dosaženo u substrátů Gramoflor (48 g) a rašelina s 10% podílem digestátu (47 g). Nejvyšší hmotnosti nadzemní hmoty u gazánie dosáhly rostliny, pěstované v Gramofloru. Zde se ovšem neprokázal statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými substráty. Obdobná situace nastala i u máty, kdy nejvyšší nadzemní hmota patří kombinaci rašeliny a 15 % ND, ani tato hodnota se statisticky neliší od ostatních.

Po sklizni rostlin byl změřen rovněž obsah dusíku v nadzemní hmotě rostlin. Nejvíce dusíku obsahovaly ty rostliny, které rostly v substrátech obsahujících velké množství nitrátového a amonného dusíku, což bylo v kombinaci rašeliny a 25 % ND. Množství dusíku v bazalce rostoucí v rašelině a 25 % ND bylo 6 %, v gazánii 3,3 %. V mátě, kde nebyl testován tak vysoký podíl digestátu, bylo nejvíce dusíku (3,8 %) u rostliny rostoucí v rašelině s 15 % ND.

Celkově se dá říci, že největší hmotnost nadzemní hmoty měly ty rostliny rostoucí v Gramofloru nebo v rašelině s 10 až 15 % neseparovaného digestátu. Z čehož vyplývá, že množství dusíku v substrátu není jediná rozhodující vlastnost, která má vliv na celkový růst rostliny. Kdyby tomu tak bylo, největších výnosů by dosahovaly ty rostliny pěstované v rašelině s vysokým podílem digestátu, neboť tyto substráty obsahovaly největší množství NO_3^- a NH_4^+ . Velké množství především amonného dusíku způsobilo omezení příjmu dalších živin (K, Mg apod.), což se negativně projevilo na růstu rostliny.

Na základě poznatků z teoretické části práce a výsledků experimentu lze prohlásit, že neseparovaný digestát lze použít jako zdroj dusíku pro pěstební substráty. Důležité je ovšem stanovit vhodný podíl neseparovaného digestátu a případně provést úpravu pH vápněním.

9. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ALBURQUERQUE, J.A.; CARRASCO, L.; CEGARRA, J.; BERNAL, M.P.; ABAD, M. et al.: *Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues*, Biomass and Bioenergy, Spain, 2012, 40: p. 181 - 189.
- [2] ALTMANN, V.; VACULÍK, P.; MIMRA, M.: *Technika pro zpracování komunálního odpadu*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2010, 120 s., ISBN 978-80-213-2022-2.
- [3] AUTERSKÁ, P.: *Problematika zápachu na bioplynových stanicích*, Biom.cz [online]. 2010-07-26 [cit. 2012-11-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-panicich>>, 2010, ISSN: 1801-2655.
- [4] BILÍK, J.; BLÁHA, A.; BUREŠ, J.; DLOUHÝ, T. et al.: *Odpad je nevyčerpatelný zdroj energie*, Odpadové fórum, Praha, 2010, 20 s., ISBN 978-80-85990-15-7.
- [5] BIOM: Zpráva ČTK - ZD Krásná Hora zprovozní v srpnu novou bioplynovou stanici, [online]. [cit. 2012-11-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/zd-krasna-hora-zprovozni-v-srpnu-novou-bioplynovou-panicich>>, 2008.
- [6] Blume, H.P.; Brümmer, G.V.; Schwertmann, U.; Horn, R.; Knabner et al.: *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*, Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart, 2002, 607 p., ISBN 3-8274-1324-9.
- [7] BUSTAMANTE, M.A.; ALBURQUERQUE, J.A.; RESTREPO, A.P.; PAREDES, C.; BERNAL, M.P. et al.: *Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture*, Biomass and Bioenergy, Spain, 2012, 43: p. 26 - 35.
- [8] CLEWER A.G.; SCARISBRICK D.H.: *Practical statistics and experimental design for plant and crop sciences*, John Wiley and Sons. Ltd., West Sussex, England, 2001, 332 p., ISBN 0-471-89909-7.
- [9] Český statistický úřad, *Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin 2012*, Spotřeba hnojiv za hospodářský rok 2011/2012, [online]. 2013-02-14 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/t/1000218C24/>>.

- [10] DELGADO, J.A.: *Quantifying the loss mechanisms of nitrogen*, Journal of Soil and Water Conversation, 2002, 57 (6): p. 389-398.
- [11] EXCEL: *Microsoft Office Excel 2007*, Microsoft office Enterprise 2007, USA, release SP2, 2007.
- [12] HABART, J.: *Komposty - významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti*, Biom.cz [online]. 2010-05-31 [cit. 2012-11-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/komposty-vyznamny-clanek-vyuziti-odpadu-a-zajisteni-pudni-urodnosti>>.
- [13] HABERLE, J.: *Dostupnost a využití zásoby dusíku z různých hloubek půdního profilu v závislosti na rozvoji kořenového systému*, Sborník z konference: Racionální použití průmyslových hnojiv, ČZU v Praze, 1997, s. 82 - 84, ISBN 80-213-0366-2.
- [14] HAVLÍČKOVÁ, K.; WEGER J.; BOHÁČ, J.; ŠTĚRBA, Z. et al.: *Rostlinná biomasa jako zdroj energie*, Průhonice, 2008, 83 s., ISBN 978-80-7415-004-3.
- [15] HOLEČKOVÁ, Z.: *Využití neseparovaného digestátu jako součásti pěstebních substrátů*, Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012, 76 s.
- [16] HOUBA, V.J.G.; NOVOZAMSKY, I.; TEMMINGHOFF, E.: *Soil analysis procedures: Extraction with 0.01M CaCl₂*, Soil and Plant Analysis, Part 5, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 1994, 66 p.
- [17] Informační systém statistiky a reportingu: *Spotřeba minerálních hnojiv a přípravků na ochranu rostlin*, Klíčové indikátory životního prostředí České republiky [online]. 2012-10-15 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z WWW: <<http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1608>>.
- [18] IVANIČ, J.; HAVELKA, B.; KNOP, K.: *Výživa a hnojení rostlin*, Příroda Bratislava - SZN Praha, 1984, 482 s.
- [19] JANSSON, S.L.; PERSSON, J.: *Mineralization and immobilization of soil nitrogen*, In: Stevenson, F.J. (Editor): Nitrogen in agricultural soils, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 1982, p. 229 - 252.

- [20] KÁRA, J.; PASTOREK, Z.; PŘIBYL, E.; HANZLÍKOVÁ, I.; ANDERT, D. et al.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*, VÚZT Praha – Ruzyně, 2007, 117 s., ISBN 978-80-86884-28-8.
- [21] KÁRA, J.; HUTLA, P.; PASTOREK, Z.: *Využití organických odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel*, VÚZT Praha - Ruzyně, 2008, 109 s., ISBN 978-80-86884-40-0.
- [22] KOLÁŘ, L.; VANĚK, V.; KUŽEL, S.; ŠTINDL, P.: *Využití odpadů z bioplynových stanic*, Sborník z konference, Racionální použití hnojiv zaměřené na půdní úrodnost, organickou hmotu v půdě a použití statkových a minerálních hnojiv, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2009, s. 50 - 57, ISBN 978-80-213-2006-2.
- [23] KOZLOVSKÝ, O.: *Zhodnocení nového systému výživy rostlin dusíkem cultan u ozimé pšenice*, Dizertační práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011, 100 s.
- [24] KRATOCHVÍLOVÁ, Z.; HABART, J.; SLADKÝ, V.; JELÍNEK, F.; ROSENBERG, T. et al.: *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*, CZ Biom – Praha, 2009, 157 s., ISBN 978-80-903777-5-2.
- [25] KUŽEL, S.; KOLÁŘ, L.; PETERKA, J.; HŘEBEČKOVÁ, J.: *Jak efektivně využít digestát?* JČU České Budějovice, časopis Energie 21, 2010, (3): Dostupné z WWW: <http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Jak-efektivne-vyuzit-digestat__303x46878.html>.
- [26] MARADA, P.; VEČEŘOVÁ, V.; KAMARÁD, L.; DUNDÁLKOVÁ, P.; MAREČEK, J.: *Průručka pro nakládání s digestátem a fugátem*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Institut celoživotního vzdělávání ve spolupráci s Ústavem zemědělské, potravinářské a environmentální techniky - Brno, 2008, 30 s.
- [27] MARTANOVÁ, I.: *Bioplynové technologie*, Bakalářská práce, VUT v Brně, 2010, 51 s.
- [28] MATĚJKA, J.; CIAHOTNÝ, K.; KAJAN, M.; DOHÁNYOS, J.; KAMARÁD, L. et al.: *Strategická výzkumná agenda v oboru bioplyn*, Česká bioplynová asociace - České Budějovice, 2010, 118 s.
- [29] MENGEL, K.; KIRKBY E.A.: *Principles of plant nutrition*, Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, Netherlands, 2001, 849 p., ISBN 1-4020-0008-1.

- [30] MÖLLER, K.; MÜLLER, T.: *Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review*, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany, Engineering in Life Sciences, 2012, 12 (3): p. 242 – 257.
- [31] MOTLÍK, J.; VÁŇA, J.: *Biomasa pro energii*, Biom.cz [online]. 2002-02-01 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>>. ISSN: 1801-2655.
- [32] MUŽÍK, O.; KÁRA, J.: *Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR*. Biom.cz [online]. 2009-03-04 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [33] NĚMEČEK, R.: *Změny minerálního a mineralizovatelného dusíku v půdě*, Dizertační práce, ČZU v Praze, 2002, 112 s.
- [34] NEUBERG, J.; JEDLIČKA, J.; ČERVENÁ, H.: *Výživa a hnojení plodin*, Metodika pro zavádění výzkumu do zemědělské praxe, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 1995, 64 s., ISSN 0231-9470.
- [35] PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVIČ, P. et al.: *Biomasa obnovitelný zdroj energie*, Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha, 2004, 288 s., ISBN 80-86534-06-5.
- [36] PAVLÍKOVÁ, D.; BALÍK, J.; PAVLÍK, M.; TLUSTOŠ, P.; VANĚK, V.: *Dusík v rostlině a jeho využití*, Sborník z konference: Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze, 2007, s. 28 - 33 , ISBN 978-80-213-1707-9.
- [37] RAYMENT, G.E.; LYONS, D.J.: *Soil Chemical methods - Australasia*, CSIRO Publishing, Melbourne, 2011, 495 p.
- [38] RICHTER, R.; HLUŠEK, J.: *Výživa a hnojení rostlin*, Vysoká škola zemědělská, Brno, 1994, 171 s., ISBN 80-7157-138-5.
- [39] RIGBY, H.; SMITH, S.: *New Markets for Digestate from Anaerobic Digestion*, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, 2011, 53 p.
- [40] SCHIEVANO, A.; ADANI, F.; TAMBONE, F.; D'IMPORZANO, G.; SCAGLIA, B.; GENEVINI, P.L.: *What is the Digestate?*, Regione Lombardia Publisher, Milano Italy, 2009, p. 7-18 .
- [41] StatSoft, Inc.: *Statistica* (data analysis software system), version 9.1., 2010.

- [42] STEVENSON, F.J.; COLE, M.A.: *Cycles of Soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*, John Wiley Sons, New York, 1999, 429 p. ISBN 0-471-32071-4.
- [43] STRAKA, F.; DOHÁNYOS M.: *Bioplyn*, GAS s.r.o., Praha, 2006, 706 s., ISBN 80-7328-090-6.
- [44] ŠKORVAN, O.; HOLBA, M.; PLOTĚNÝ, K.: *Suchou, nebo mokrou fermentaci?* ASIO, spol. s.r.o., "Energie z odpadních vod a odpadů", [online]. 2011-11-15 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://odpady.ihned.cz/c1-54680800-suchou-nebo-mokrou-fermentaci>>.
- [45] ŠVEHLA, P.; TLUSTOŠ, P.; BALÍK, J.: *Odpadní vody*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2007, 142 s., ISBN 978-80-213-1716-1.
- [46] TAMBONE, F.; SCAGLIA, B.; SCHIEVANO, A.; D'IMPORZANO, G.; ORZI, V.; SALATI, S.; ADANI, F.: *Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost*, Chemosphere, Italy, 2010, 81: p. 577 - 583.
- [47] VAN SCHÖLL, L.; VAN DAM, A.M.; LEFFELAAR, P.A.: *Mineralisation of nitrogen from an incorporated catch crop at low temperatures: experiment and simulation*, Plant and Soil, 1997, 188 (2): p. 211 - 219.
- [48] VANĚK, V. et al.: *Výživa polních a zahradních plodin*, Profi Press, s.r.o., Praha, 2007, 167 s., ISBN 976-80-86726-25-0.
- [49] VANĚK, V.; BALÍK, J.; ČERNÝ, J. et al.: *Výživa zahradních rostlin*, Academia, Praha, 2012, 568 s., ISBN 978-80-200-2147-2.
- [50] 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*. Biom.cz [online]. 2009-03-18 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: <<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>>, 2009, ISSN: 1801-2655.

Seznam použitých zákonů, vyhlášek, nařízení a norem

- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně zákonů (zákon o integrované prevenci)
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší
- Zákon č. 9/2009 Sb., kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě
- Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)
- Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu)
- Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 ze dne 28. června 2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení (EHS) č. 2092/91

- EN 13 651: Soils improvers and growing media – Extraction of calcium chloride/DTPA(CAT) soluble nutrients, CEN Brussels, 2001
- ČSN 46 1011-18: Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin, Část 18: Zkoušení obilovin: Stanovení obsahu dusíkatých látek, Český normalizační institut, 2003, 8 s.

Seznam obrázků

4.1	Způsoby zapojení anaerobních reaktorů	8
4.2	Schéma bioplynové stanice	9
4.3	Suchá fermentace	10
4.4	Mokrý fermentace	11
4.5	Anaerobní fermentace	13
4.6	Změna obsahu N_{min} v půdě v hloubce 0 - 0,6 m	16
4.7	Spotřeba minerálních hnojiv v ČR	20
4.8	Spotřeba hnojiv za hospodářský rok 2010/2011 v ČR	21
4.9	Spotřeba minerálních hnojiv za rok 2010 (v kg/ha), mezinárodní srovnání	22
4.10	Koloběh látek a živin v přírodě	24
4.11	Závislost koncentrace látek na biologické stabilitě	28
6.1	Závislost podílu sušiny na množství neseparovaného digestátu v substrátu	43
6.2	Závislost objemové hmotnosti na množství ND v substrátu	44
6.3	Závislost % N v rostlině na množství NO_3^- v substrátu	52
6.4	Závislost % N v rostlině na množství NH_4^+ v substrátu	52
6.5	Závislost hmotnosti nadzemní hmoty na % N v rostlině	53
6.6	Závislost hmotnosti nadzemní hmoty na hodnotě pH substrátu	54
7.1	Rozsah pH pro příjem živin v rašelině a v substrátech s převahou rašeliny	56

Seznam tabulek

4.1	Výhody a nevýhody suché fermentace	10
4.2	Výhody a nevýhody mokré fermentace	11
6.1	Vstupní údaje	40
6.2	Obsah NH_4^+ a NO_3^- v sušině stanovený metodami CAT a CaCl_2	41
6.3	Průměrné množství sušiny v substrátech po sklizni rostlin (v %)	42
6.4	Průměrná objemová hmotnost substrátů (v g/l)	44
6.5	Průměrná hodnota pH substrátů	45
6.6	Průměrná hmotnost nadzemní hmoty rostlin (v g)	46
6.7	Průměrný počet květů gazánie	46
6.8	Průměrné procento sušiny rostlin	47
6.9	Průměrné procento N v rostlině	48
6.10	Obsah NH_4^+ a NO_3^- po pěstování bazalky stanovený metodami CaCl_2 a CAT	49
6.11	Obsah NH_4^+ a NO_3^- po pěstování gazáníí stanovený metodami CaCl_2 a CAT	50
6.12	Obsah NH_4^+ a NO_3^- po pěstování máty stanovený metodami CaCl_2 a CAT	51

Příloha A: Seznam rizikových látek

Tabulka 10.1: Mezní (maximální) hodnoty koncentrací rizikových látek v kalech mg/kg sušiny (Vyhláška Ministerstva Životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě)

Riziková látka	Mezní hodnoty (mg/kg sušiny)
As	30
Cd	5
Cr	200
Cu	500
Hg	4
Ni	100
Pb	200
Zn	2500
AOX	500
PCB (suma 6 kongenerů)★	0,6

★ polychlorované bifenyly

Tabulka 10.2: Limitní koncentrace rizikových látek a prvků v rekultivačním digestátu v mg/kg sušiny (Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)

Sledovaný ukazatel	Třída 1	Třída 2	Třída 3
As	10	20	30
Cd	2	3	4
Cr	100	250	300
Cu	170	400	500
Hg	1	1,5	2
Ni	65	100	120
Pb	200	300	400
Zn		1200	1500
PCB	0,02	0,2	-
PAU ★	3	6	-

★ polycyklické aromatické uhlovodíky

Tabulka 10.3: Limitní hodnoty rizikových prvků (Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva)

mg/kg sušiny								
kadmium	olovo	rtuť	arsen	chrom	měď	molybden	nikl	zinek
2	100	1,0	10	100	100	5	50	400

Příloha B: Fotodokumentace pokusu

Obrázek 9.1: *Ocimum basilicum* - foto ze dne 11.6.2012, 1. Pěstební substrát B, 2. Gramoflor, 3. Rašelina + 10 % ND, 4. Rašelina + 20 % ND, 5. Rašelina + 25 % ND



Obrázek 9.2: *Gazania rigens* - foto ze dne 18.6.2012, 1. Pěstební substrát B, 2. Gramoflor, 3. Rašelina + 10 % ND, 4. Rašelina + 20 % ND, 5. Rašelina + 25 % ND



Obrázek 9.3: *Mentha piperita* - foto ze dne 10.7.2012, 1. Pěstební substrát B, 2. Gramoflor, 3. Rašelina + 5 % ND, 4. Rašelina + 10 % ND, 5. Rašelina + 15 % ND

