

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Výživa máty makroprvky dodanými v kapalně frakci
digestátu**

Bakalářská práce

**Autor práce: Adéla Zimmermannová
Zahradní a krajinářské úpravy**

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výživa máty makroprvky dodanými v kapalné frakci digestátu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Litoměřicích dne 2.5.2021



Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc., Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za odborné konzultace a rady při vedení bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině a blízkým za podporu v průběhu studia na vysoké škole.

Výživa máty makroprvky dodanými v kapalně frakci digestátu

Souhrn

V České republice, ale i celosvětově roste počet bioplynových stanic a s nimi i jejich odpad – digestát. Digestát a jeho separát jsou využívány především pro hnojení zemědělských půd. Fugát může být využíván jako hnojivo, avšak jeho vliv na zlepšení půdních vlastností není jednoznačný.

Tato práce zahrnuje popis problematiky bioplynových stanic, využití odpadu z bioplynových stanic jako hnojiva pro zemědělské účely, dále pojednává o možných vstupních materiálech a jejich zpracování. Práce seznamuje s výstupními materiály bioplynové stanice se zaměřením na obsah makroživin v digestátu, jeho separátu a fugátu.

Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnocení vlastností substrátů složených z rašeliny, fugátu a slámy a vápenitého dolomitu z hlediska pH a obsahu přístupných makroprvků a dále nalezení nejvhodnější kombinace těchto materiálů pro pěstování máty.

V pokusných sklenicích byl založen nádobový pokus s mátou peprnou (*Mentha piperita*), kde byly připraveny kombinace rašelinových substrátů s různými podíly fugátu se slámou (5, 10, 15, 20 %) a vápenitého dolomitu (RFS5-20). Vzorčky substrátů odebrané před sázením a po sklizni byly na obsah makroprvků analyzovány následujícími metodami: vodným výluhem, výluhem 0,01 mol/l CaCl₂, CAD a Mehlich 3. Dále bylo stanoveno aktivní pH a vodivost a výměnné pH substrátů a sušina substrátů v %. U vstupních substrátů byla měřena také objemová hmotnost. Ve sklizené mátě byly provedeny analýzy nadzemních částí na obsah makroprvků a byly změřeny výnosy rostlin z jednotlivých variant a následně doloženy odběry makroprvků.

Přidání fugátu a vápenitého dolomitu do RFS substrátů vedlo k postupnému zvýšení hodnoty pH, které bylo v substrátech po sklizni optimální. Dále bylo zjištěno, že nejvhodnější kombinace pro pěstování máty (při porovnání RFS substrátů) byla z hlediska výnosu sušiny varianta RFS5. U této varianty bylo rovněž naměřeno nejvyšší procento sušiny v rostlinách ze všech RFS substrátů. Sušina nadzemní části máty však v této variantě obsahovala nejméně makroprvků. I když tato varianta substrátu byla z hlediska výnosu ze všech RFS variant nejlepší, výnosy kontrolních substrátů byly několikanásobně vyšší. Variantu RFS5 následovaly varianty RFS20, RFS15 a RFS10. Nízké výnosy RFS substrátů způsobily pravděpodobně nízký obsah dusíku v substrátech na počátku vegetace. Proto by měl být v navazujícím výzkumu tento nedostatek odstraněn včasným hnojením.

Klíčová slova: Makroprvky; pěstební substráty; fugát; rašelina; máta (*Mentha piperita*)

Mint nutrition with macronutrients applied in the form of liquid phase of digestate

Summary

With the increasing number of biogas plants in the Czech Republic, but also worldwide, is increasing the amount of produced waste material – digestate. Digestate and its solid fraction are mainly used as agricultural fertilizers. Liquid fraction of digestate (fugate) can also be used as an agricultural fertilizer, but its influence on soil quality improvement is not obvious.

This thesis is including description of biogas plant stations problematic, usage of biogas plant stations waste materials as agricultural fertilizers and also describes biogas plants input materials and their processing. Furthermore, the role of digestate and its fractions (separate and fugate) from the point of view macronutrients inputs is described.

The main purpose of this bachelor thesis was testing of substrates consisting of peat, mixture of fugate with straw and calcareous dolomite in terms of influence on pH and as a source of bioavailable macronutrients and also finding of the best combination of these materials for mint growing.

The greenhouse pot experiment with *Mentha piperita* was established with peat substrates with different ratios of fugate with straw (5, 10, 15, 20 %) and calcareous dolomite (RFS5-20). Substrates samples were taken up before planting and after harvesting and analyzed for macronutrients content by following methods: water extract, extract 0,01 mol/l CaCl₂, CAD and Mehlich 3. Active and exchangeable pH value, electrical conductivity and substrate dry mass were determined as well. Above ground biomass of mint was analyzed to obtain the yield and total macronutrient content and their uptake.

Fugate and calcareous dolomite addition to RFS substrates led to gradual increase of pH, which was optimal in post-harvest substrates. It was further found that the most suitable combination in terms of mint yield (among RFS substrates) was the RFS5 variant. In this variant was also measured the highest ratio of dry matter of all RFS substrates. On the other hand, the above ground dry matter showed the lowest macronutrient content. Even though this substrate had the best yield of all RFS substrates, yields of control substrates were significantly higher. RFS5 variant was followed by RFS20, RFS15 and RFS10. Low yields of RFS substrates were probably caused due to the low nitrogen content in substrates at the beginning of vegetation. In the further studies this deficiency should be solved by fertilization at the beginning of experiment.

Keywords: Macronutrients; plant substrates; fugate; peat; mint (*Mentha piperita*)

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
2.1	Vědecká hypotéza	9
2.2	Cíle práce	9
3	Literární přehled	10
3.1	Bioplynové stanice	10
3.1.1	Rozdělení bioplynových stanic	10
3.2	Bioplyn	11
3.2.1	Historie výroby bioplynu	11
3.2.2	Vznik bioplynu	12
3.3	Digestát	13
3.3.1	Digestáty ze statkových hnojiv	14
3.3.2	Digestáty z anaerobní digesce bioodpadů	14
3.3.3	Rozdělení digestátů dle možností použití	15
3.4	Základní charakteristika makroprvků sledovaných ve výzkumu	18
3.4.1	Dusík (N)	18
3.4.2	Fosfor (P)	20
3.4.3	Draslík (K)	21
3.4.4	Vápník (Ca)	23
3.4.5	Hořčík (Mg)	24
3.4.6	Síra (S)	25
3.5	Rašelina a její využití	26
4	Metodika	27
4.1	Provedené analýzy	28
4.2	Stanovení hodnoty pH a vodivosti	28
4.2.1	Aktivní pH a vodivost	28
4.2.2	Výměnné pH	28
4.3	Stanovení obsahu okamžitě přístupných makroprvků vodným výluhem	28
4.4	Stanovení rychle dostupných makroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl₂	29
4.5	Stanovení potenciálně přístupných makroprvků metodou CAD	29
4.6	Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3	29
4.7	Analýzy rostlin	29
4.8	Obsah N v nadzemní hmotě rostlin	30
4.9	Zpracování výsledků	30
5	Výsledky	30
5.1	Předběžné hodnocení substrátů	30
5.2	Vyhodnocení posklizňových měření	35

6	Diskuze	43
7	Závěr	47
8	Použitá literatura	48

1 Úvod

Bioplynové stanice (BPS) jsou moderní ekologická zařízení, která umožňují zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Pomocí anaerobní fermentace biologicky rozložitelného odpadu je získáván především bioplyn. Nejčastěji je využíván k efektivní výrobě elektřiny a tepla. Vedlejším produktem je digestát, který lze využívat jako hnojivo. Při zpracování tak nevzniká žádný odpadní materiál.

Výroba bioplynu má pro Zemi ale i ČR velmi pozitivní přínos. Bioplyn je podle zákona č.180/2005 Sb. hodnocen jako obnovitelný zdroj energie, a proto tuto energii lze klasifikovat jako ekologicky šetrnou. Bioplyn může přispět ke snížení závislosti ČR na dovozu fosilních paliv z jiných zemí. Pro města a obce je zpracování biologicky rozložitelného materiálu v bioplynových stanicích efektivním způsobem, jak minimalizovat odvoz tohoto využitelného materiálu na skládky.

BPS mohou v obcích pomoci s rozvojem a podporou v nezaměstnanosti. Zemědělcům se nabízí další možnost využití zemědělské půdy a následná podnikatelská příležitost.

Zpracování biologicky rozložitelného odpadu může mít i své nedostatky. Hlavním problémem bioplynových stanic může být zápach obtěžující okolní obyvatele. V dnešní době je ale minimální s použitím moderních a dobře realizovaných technologií ve stavebnictví. Základem je kvalitní a ověřený materiál a dobré systémy zastřešení. Zápachu se dá také předejít dostatečným odstupem od zalidněných oblastí.

V souvislosti s provozem bioplynových stanic vzniká však také velké množství odpadního materiálu – fermentovaného digestátu. Jeho využití v zemědělství je vnímáno jako problematické, protože podle mnohých studií působí jako slabé minerální hnojivo s nedostatečným množstvím lehce rozložitelné organické hmoty. Vzhledem k nákladné logistice jsou zároveň digestátem přehnojovány pozemky v blízkosti bioplynových stanic. Proto je třeba hledat další alternativy využití digestátu nebo jeho složek.

Tekutou složkou digestátu je fugát. Využití fugátu jako hnojiva je předmětem této bakalářské práce. Odpadní fugát je tekutý produkt vyhnívacího procesu s vysokou hodnotou pH a obsahem živin a podobně jako tuhá složka digestátu ho lze využít v zahradnictví jako součást substrátů.

Využitím digestátu v zahradnictví lze pak přispět k úspoře rašeliny, která patří mezi neobnovitelné zdroje naší planety, ale do určité míry i využívaných komerčních hnojiv.

2 Cíl práce

2.1 Vědecká hypotéza

Vhodný poměr kapalné frakce digestátu (fugátu), rašeliny a slámy povede k vytvoření pěstebního substrátu srovnatelného s běžně používanými univerzálními typy substrátů z hlediska obsahu makroprvků a výnosu máty.

2.2 Cíle práce

- 1) Vyhodnotit vlastnosti substrátu složeného z rašeliny, fugátu a slámy z hlediska pH a obsahu přístupných makroprvků.
- 2) Ve srovnání s běžným pěstebním substrátem zjistit, jaká kombinace rašeliny, fugátu a slámy je nejvhodnější pro pěstování máty.

3 Literární přehled

3.1 Bioplynové stanice

BPS jsou běžně provozovány v celé Evropské unii. Jsou to ekologická zařízení, která zpracovávají celou řadu materiálů a odpadů organického původu (Bačík, 2008). Tento odpad můžeme nazývat biomasou. Biomasa je velmi obecný pojem zahrnující biologicky produkovaný materiál, a tudíž obsahuje různé druhy materiálů a látek vzniklých působením živých organismů. Biomasa je široce využívaný zdroj energie, která představuje až 10 % světové energetické spotřeby. Zdroje biomasy vhodné pro produkci bioplynu lze uspořádat do kategorií podle různých kritérií. Podle taxonomického měřítka jejich původu mohou být rostlinného a živočišného původu. Podle sektoru výroby mohou být zemědělského původu (hnůj, kejda, zeleninové zbytky z potravinářského průmyslu, energetické plodiny), průmyslového původu (organický odpad, vedlejší produkty potravinářského průmyslu, vedlejší produkty výroby biopaliv, organický materiál odpadních vod a další) a komunálního původu (tříděný odpad z domácností, čistírenské kaly) (Wellinger et al., 2013).

Bioplynové stanice jsou založeny na rozkladu organických látek za anaerobních podmínek a určité teplotě. Výše teploty se odvíjí od kmenů použitých bakterií, které biologický materiál rozkládají. Při rozkladu dochází uvolňování plynu, který je odváděn z fermentoru do zásobníků. V zásobnících jsou z bioplynu odstraňovány některé plyny pro požadované vlastnosti (Molek, 2015).

Produkty bioplynových stanic jsou bioplyn a digestát, jenž je vedlejším produktem. Před zpracováním bioodpadů v bioplynové stanici se provádí předpříprava materiálu pro anaerobní digesci. Mezi metody předpřípravy řadíme fyzickou, chemickou a biologickou úpravu. Fyzikální úprava představuje mechanické úpravy (například úpravu ultrazvukem, mechanické drcení) a tepelné úpravy. Chemická předpříprava zahrnuje například ozonifikaci a kyselou hydrolýzu. Biologická úprava se provádí prostřednictvím mikroorganismů. V případě nedostatečných výsledků je možné úpravy kombinovat, například fyzikálně-chemická a chemicky-biologická úprava. Pomocí těchto metod lze dosáhnout lepších výsledků v biodegradabilitě výsledných substrátů a zvýšení koncentrace methanu ve vzniklém bioplynu (Mudhoo, 2012).

3.1.1 Rozdělení bioplynových stanic

BPS se rozlišují podle druhu vstupů. Podle nich se stanovují různé požadavky v rámci povolovacího procesu.

- Zemědělské BPS
- Kofermentační BPS
- Komunální BPS (Bačík, 2008)

3.1.1.1 Zemědělské (farmářské) BPS

Tyto stanice zpracovávají zejména statková hnojiva a cíleně pěstované plodiny, proto je lze hodnotit jako nejméně problematické. Většinou se umísťují přímo do areálů zemědělských provozů. Při zpracování a stabilizaci statkových hnojiv dochází v oblasti k výraznému snížení zatížení pachovými látkami (Bačík, 2008).

3.1.1.2 Kofermentační (průmyslové) BPS

Průmyslové bioplynové stanice zpracovávají především rizikové vstupy jako jsou například jateční odpady, kaly ze specifických provozů apod. Velmi důležitá je volba technologie zařízení a zpracování kvalitního provozního řádu zařízení. Při zpracování rizikových vstupů je třeba vyžadovat plnění hygienických pravidel (Bačík, 2008).

3.1.1.3 Komunální BPS

Tyto stanice jsou specializovány na zpracování komunálních bioodpadů jako jsou například odpady z údržby zeleně, vytríděné bioodpady z domácností a stravovacích zařízení. Tato zařízení by měla mít určitá zjednodušení a být řešena samostatným národním předpisem (Bačík, 2008).

3.2 Bioplyn

Pokud organický materiál, jako jsou zbytky potravin/krmiv, rostlinný odpad, hnůj, kejda, biodegradabilní části pevného odpadu a další, projde anaerobním rozkladem dojde ke vzniku plynů skládajících se ze 40-70 % z methanu, dále z oxidu uhličitého a dalších. Při jeho vzplanutí dochází k čistému hoření (bez sazí a zápachu) podobně jako LPG nebo CNG. Vzniklý plyn se obecně označuje jako bioplyn. Toto označení není zcela přesné a jasné, neboť oxid uhličitý rovněž vzniká anaerobním rozkladem stejně jako prvně označená směs bioplynu. Slovem bioplyn tedy označujeme pouze hořlavou $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ směs (s dalšími stopovými prvky) vzniklou při anaerobním rozkladu organického materiálu (Abbasi et al., 2012).

3.2.1 Historie výroby bioplynu

Již ve středověku bylo známo, že při přirozeném rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu vzniká plyn. První experimenty pro jeho využití ke svícení byly prováděny Leonardem da Vincim a Van Helmontem. A. Volta je však považován za objevitele řízené anaerobní digesce. Již v roce 1776 provozoval první anaerobní fermentor.

K rozvoji těchto technologií došlo až na konci 20. století. Byly využívány hlavně při anaerobní stabilizaci čistírenských kalů. Poprvé v roce 1922 byl bioplyn předán do městské plynárny v Essenu čistírenskou odpadních vod. Tentýž rok se uskutečňuje první použití bioplynu jako motorového paliva. Od té doby se začal bioplyn jako palivo rozšiřovat a v roce 1937 byly tankovací stanice na bioplyn v osmi německých státech, Itálii a Francii.

V České republice se touto problematikou zabýval od roku 1955 prof. Vladimír Maděra (Váňa, 2010).

3.2.2 Vznik bioplynu

Vznik bioplynu je biologický proces, kdy bez přístupu kyslíku dochází k tvorbě směsi plynů (bioplynů) z organické hmoty (Obrázek č. 1). V přírodě je tento jev velice častý. Tvorbu bioplynu v přírodních podmínkách můžeme například najít v rašeliništích nebo na dně jezer. Dále tento proces můžeme pozorovat při trávení přežvýkavců v bachoru. V bachoru je téměř všechna organická hmota přeměněna na bioplyn. Pouze malé množství se přemění na novou biomasu a teplo.

Ve směsi plynů je obsah methanu zastoupen asi ze dvou třetin a obsah oxidu uhličitého asi z jedné třetiny. Dále jsou v bioplynu zastoupeny v malém množství plyny jako vodík, sulfan, amoniak a ostatní stopové prvky (CZ Biom, 2009).

3.2.2.1 Etapy vzniku bioplynu

Anaerobní fermentace je velmi složitý biochemický proces, který má mnoho dílčích procesů (fyzikálních, fyzikálně-chemických, biologických), které na sebe úzce navazují (Kára et al., 2007).

- Hydrolýza

Hydrolýza začíná ještě v prostředí, kdy je přítomen kyslík. (Kára et al., 2007)

Při hydrolýze jsou komplexní sloučeniny například jako polysacharidy, bílkoviny, tuky rozloženy z výchozího materiálu na jednodušší organické sloučeniny jako jsou například aminokyseliny, monosacharidy a mastné kyseliny. Na tomto procesu se podílejí bakterie, které uvolňují enzymy. Vstupní materiál se tak biochemicky rozloží (CZ Biom, 2009). Mezi tyto bakterie patří například rod *Bacterioides* (*B. uniformis*), *Lactobacillus* (*L. pentosus*), *Propionibacterium* (*P. granulosum*) (Deublein a Steinhauser 2008).

- Acidogeneze

Materiál může obsahovat zbytky vzdušného kyslíku, avšak v této fázi dokáže k vytvoření anaerobního (bezokyslíkatého) prostředí. To zajistí četné kmeny fakultativně anaerobních mikroorganismů, které se mohou aktivovat v obou prostředích (Kára et al., 2007).

Meziprodukty, vytvořené v procesu hydrolýzy, jsou v procesu acidogeneze dále kyselinotvornými bakteriemi rozkládány na organické kyseliny, případně alkoholy (Váňa, 2010, CZ Biom, 2009).

Na tomto procesu se podílejí například bakterie rodu *Clostridium* (*C. butyricum*), *Ruminococcus* (*R. hydrogentrophicus*) a *Paenibacillus* (Deublein a Steinhauser 2008).

- Autogeneze

V autogenezi jsou produkty acidogeneze dále přeměněny na prekurzory (kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý). Protože se v acidogenezi nachází vysoký obsah vodíku, který je pro acidogenní bakterie škodlivý, musí si tyto bakterie utvořit těsné životní společenství s bakteriemi methanogeneze (CZ Biom, 2009).

Na tomto procesu se podílejí například bakterie rodu *Desulfovibrio* (*D. desulfuricans*), *Aminobacterium* (*A. colombiensis*), *Acidaminococcus* (Deublein a Steinhauser 2008).

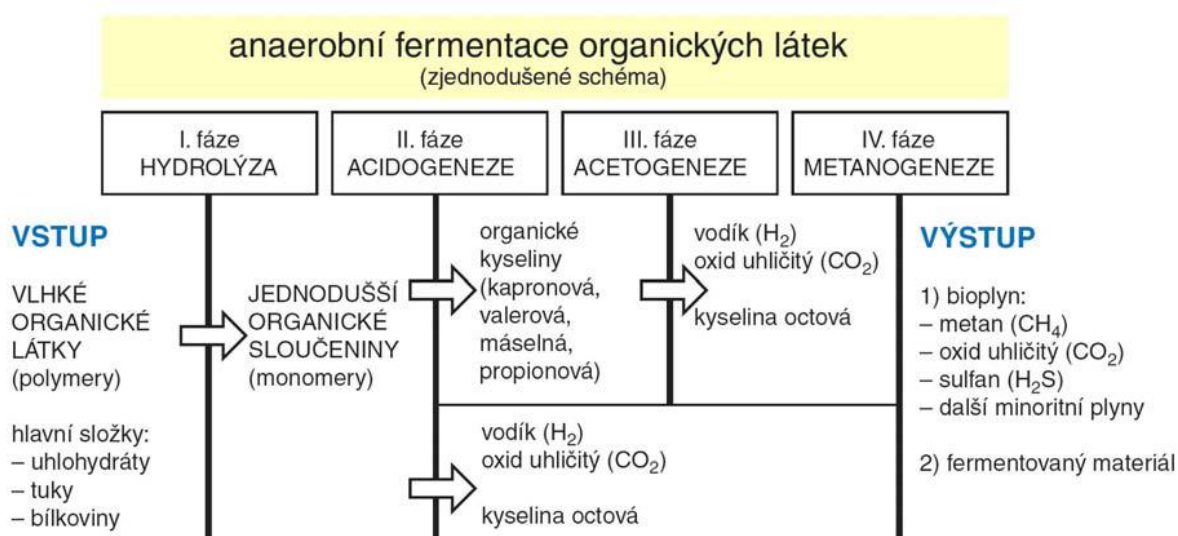
- Methanogeneze

V methanogenezi je především rozkládána kyselina octová acetotrofními bakteriemi na methan a oxid uhličitý. Hydrogenotrofní bakterie produkují methan z vodíku a oxidu uhličitého (Kára et al., 2007).

Na tomto procesu se podílejí například bakterie rodu *Methanobacterium*, *Methanospirillum* (*M. hungatti*), *Methanocarcina* (Deublein a Steinhäuser 2008).

Pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organických materiálů je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, probíhající s odlišnou kinetickou rychlostí. Methanogenní fáze probíhá přibližně 5x pomaleji než zbylé tři fáze. Tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu jinak hrozí přetížení fermentoru se všemi nepříznivými důsledky (Kára et al., 2007).

Obrázek č. 1 Zjednodušené schéma anaerobní fermentace (Kára et al., 2007)



3.3 Digestát

Digestát je vedlejším produktem při zpracování bioplynu v bioplynové stanici. Tento produkt je možné rozdělit na tuhou složku-separát a tekutý fugát. Tyto složky jsou v poměru cca 4-5:1, respektive 80-84 % fugátu a 16-20 % separátu. Obě složky mají rozdílné účinky na půdu a plodiny. Zbytek ze stabilizačních fermentorů na kalových hospodářství ČOV se nazývá čistírenský kal. Tento produkt se smí aplikovat na zemědělské půdě jen při dodržení technických podmínek daných zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhláškou č. 382/2001 Sb. (Váňa, 2010; Jeřábková a Duffková, 2019). Digestát smí být použit jako organické hnojivo na zemědělské půdě jen v případě, že vyhovuje limitu obsahu cizorodých látek, zejména těžkých kovů. Dále může být použit jako rekultivační digestát na zemědělské půdě podle vyhlášky č. 341/2008 Sb. Digestát se také smí kompostovat, nebo upravovat na pěstební substrát (Váňa, 2010).

3.3.1 Digestáty ze statkových hnojiv

3.3.1.1 Digestáty z rostlinné biomasy

V zahraničí jsou nejčastějšími produkty pro anaerobní digesce využívány kukuřičné siláže nebo další píce a energetické rostliny. Často je také využívána pro produkci bioplynu čerstvá nebo silážovaná travní fytomasa, která pochází nejen z luk, ale i z veřejné zeleně a golfových hřišť apod. Sušina digestátu by měla obsahovat 25 % spalitelných látek a 0,6 % celkového dusíku. Takový digestát je poté považován za typové organické hnojivo vyrobené anaerobní fermentací ze statkových hnojiv. Ostatní digestáty pro využití na zemědělské půdě jsou považovány za netypové organické hnojivo (Váňa, 2007). V tabulce č. 1 je uvedeno rozdělení typových digestátů.

Tabulka č. 1 Rozdělení typových digestátů (ÚKZÚZ, 2016)

Typ	Organické hnojivo	Obsah sušiny v %	Celkový dusík ve vzorku v %
18.1 e)	Digestát	3-13	min. 0,3
18.1 f)	Digestát - fugát	do 3	min. 0,1
18.1 g)	Separovaný digestát	nad 13	min. 0,5

Při využití digestátů na zemědělské půdě je nezbytné tuhé digestáty zapravit do půdy do 48 hodin, tekuté digestáty do 24 hodin. Aplikace musí být rovnoměrná po celém pozemku, je zakázáno aplikovat na půdu přemokřenou, zasněženou nebo promrzlou. Ve zranitelných oblastech je třeba respektovat Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., zejména omezení hnojení dusíkem a respektování období zákazu hnojení. Digestát je třeba aplikovat na pozemku rovnoměrně a je nutno zamezit vniknutí digestátu do povrchových vod nebo na sousední pozemek. Aplikace digestátu je předmětem evidence použitých hnojiv podle vyhlášky č. 274/1988 Sb., příloha č.1. Pro tuhý i tekutý digestát ze statkových hnojiv musí být dostatečné skladovací prostory (Váňa, 2007).

3.3.1.2 Digestáty ze zbioplynování zvířecích výkalů

CZ Biom (2015) uvádí, že základem pro výrobu bioplynu jsou právě zvířecí exkrementy i – když patří mezi podprůměrně vydatné materiály z hlediska produkce bioplynu. Vznikají ale na jednom místě a ve velkém množství. Důležitou součástí zvířecích výkalů jsou kmeny bakterií, které se podílejí na rozkladné reakci ve fermentoru a vzniku bioplynu.

Pro digestát z digesce hnoje, kejdý drůbežího trusu platí obdobné požadavky jako na digestáty z rostlinné biomasy. Digestát se zvířecích fekálií splňovat hygienické požadavky pro vedlejší živočišné produkty 2. kategorie podle Evropské Legislativy ABP (Váňa, 2007).

3.3.2 Digestáty z anaerobní digesce bioodpadů

Biologicky rozložitelné odpady z potravinářského průmyslu většinou neobsahují nežádoucí příměsi, proto jsou velmi vhodné pro výrobu bioplynu. Jejich zpracování vyžaduje instalaci dodatečných technologií na mechanickou úpravu vstupů. Ty zajistí odstranění

nežádoucích materiálů a nečistot (plasty, kovy apod.). Na bioodpady živočišného původu jsou stanovena hygienická pravidla, která stanovuje nařízení EP a Rady č. 1774/2002. Tyto vstupy musí být před fermentací zkontrolovány hygienizační jednotkou (CZ Biom, 2015).

3.3.3 Rozdělení digestátů dle možností použití

Způsob použití digestátu závisí nejen na konkrétních podmínkách, ale i na kvalitě digestátu. Digestát se nejčastěji využívá buď jako organické hnojivo na zemědělskou půdu nebo je zpracováván v kompostárnách za účelem výroby kompostu. Ten pak může být využíván buď jako organické hnojivo, nebo se může použít k dalšímu zpracování na různé substráty (Marada et al., 2008).

3.3.3.1 Použití digestátů na zemědělské půdě

Marada et al. (2008) v příručce pro nakládání s digestátem a fugátem uvádí, že pokud je výstup z bioplynové stanice aplikován přímo na zemědělskou půdu za účelem hnojení a je v souladu se zákonem č. 156/1998 Sb., nebo je dále zpracováván jako organické hnojivo a následně aplikován k hnojení na zemědělskou půdu, nejedná se v tomto případě o odpad, ale o hnojivo. Pokud se jedná o hnojivo, je dále potřeba postupovat podle předpisů MZe.

Digestát jako hnojivo musí splňovat podle vyhlášky č. 474/2000Sb. limitní hodnoty rizikových prvků (Tabulka č.2).

Tabulka č. 2 Limity rizikových prvků v digestátech (ÚKZÚZ, 2016)

Obsah sušiny	Limity rizikových prvků v digestátech (mg/kg sušiny)								
	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Nad 13 % (separát)	2	100	1	20	100	150	20	50	600
Nejvíše 13 % (digestát, fugát)	2	100	1	20	100	250	20	50	1200

Digestát určený k hnojení je možné používat jen v případě, že je při vhodném technologickém postupu stabilizován. Hlavním problémem jsou substráty s vysokým obsahem organicky vázaného dusíku. Z tohoto důvodu je nutné použití vhodných vstupních surovin. Velmi důležité je dbát na celkový poměr C:N. Pro kvalitní digestát by vstupní suroviny měly mít poměr C:N minimálně 10 nejlépe kolem 20. Vhodný poměr je možné docílit například kofermentací kejdy s rostlinnými materiály (Marada et al., 2008).

3.3.3.1.1 Vlastnosti digestátu jako produktu BPS, ale i jako hnojiva

„Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivy má digestát vzhledem k použitým surovinám poměrně vysoký celkový obsah dusíku (0,2 ale až i 1 % ve hmotě), vyšší pH (7-8), nižší obsah uhlíku a sušina se pohybuje v rozmezí od 2-13 %. Při průměrném obsahu 0,5 % celkového dusíku v hnojivu se dodá při dávce 1 t (1 m³) digestátu 5 kg dusíku na ha. Složení digestátu představuje riziko ztrát dusíku v plynné formě, proto se u digestátu a fugátu doporučuje aplikace hadicovými aplikátory.“ Dávkování digestátu a frekvence hnojení závisí na obsahu dusíku (Marada et al., 2008).

Jeřábková a Duffková (2019) uvádí, že digestát a fugát jsou hnojivy, které rychle uvolňují dusík, který je až z 60 % využitelný. Tyto hnojiva by měla být zpravidla do 24 hodin po aplikaci (s výjimkou hadicových aplikátorů a injektáží) zapravena do půdy. Separát je naopak hnojivem, ze kterého se dusík postupně uvolňuje (z cca 30 % využitelný).

Digestáty z kukuřice, z odpadů potravinářského průmyslu a kejdy obecně mohou docílit srovnatelných i lepších výsledků než mnohá používaná průmyslová hnojiva a tím vést k jejich nahrazení. Po analýze konkrétních vzorků digestátů lze stanovit míru jejich zředění a doplnění výživových prvků. Po těchto úpravách je digestát aplikovatelný jako hnojivo (Dimambro, 2015).

Podle zákona je sice digestát považován za organické hnojivo, ale není to úplná pravda. Kolář et al. (2010) ve svém odborném článku uvádějí, že pokud má být organická hmota označena jako organické hnojivo, musí být snadno mikrobiálně rozložitelná. Po dokončení jejich výzkumu došli k závěru, že kaly jako odpady z procesů anaerobní digesce jsou hnojivem spíše minerálním než organickým. Anaerobní digesce podle autorů v žádném případě organický materiál nezušlechťuje, naopak jsou vstupní materiály více jakostní pro použití jako organické hnojivo. Podle výzkumu je digestát jen slabé minerální hnojivo, protože obsahuje málo minerálních živin (dusík a draslík), a to v přebytku vody.

V pevné části – separátu je organický dusík rostlinám nepřístupný. Pokud separát v půdě hydrolyzuje velmi pomalu, pak může i dusík mineralizovat příliš pomalu a v zimě se z pravidla vyplaví.

V kapalně části – fugátu je dusík minerální, rostlinám přístupný. Obsah sušiny fugátu je jen 1-3 %. Tato sušina může obsahovat až 10 % dusíku, ale v kapalném fugátu je pak jeho obsah jen 0,15-0,30 %.

3.3.3.1.2 Průměrné složení digestátu

Složení digestátu závisí především na vstupních materiálech a druhem použité technologie, Bývá však přibližně následující (vlastnosti čerstvých materiálů):

Základní digestát: 0,4-0,7 % N; 0,07-0,11 % P; 0,25-0,42 % K; sušina 6-9 %; pH 7-9. Jde o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr C:N < 10, průměrně 5-6).

Fugát: 0,1-0,3 % N; 0,02-0,04 % P; 0,08-0,17 % K; sušina do 3 %; pH 7-9. Jde o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr C:N < 10, průměrně 4-5).

Separát: 0,6-0,1 % N; 0,13-0,22 % P; 0,33-0,58 % K₂O; sušina 20-30 %; pH 7-9. Jde o hnojivo s pomalu uvolnitelným dusíkem (poměr C:N ≥ 10, průměrně 14-17) (ÚKZÚZ, 2016).

Výhodné při aplikaci digestátu jako hnojiva je, že téměř nezapáchá a neobsahuje životaschopná semena plevelů (Dajčl et al., 2020).

3.3.3.1.3 Omezení při hnojení digestátem

Tuhý i tekutý digestát je podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách závadnou látkou. Při využívání digestátu na zemědělské půdě se musí zajistit přiměřená opatření, aby nevníkal do podzemních nebo povrchových vod a tím neohrozil životní prostředí. Opatření musí být v souladu s nařízením vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření (Marada et al., 2008).

Digestát nesmí být používán:

- je-li to zakázáno zvláštními předpisy nebo rozhodnutí příslušného orgánu podle nich vydaného
- na půdě přesycené vodou, pokryté vrstvou sněhu vyšší než 5 cm nebo promrzlé do hloubky více než 8 cm
- způsobem ohrožujícím okolí hnojeného pozemku (Marada et al., 2008).

3.3.3.1.4 Skladování digestátu

Mimo vegetační období platí omezení pro použití digestátu, proto je nutné řešení jeho skladování. Skladování musí být v souladu s vyhláškou č. 274/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů. Podle této vyhlášky se musí digestát, případně fugát, skladovat v nepropustných nadzemních, popřípadě částečně zapuštěných nádrží nebo v zemních jímkách. Musí se zamezit přítoku jak povrchové vody, tak srážkové do těchto staveb. Tuhý digestát se musí skladovat v zabezpečených stavbách stejně jako stavby pro tuhá statková hnojiva, jejíž součástí je sběrná jímka tekutého podílu. Tuhý digestát využívaný pro vlastní účely ze statkových hnojiv může být uložen na zemědělské půdě, nejdéle však po dobu 24 měsíců (Marada et al., 2008).

3.3.3.1.5 Použití digestátu

Kvůli ztrátám dusíku v amonné formě do ovzduší je vhodné se vyvarovat ztrátám přímým zapravením do půdního profilu, omezením aplikace rozstříkem digestátu a aplikací při nižších teplotách (například ráno nebo večer). Jak už bylo výše zmíněno, digestát a fugát, které se aplikují na povrch orné půdy se musí zpravidla zapravit do 24 hodin, separát do 48 hodin. Nejvhodnější je okamžité zapravení do půdy. Maximální aplikační dávka digestátu či fugátu je v průběhu 3 let 10 tun sušiny/ha, separátu potom 20 tun sušiny/ha (ÚKZÚZ, 2016).

3.3.3.1.6 Registrace digestátu

Registrace hnojiv je správní řízení, které řídí zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů (dále jen zákon o hnojivech). Toto správní řízení vykonává ÚKZÚZ podle § 4 zákona o hnojivech (Večeřová, 2009).

Výrobci buď digestát ohlašují, nebo registrují podle toho, zda se jedná o typový či netypový digestát. Důležité také je, zda je uváděn dále do oběhu, nebo je aplikován na vlastní půdu. Tyto situace popisuje tabulka č. 3 (ÚKZÚZ, 2016).

Tabulka č. 3 Varianty ohlašování/registrace digestátu (ÚKZÚZ, 2016)

Výstup z BPS	Digestát určený na vlastní pozemky	Digestát určený k uvedení do oběhu
Typový digestát	Není nutné ohlášení ani registrace	Ohlášení
Netypový digestát	Registrace	Registrace

Ohlášení digestátu je možné pouze v případě, že digestát lze zařadit ve smyslu vyhlášky č. 474/2000 Sb. jako typové hnojivo. Posuzovány nejsou jen vstupní suroviny, ale i hodnota

sušiny a obsah dusíku. Vyhláška definuje tři základní typy digestátu – digestát, fugát a separovaný digestát viz. tabulka č. 1.

Registrace je zpoplatněna a vyžaduje vyplněnou žádost, návrh příbalového letáku vzorek pro analýzu, platný provozní řád zařízení a v případě při použití vedlejších živočišných produktů i schválení krajskou veterinární správou (ÚKZÚZ, 2016).

Do oběhu se smí uvádět 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

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, ve znění pozdějších předpisů (Marada et al., 2008)

3.3.3.2 Použití digestátů mimo zemědělskou a lesní půdu

Digestáty, které se používají mimo zemědělskou a lesní půdu se nazývají rekultivační digestáty. Tyto digestáty se využívají například na skládkách odpadů. Toto využití rekultivačních digestátů řeší vyhláška č.341/2008 Sb. upravující podrobnosti nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (bioodpady). Dále se smí používat na povrch terénu určeného nebo používaného pro městskou zeleň, parky a lesoparky. Dále smí být rekultivační digestáty používány k pěstování energetických, technických a okrasných rostlin, v intravilánu průmyslových zón, u liniových staveb. Je také využíván při rekultivacích a je vhodný k obohacování antropogenních půd a jako surovina pro výrobu rekultivačních substrátů. Tato použití vychází z jednotlivých tříd rekultivačních digestátů (Marada et al., 2008).

3.4 Základní charakteristika makroprvků sledovaných ve výzkumu

3.4.1 Dusík (N)

3.4.1.1 Dusík v půdě

Celkový obsah dusíku v půdě se běžně pohybuje v rozmezí 0,1-0,2 %. V ornici tak představuje 3000-6000 kg N/ha. 95 % dusíku v půdě tvoří dusík organických sloučenin. Dusík vázaný v organických sloučeninách není v této formě rostlinám dostupný. Aby se stal pro rostliny přístupným, musí přejít v procesech mineralizace na minerální formy, tedy NH_4^+ a dále na NO_3^- . Tyto formy využívají mikroorganismy, které se podílejí na procesech přeměn a slouží jako zdroje dusíku pro rostliny. Obsah minerálního dusíku v orniční vrstvě může dosahovat 5-10 % celkového N. Jeho množství v půdách však není stálé. Obsah dusíku v půdě závisí nejen

na ročním období, ale také hnojení, obsahu primární organické hmoty v půdě, hydrotermických podmínkách i na odběru rostlinami (Vaněk et al., 2012).

3.4.1.2 Dusík v rostlinách

Dusík je rostlinami přijímán ve formě iontů, a to kationtu amonného (NH_4^+), nebo aniontu nitrátového, neboli dusičnanového (NO_3^-) (Vaněk et al., 2012). Dusičnany jsou obvykle nejhojnější forma rozpustného N v půdě. I když se v rostlinách množství dusičnanů a amoniaku liší, dusičnany jsou hlavním zdrojem N (Farago, 1994). O příjmu iontů rozhodují především vnější podmínky, ale i sama rostlina (Vaněk et al., 2012).

Dusík tvoří součást každé živé buňky, vyskytuje se v chlorofylu a všech proteinech, přičemž mnohé z nich slouží jako enzymy (Farago, 1994). Nejvyšší množství dusíku v rostlinách je obsaženo v proteinech, které obsahují až 84 % z celkového množství dusíku. Nukleové kyseliny (DNA, RNA) obsahují okolo 5 % z celkového obsahu dusíku. 5 až 15 % z celkového obsahu dusíku je v nízko-molekulární formě, rozpuštěné ve vodě nebo v organických složkách různých forem (Barker a Pilbeam, 2007). Dusík je významnou součástí chlorofylu, kde čtyři pyrolová jádra s hořčíkem tvoří centrální část této složité a velmi důležité organické sloučeniny.

Nároky většiny rostlin na dusík jsou vysoké. Velké nároky mají hlavně rostliny, které vytvářejí velké množství biomasy (Vaněk et al., 2012).

3.4.1.3 Nedostatek a nadbytek dusíku

Nedostatek dusíku omezuje růst všech rostlinných orgánů, kořenového systému, listů, květů i plodů včetně semen. Rostlina s nedostatkem dusíku se zdá být zakrnělá kvůli omezenému růstu vegetativních orgánů (Barker a Pilbeam, 2006). Na listech se projevuje změnou barvy a podle stupně jeho nedostatku se mění barva nejstarších listů od bledě zelené do žluté. Výrazné změny můžeme pozorovat v morfologii kořenů. Kořeny se málo větví, avšak poměr hmoty kořenů převládá nad nadzemní částí rostliny (Richter, 2004).

Nadbytek dusíku je v praxi méně častý. Většinou se projevuje latentní formou. Velmi citlivé na nadbytek N jsou klíčící rostliny drobnosemenné zeleniny ale i trav, jetelovin a dalších rostlin. Nadbytek N v povrchových horizontech půdy má za následek zvýšené větvení kořenů a omezení růstu hlavního a vedlejších kořenů. Při vysokém nadbytku N dochází k poškození listů. Dochází k nekrotickým a k zasychání okrajů listů. To pak může vést až k jejich úplnému odumření (Vaněk et al., 2012).

3.4.1.4 Dusík v digestátu

Koncentrace dusíku v digestátu se pro digestáty různého původu liší. Vyšších hodnot dosahují digestáty z potravinového odpadu. Obsah dusíku v digestátu obecně souvisí s obsahem dusíku ve výchozím materiálu (Möller a Müller, 2012). Důležité je množství minerálního N v digestátu, protože ten představuje množství N dostupné pro plodiny (WRAP, 2012; Risberg, 2015). Minerální dusík je převážně ve formě NH_4^+ . Podíl NH_4^+ k celkovému obsahu dusíku se pohybuje mezi 56-69 % u digestátů na bázi kejdy (Formowitz a Fritz, 2010) a až 77-99,8 % u digestátů na bázi potravinového odpadu. Pro zemědělské aplikace je klíčová shoda koncentrace

NH_4^+ s požadavky na dusík u daných plodin (Neal a Wilkie, 2014; Liedl, 2004). Obsah dusíku v separovaném digestátu je 0,33 % až 0,65 %. Obsah dusíku ve fugátu je 0,32 % až 0,51 % (Barampouti et al., 2020).

3.4.2 Fosfor (P)

Fosfor je jedním ze tří základních prvků komerčních hnojiv. Fosfor je obecně dostupný ve formě aniontu, který není vázaný komplexem kationtové výměny. Tudíž snadno dochází k jeho vyplavení z půdy. Fosfor hraje stejnou biochemickou a chemickou roli v rostlinách jako v jiných organismech. Je to hlavní element při přeměně energie buněčného metabolismu, strukturální komponent buněčných stěn, nukleových kyselin a dalších důležitých částí (Wiedenhoeft, 2006).

3.4.2.1 Fosfor v půdě

Celkový obsah fosforu v půdě se pohybuje mezi 0,01-0,15 %. Převážná část celkového P v půdách je pro rostliny v nepřijatelných formách. Základem pro různé formy fosforu jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a difosforečné ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$). Fosfor v půdě můžeme najít ve formě minerální a organické. Značný vliv na výskyt fosforu, ale i jeho příjem rostlinami má pH půdy (Vaněk et al., 2012).

Množství rozpuštěného fosforu (především H_2PO_4^- a HPO_4^{2-}) v půdě je extrémně nízké. U většiny druhů půd je koncentrace nižší než 1 kg/ha a v některých dokonce méně než 0,1 kg/ha. I přes to je za hlavní zdroj příjmu fosforu rostlin považována půda. Většina plodin využije přibližně 10 až 30 kg/ha fosforu každý rok (Troeh a Thomson, 2005).

3.4.2.2 Fosfor v rostlinách

Fosfor je přijímán rostlinami ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Příjem jednotlivých forem je závislý na hodnotě pH půdy (Vaněk et al., 2012).

Protože je množství P v půdním roztoku nízké, je důležité, aby po jeho odčerpání z roztoku došlo k jeho doplnění z pevné fáze půdy. To pak závisí na velikosti kořenového systému, a zároveň vysvětluje, proč se nedostatek P nejčastěji vyskytuje u sazenic a mladých rostlin, kde je kořenový systém ještě nevyvinutý (Farago, 1994). Rostliny jsou schopny přijímat P i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Musí však překonávat značný koncentrační gradient. Příjem P je aktivní proces, vyžadující dostatek energie. Zásobárnou této energie jsou makroergické vazby v ATP, uvolňující se pomocí enzymu ATPázy (Vaněk et al., 2012).

Rostliny mohou do určité míry ovlivňovat příjem fosforu. Pokud je v pletivech jeho nedostatek, rostliny aktivují v membránách kořenů fosfatázy a přenašeče s cílem zlepšit jeho příjem. Na příjem P rostlinami příznivě působí dostatečná vlhkost půdy, dostatek organických látek v půdě, biologická činnost ale hlavně pH půdy a obsah přijatelného P v půdě. Přijatý minerální P je rychle zabudován do organických sloučenin a takto je transportován do míst jeho nejvyšší potřeby – do mladých listů) (Vaněk et al., 2012).

Kyselina fosforečná v živých systémech snadno reaguje s organickými látkami (a jejich skupinami OH) za vzniku organofosfátů, což jsou hlavně estery cukrů, glycerolu aj. Velmi

významné jsou nukleotidy – fosforečné estery heteroglykosidů. Nukleotidy jsou velmi rozšířené složky organismů a plní v nich řadu funkcí. Nukleotidy představují stavební jednotky nukleových kyselin. Tvoří tedy základní molekulovou podstatu genetického kódu a účastní se molekulových mechanismů při přenosu a zpracování genetické informace. Dále aktivují meziprodukty v řadě biosyntéz. Nukleotidpolyfosfáty jsou přenašeče energie v biologických systémech (Vaněk et al., 2012).

3.4.2.3 Nedostatek a nadbytek fosforu

Nedostatek P v rostlinách je většinou zapříčiněn příliš nízkou úrovní pH v půdě, A nebo příliš vysokou koncentrací železa, které brání přístupu P do rostliny (Lubbersen, 2019).

Nedostatek fosforu je u rostlin méně častý a většinou se jedná jen o latentní nedostatek. Pokud je jeho obsah v rostlinách opravdu nízký, nemohou probíhat všechny biochemické funkce na potřebné úrovni (Vaněk et al., 2012). Nedostatek fosforu potlačuje nebo oddaluje růst a zralost. Ačkoli rostliny s nedostatkem fosforu jsou značně zakrnělé, některé další příznaky jsou skryty nedostatkem jiných prvků. Listy jsou tmavě zelené, občas mění barvu do červena až fialova. Fialovění listů může být spojeno také s nedostatkem dusíku. Stonky jsou malé, zakrnělé. Rostliny produkují menší plody. Protože je P v rostlinách dobře pohyblivý, přechází ze starších listů do mladých (Barker a Pilbeam, 2006).

Nadbytek fosforu v rostlinách se v ČR téměř nevyskytuje. Fosfor je velmi dobře sorbován půdou a nedosahuje v půdním vzorku vyšší koncentrace. V zahraničí je nadbytek P zapříčiněn statkovými hnojivy, které mají vysoký obsah organického P. Jeho vysoký obsah způsobí krátkodobé snížení přijatelnosti některých kovů. Rozpustné fosforečnany jsou vázány na kovy a vytvářejí tak nerozpustné sloučeniny. Poté se můžou druhotně projevit nedostatky jiných prvků, například zinku, mědi, hořčíku (Vaněk et al., 2012).

3.4.2.4 Fosfor v digestátu

Fosfor se v organických odpadech vyskytuje v různých formách. Čistírenské kalý a kejda mají až desetinásobně vyšší obsah fosforu než odpad z ovoce, zeleniny a zemědělský odpad. Fosfor se zde vyskytuje v organické i anorganické formě, celkovým podílem dominuje anorganický fosfor nad organickým. Obsah anorganického fosforu v kejdě dosahuje 18,5 až 28,3 mg/g. Obsah fosforu v separovaném digestátu je 0,08 % až 0,25 %. Obsah fosforu ve fugátu je 0,03 % až 0,1 % (Barampouti et al., 2020).

3.4.3 Draslík (K)

3.4.3.1 Draslík v půdě

Celkový obsah draslíku v půdě se pohybuje mezi 0,5-3,2 %. Menší množství pak obsahují půdy písčité a rašelinové. V půdě můžeme najít K především v anorganických sloučeninách. V organické formě se vyskytuje jen zřídka. Najít ho můžeme hlavně v primárních a sekundárních křemičitanech. V půdě můžeme draslík dělit na tři kategorie – nevýměnný, výměnný a vodorozpustný (Vaněk et al., 2012).

3.4.3.2 Draslík v rostlinách

Draslík je přijímán rostlinami jako kationt K^+ jak aktivní cestou, tak pasivní. Příjem draslíku rostlinami je výrazně ovlivněn vlhkostí, teplotou a intenzitou slunečního záření (Vaněk et al., 2012). Hlavní cesta získávání K^+ u rostlin vede přes kořenový systém. Zde je většina K^+ získána epidermálními buňkami (Ashley et al., 2006). Proces získání K^+ se řídí podle dvoufázové kinetiky kde K^+ s vyšší afinitou je získán prostřednictvím H^+/K^+ a K^+ s nižší afinitou je získán prostřednictvím kanálků. Transportní systém s vyšší afinitou vykazuje saturaci při K_m mezi 10 a 40 μM což je rozsah vysoce selektivní pro K^+ oproti Na^+ . Nicméně nízká afinitní transportní systém vykazuje saturaci K_m okolo hodnoty 10 mM, tedy v rozsahu se slabou selektivitou K^+ oproti ostatním alkalickým kovům. Transport K^+ z půdy k příslušným buněčným organelám je možný díky různým kanálům a nosičům (Pandey a Mahiwal, 2020).

Draslík plní v rostlinách řadu důležitých funkcí. Jeho dobrá pohyblivost v rostlině umožňuje transport i ostatních látek především do kořenů. Výrazně ovlivňuje osmotický tlak v buňce a tím i její turgor, což nutně souvisí s hospodařením s vodou. Přítomnost K ve svřacích buňkách průduchů ovlivňuje otvírání a zavírání průduchů. V meristémech má draselný kationt zřejmě významnou úlohu jako iontová pumpa. Výrazný vliv má draslík na aktivitu enzymů. Draslík má vliv i na fotosyntézu. Umožňuje transport elektronů v tylakoidních membránách chloroplastů. Pokud je rostlina dostatečně draslíkem zásobena, je při fotosyntéze příznivě ovlivněna redukce a fosforylace, a tím i vyšší poutání energie (Vaněk et al., 2012).

3.4.3.3 Nedostatek a nadbytek draslíku

Nedostatek draslíku v rostlině zapříčiňuje pokles kvality i výnosu rostliny. V počátku dochází jen k mírnému poškození rostlin, u dlouhotrvajícího nedostatku lze pozorovat zřetelné projevy. Rostlina vytváří krátké stonky s bočními výhony a nabývá metlovitého vzhledu. Čepele listů jsou úzké a jejich okraje se stáčí k zemi. Nedostatek K se může projevit i nekrózami, které se objevují na okrajích listů, ale můžou se rozšířit až ke střední ose (Richter, 2004).

Pokud je v živném prostředí K^+ nadbytek, je omezen příjem jiných kationtů jako Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Na^{2+} a dalších. V tomto důsledku se na rostlinách projevují nedostatky těchto živin. Zvyšuje se však příjem Cl^- , NO_3^- a dalších aniontů (Richter, 2004).

Rostliny s nadbytkem K jsou sytější zelené, bujně rostou a pozvolně jim usychají a odumírají starší listy. Po aplikaci minerálních hnojiv, v místě překládání nebo zastavení rozmetadla apod., může dojít k jejich celému poškození až úplnému spálení. Je to zapříčiněno vysokou koncentrací solí. Nadbytek K může vést také ke zvýšené náchylnosti polehávání a vyvracení rostlin (Vaněk et al., 2012).

3.4.3.4 Draslík v digestátu

Celkový obsah draslíku v separovaném digestátu je 0,25 % až 0,48 %, ve fugátu 0,29 % až 0,59 % (Barampouti et al., 2020). Draslík v rostlinách není zabudovaný do organických komplexů, ale zůstává ve formě kationtů. Z tohoto důvodu je v digestátech získaných

z rostlinného původu přímo dostupný pro rostliny jak v kapalně, tak v pevné formě digestátu (Song et al., 2018).

3.4.4 Vápník (Ca)

3.4.4.1 Vápník v půdě

Celkový obsah vápníku v půdě se pohybuje v širokém rozmezí od 0,15 % až do 10 % i více podle druhů půdy. V půdách se vápník nachází převážně v těžko rozpustných sloučeninách jako jsou, uhličitany, křemičitany, hlinitokřemičitany, sírany a další. Nejčastěji to jsou však vápence, dolomity a minerál anortit (Vaněk et al., 2012). Minerály vápníku mají vyšší tendenci ke zvětrávání než minerály ostatních prvků, a tak koncentrace těchto minerálů z časem klesá (Troeh a Thomson, 2005).

Z hlediska výživy rostlin i půdní úrodnosti je významný vápník výměnný, vázaný na půdní koloidy výměnnou sorpcí. Množství výměnného Ca v půdě kolísá podle nasycení koloidů a sorpční kapacity (Vaněk et al., 2012).

3.4.4.2 Vápník v rostlinách

Vápník je rostlinami přijímán jako kationt Ca^{2+} . V půdním roztoku je většinou převažujícím kationtem. Příjem vápníku rostlinami probíhá především pasivní cestou přes kořenové špičky.

Ca v rostlinách má důležitou funkci pro stabilizaci buněčných stěn a membrán. Buněčným stěnám zajišťuje dobrou elasticitu. Ca se v buňce váže na organickou kyselinu šťavelovou, a tak je Ca v buňce ukládán jako nerozpustný šťavelan. V rostlině je tak omezen jeho transport a není možné ho znovu využít (reutilizovat). Rostlina tak nemá dostatečné množství pohotového Ca, a tak je nezbytný jeho pravidelný přísun jako nově přijímaného kationtu. Ca příznivě ovlivňuje dlouhivý růst buněk. Významně ovlivňuje tvorbu a růst kořenů, zvláště vlášení. Také hraje svou roli při odolnosti rostliny vůči vnějším podmínkám a patogenům (Vaněk et al., 2012).

3.4.4.3 Nedostatek a nadbytek vápníku

V ČR se nedostatek Ca vyskytuje jen zřídka. Většinou se jedná jen o latentní nedostatek. V poslední době se čím dál častěji objevuje antagonistický nedostatek Ca způsobený působením K^+ , nebo abiotickými faktory. Nedostatek se projevuje sníženou tvorbou kořenů, poruchami růstu vegetačního vrcholu. Příznakem u plodové zeleniny jako jsou rajčata, nebo papriky se nedostatek vápníku projevuje i na jejich plodech. Plody zasychají a hnijí (Vaněk et al., 2012). Na listech se nedostatek projevuje žloutnutím horních částí výhonů, spodní části jsou tmavě zelené. Vzhledem k hojnosti je nedostatek Ca neobvyklý, avšak může vzniknout nesprávným hnojením (Barker a Pilbeam, 2006).

Nadbytek vápníku v půdě většinou rostlinám nevádí (pokud se nejedná o kalkofobní rostliny). Nadbytek v půdě působí na rostliny negativně, jen pokud má prostředí vysokou hodnotu pH (Vaněk et al., 2012).

3.4.4.4 Vápník v digestátu

Celkový obsah vápníku v separovaném digestátu je 0,16 % až 0,19 %, ve fugátu 0,04 % až 0,06 % (Barampouti et al., 2020). O vápníku v digestátu existuje jen málo studií. Vápník v digestátu se chová velmi podobně jako hořčík, proto je tato část blíže popsána níže u hořčíku.

3.4.5 Hořčík (Mg)

3.4.5.1 Hořčík v půdě

Celkový obsah hořčíku v půdách se pohybuje okolo 0,4-0,6 %. Na dolomitech se může pohybovat až kolem 10 %. Celkový obsah Mg v půdách je určován především minerálním složením matečných hornin. Hořečnaté soli jsou velmi dobře rozpustné, a proto je hořčíku v půdním roztoku dostatek (Vaněk et al., 2012).

3.4.5.2 Hořčík v rostlinách

Hořčík je přijímán rostlinami jako kationt Mg^{2+} . Příjem Mg je zajištěn převážně pasivní cestou na základě elektrochemického gradientu a je ovlivňován koncentrací jednotlivých iontů. Výrazně antagonistickým kationtem je K^+ . V kyselém prostředí je příjem Mg značně omezen, ale vyšší koncentrací H^+ , ale také kationty, které se v kyselé oblasti pH snadněji dostávají do roztoku, tedy Al, Fe, Mn (Vaněk et al., 2012).

Mg můžeme najít v rostlině ve sloučeninách jako je chlorofyl, fytyl, oxaláty apod. Ze 70 % se Mg v rostlinách nachází ve vazbách s organickými a anorganickými kationty. Nejdůležitější je jeho přítomnost v chlorofylu, kde tvoří 15-20 % z celkového množství (Vaněk et al., 2012).

Hořčík má v rostlinách hlavně fyziologické a molekulární funkce. Hořčík je hlavní složkou chlorofylu, je kofaktorem mnoha enzymatických procesů spojených s fosforylací, defosforylací a hydrolýzou různých sloučenin, dále je strukturálním stabilizátorem pro různé nukleotidy. Studie ukazují, že 15 až 30 % celkového Mg v rostlinách je spojeno s molekulou chlorofylu. Zbýlých 70 až 85 % Mg v rostlinách je spojeno s jeho úlohou kofaktoru v různých enzymatických procesech. Mg je také nedílnou složkou RNA (Barker a Pilbeam, 2006).

3.4.5.3 Nedostatek a nadbytek hořčíku

Projevy nedostatku Mg probíhají většinou latentní formou. Pokud má rostlina omezený příjem Mg z půdního roztoku, nejprve mobilizuje rezervy především z organických látek. Při dlouhotrvajícím deficitu se objevují příznaky. Dochází ke chlorózám, které jsou zapříčiněny sníženou tvorbou chlorofylu a karotenoidů (Vaněk et al., 2012). Na listech můžeme pozorovat vyblednutí a zežloutnutí špiček starších listů, které pokračuje mezi žilnatinou směrem ke středu (Barker a Pilbeam, 2006). Narušeny již mohou být významné procesy jako fotosyntéza, biosyntéza bílkovin a dalších látek. Je také výrazně omezen růst kořenů. Na listech dochází k projevům jako jsou světlejší místa a na nervatuře jsou vidět tmavší shluky chlorofylu.

Nadbytek se v přirozených podmínkách v ČR převážně nevyskytuje. Hořčík většinou nepůsobí antagonisticky na příjem ostatních iontů, a tak nepůsobí jejich nedostatek (Vaněk et

al., 2012). Poměrně vysoké koncentrace hořčíku však mohou vyvolat příznaky jiných základních kationtů, zejména se jedná o Ca, K, a Fe (Barker a Pilbeam, 2006).

3.4.5.4 Hořčík v digestátu

Celkové množství dostupného Ca a Mg v digestátu při anaerobní digestaci klesá. Důvodem je tvorba Ca- a Mg- fosfátů při zvyšování pH během anaerobní digestace. Existuje jen velmi málo studií o přeměnách Ca a Mg při digestaci. Některé studie uvádějí značné ztráty využitelného Ca (44 %) a Mg (32,5 %) v průběhu digestace (Möller a Müller, 2012).

Celkový obsah Mg v separovaném digestátu je 0,09 % až 0,1 %, ve fugátu 0,03 % až 0,05 % (Barampouti et al., 2020).

3.4.6 Síra (S)

3.4.6.1 Síra v půdě

Celkový obsah síry v půdách kolísá v širokém rozmezí běžně od 50 do 500mg S/kg. Až 98 % z celkového obsahu síry je zastoupeno v organických sloučeninách a to síranech. Síraný jsou přítomny jak v půdním roztoku, tak v pevné fázi půdy. Hlavním zdrojem organické síry v půdě jsou kořeny rostlin, posklizňové zbytky a statková hnojiva. Dále můžeme dostatek S v půdě udržovat minerálními hnojivy jako jsou některá draselná hnojiva se sírou a síran amonný. Do půdy se S také může dostávat jako vedlejší produkt spalování fosilních paliv, a to především ve formě sirovodíku a oxidu siřičitého. Tyto plyny se přeměňují na kyselinu sírovou. Z ovzduší se do půdy dostávají ve formě kyselých dešťů (Farago, 1994). V ČR obsah S poklesl i přes snahu udržovat optimální množství v půdě (Vaněk et al., 2012).

3.4.6.2 Síra v rostlinách

Síra je přijímána rostlinami převážně jako aniont SO_4^{2-} . Příjem je velmi málo ovlivňován ostatními ionty ale i půdními vlastnostmi (Vaněk et al., 2012). Rostliny mohou do určité míry přijímat S vegetativními orgány i z ovzduší ve formě SO_2 . Znečištěné ovzduší oxidem siřičitým a sirovodíkem může výrazně přispívat k výživě S (Barker a Pilbeam, 2006). S je v rostlině velmi dobře pohyblivá. Transportována je především do mladých částí rostliny. Rostlina síru ukládá ve formě síranu, který slouží jako zásobní látka. Rostliny mohou síran redukovat na H_2S a ten dále zabudovat do organických sloučenin. Metabolismus síry souvisí s tvorbou specifických látek ovlivňující chuť, vůni, aroma a tím ovlivňuje specifické vlastnosti rostlin i jejich produktů. Metabolismus síry také souvisí s metabolismem dusíku, a především se syntézou bílkovin (Vaněk et al., 2012).

3.4.6.3 Nedostatek a nadbytek síry

Požadavek rostlin na S se mezi jednotlivými druhy značně liší a během vegetace a růstu může kolísat (Barker a Pilbeam, 2006).

Nedostatek síry v rostlině se projevuje především omezenou syntézou bílkovin, včetně enzymů. Typickým vizuálním projevem je žloutnutí listů od nejmladších listů. Při

dlouhotrvajícím nedostatku se žloutnutí rozšiřuje i na starší spodní listy. Nedostatek S může souviset s následným napadením chorob a škůdců. Nadbytek síry posuzujeme v našich podmínkách podle dvou hledisek. Vysoký obsah SO_4^{2-} v půdním roztoku na rostliny většinou nepůsobí negativně. Rostliny si mohou sírany ukládat ve svých pletivech bez poškození. Pokud je však koncentrace síranů nad 4000 mg/l půdního roztoku, působí na rostliny depresivně. Vyšší obsah síranů může spolu s Cl a kationty Na a K způsobovat zasolení půd. Přebytek ($0,3 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$) SO_2 v ovzduší způsobuje poškození pletiv zvláště citlivých rostlin jako jsou například jehličnany. V dnešní době je tento nadbytek ojedinělý (Vaněk et al., 2012).

3.4.6.4 Síra v digestátu

Podíl S v digestátu z potravinového odpadu je 0,01-0,08 %, ze zemědělského odpadu 0,01-0,041 % a z kejdy 0,004-0,096 %. Rozkladem organického materiálu při anaerobních podmínkách vznikají sírany. Sírany reagují s protony za vzniku H_2S a dalších molekul. Tím dochází ke zvyšování pH, čímž se snižuje koncentrace síranů a zvyšuje se koncentrace sulfidů. Síra je pro rostliny dostupná ve formě síranu. Existují studie o nízké dostupnosti S z kejdy pro rostliny. Možným důvodem je například sorpce na půdní konstituenty. Více než 50 % S v digestátu představuje potenciálně nestabilní sulfid nebo S vázaná na C (Möller a Müller, 2012).

3.5 Rašelina a její využití

Rašelina je z daleka nejpoužívanějším materiálem pro tvorbu substrátů, a to jak samotná, tak v kombinaci s dalšími materiály. Čistá rašelina je obvykle chudá na základní rostlinné živiny (Bunt et al., 1988). Rašelina má vhodné fyzikální (nízká objemová hmotnost, vysoká pórovitost a vodní kapacita) i chemické (kyselá reakce, nízký obsah rozpustných solí) vlastnosti. Používá se samostatně nebo v kombinaci s dalšími organickými nebo minerálními komponenty (Tlustoš et al., 2016).

Rašelina je složená z částečně rozložené biologické hmoty. V kyselých, podmáčených podmínkách za absence výživových prvků se mikro-organismy, které by za normálních podmínek materiál rozložily, nevyskytují a dochází pouze k částečnému rozkladu materiálu.

Rozdílné vlastnosti rašelin jsou dány jejich různým původem, respektive klimatem a druhem materiálu jejich původu. Dalším rozdílem je různé stádium rozkladu dané rašeliny.

Mezi největší ložiska rašeliny patří oblasti severní polokoule s vysokými srážkovými úhrny a nízkými teplotami jako jsou Kanada, severní Evropa a Rusko (Bunt, Hons a Biol, 1988).

Rašelina je jednou z hlavních složek substrátu pro produkci sazenic v nádobách kvůli svým vhodným fyzikálním vlastnostem, jako je nízká objemová hmotnost, vysoká celková pórovitost a vysoká výměnná kapacita živin. Používání rašeliny v zahradnictví však v poslední době vyvolalo rostoucí obavy o životní prostředí, protože rašelina je neobnovitelný zdroj a hraje hlavní roli při sekvestraci atmosférického oxidu uhličitého (Maher et al., 2008).

Protože je čistá rašelina chudá na základní výživové prvky a má tak omezené možnosti pro výživu rostlin, můžeme tento nedostatek vyrovnat pomocí digestátů z bioplynových stanic. Jejich využíváním pro pěstební rašelinové substráty dochází k úspoře tohoto neobnovitelného zdroje, ale do určité míry i hnojiv používaných k doplnění živin do substrátů. Rovněž se tak

mohou zrecyklovat a vhodně využít digestáty, u kterých v poslední době dochází k čím dál větší produkci. Právě vysoká produkce bioodpadu vede k nárůstu zájmu o použití těchto materiálů jako alternativních substrátů nebo složek substrátů (Restrepo et al., 2013).

4 Metodika

V rámci této bakalářské práce byl v pokusných sklenicích katedry environmentální chemie (ČZU v Praze) založen nádobový pokus s mátou peprnou (*Mentha piperita*). Harmonogram pokusu byl následující:

- 14.6.2020 - řízkování máty. Řízky byly zasazeny do perlitu a předpěstovány.
- 23.6.2020 – namíchání pokusných substrátů a předpřípravení do květináčů
- 30.6.2020 – zasazení zakořeněných řízků do pokusných substrátů
- 22.7.2020 – přihnojení pokusu dusíkem
- 29. a 30.7.2020 – postřik proti molicím
- 7.8.2020 – sklizeň pokusů

Cílem pokusu bylo vytvoření vhodného pěstebního substrátu za pomoci kombinace fugátu, slámy a rašeliny. Hodnota pH byla upravena vápnitým dolomitem. Varianty pokusu jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4 Přehled variant substrátů pro pokusy s mátou peprnou

č.	Typ varianty	Substrát	OH* (g/l)
1	Kontrola	Běžný pěstební substrát	327
2	Kontrola	Rašelina + 1,5 g PG MIX/l + 12 g vápnitého dolomitu/l	211
3	Testovaný substrát	Rašelina + 5 % slámy s fugátem, + 12 g vápnitého dolomitu/l	259
4	Testovaný substrát	Rašelina + 10 % slámy s fugátem + 10 g vápnitého dolomitu/l	269
5	Testovaný substrát	Rašelina + 15 % slámy s fugátem + 8 g vápnitého dolomitu/l	278
6	Testovaný substrát	Rašelina + 20 % slámy s fugátem + 6 g vápnitého dolomitu/l	301

* OH – objemová hmotnost

Kapalná složka digestátu (fugát; 70 kg) pocházela ze zemědělské bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Fugát byl důkladně homogenizován se slámou (*Miscanthus* (52,8 kg), sója (17,5 kg) a vodou (200 kg). Následná tepelná úprava probíhala po dobu 7 dnů při teplotě 82 °C, s dvěma cykly propařování. Jako běžný pěstební substrát byl využit Zahradnický substrát s aktivním humusem (AGRO CS, Česká Skalice). Jako druhý kontrolní substrát byla využita bílá rašelina (Profi Peat White, AGRO CS, Česká Skalice) s hnojivem PG MIX - 14 % N, 7 % P, 15 % K, 0,42 % Mg, 7 % S, 0,09 % Fe, 0,12 % Cu, 0,04 % Zn, 0,16 % Mn, 0,03 % B, 0,2 % Mo (YARA Agri, Praha) a vápnitým dolomitem – 18 % Ca a 10 % Mg (AGRO CS, Česká Skalice). Testované substráty byly namíchány objemově tak, že ve variantách 3-6 bylo

do rašeliny namícháno 5, 10, 15 a 20 % směsi fugátu se slámou. Hmotnostně bylo přidáno 6, 8, 10 a 12 g vápenného dolomitu. Substráty byly homogenizovány a rozděleny do dvoulitrových pokusných nádob tak aby v každé nádobě bylo stejné množství substrátu (500 g) a zality na přibližně 60 % vodní kapacity. Sazenice máty byly do nádob zasazeny po 9 dnech, kdy bylo očekáváno ustálení poměrů v namíchaných substrátech. Všechny varianty byly 4x opakovány. Zalévání probíhalo každý týden, a to vždy na stejnou hmotnost jednotlivých variant. Cílem bylo udržovat přibližně 60% vodní kapacity substrátu. Rostliny v testovaných substrátech vykazovaly projevy nedostatku dusíku, což bylo již dříve potvrzeno i analýzou vstupních substrátů. Proto bylo provedeno přihnojení dusičnanem vápenatým (15 % N, Lovochemie, Lovosice) v dávce 50, 100, 150 a 200 mg N na nádobu k variantám 3-6. Ve dnech 29. a 30.7. bylo provedeno ošetření 0,03% roztokem přípravku Mospilan (AgroBio, Opava) proti molicím.

4.1 Provedené analýzy

U všech pokusů byly provedeny následující analýzy

- podíl sušiny substrátů před i po sklizni
- hmotnost čerstvé nadzemní hmoty sklizených rostlin
- podíl sušiny nadzemní hmoty sklizených rostlin
- měření hodnoty aktivního a výměnného pH a elektrické vodivosti v substrátech před i po sklizni
- obsah makroprvků v substrátech před i po sklizni
- obsah makroprvků ve sklizených rostlinách máty (metody stanovení pH, vodivosti a makroprvků jsou uvedeny níže).

4.2 Stanovení hodnoty pH a vodivosti

4.2.1 Aktivní pH a vodivost

Pro stanovení hodnoty pH byly naváženy 4 g suchého substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1hod. třepání, 1 hod. ustálení) s 40 ml demineralizované vody v 50 ml plastových kyvetách. Po ustálení proběhlo měření aktivního pH a současně i vodivosti.

4.2.2 Výměnné pH

Pro stanovení hodnoty pH byly naváženy 4 g čerstvého substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (horizontální třepání) s 40 ml 0,01 mol/l CaCl₂ v 50 ml plastových kyvetách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH. Metoda byla adaptována dle (Minasny et al., 2011) a je rovněž běžně používána laboratořemi ÚKZÚZ pro stanovení hodnoty výměnného pH. Aktivní pH, výměnné pH i vodivost byly měřeny přímo v suspenzi přístrojem HANNA Instruments (HI 991 301, Rhode Island, USA).

4.3 Stanovení obsahu okamžitě přístupných makroprvků vodním výluhem

Extrakty byly zhotoveny dle Luscombe et al. (1979). Ke 3 g usušeného vzorku bylo doplněno 30 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 1 hodinu a následně odstředěny

(5 min. při 8000 g). Odstředěné vzorky byly dále filtrovány. Vzniklé extrakty byly analyzovány na obsah přístupných makroprvků pomocí optického emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian VistaPro, Austrálie).

4.4 Stanovení rychle dostupných makroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl₂

Ke stanovení rychle dostupných makroprvků (kromě Ca) byl využit výluh v 0,01 mol/l CaCl₂, který je někdy uváděn jako přesnější z hlediska vypovídací schopnosti o obsahu živin v půdním roztoku. Byla využita mírně modifikovaná metoda dle Houba et al. (1990). Extrakce proběhla v poměru 1:10 (3 g substrátu, 30 ml vyluhovacího roztoku). Po dvou hodinách třepání byly vzorky odstředěny 5 min. při 9000 g a následně ještě zfiltrány pro odstranění neodstředěných nečistot. Obsah amonného spektrofotometricky na přístroji SKALAR SAN^{PLUS}SYSTEM (SKALAR, Breda, Nizozemí): z technických důvodů byl analyzován pouze směsný vzorek ze 4 opakování po sklizni pokusu a všechny vstupní substráty. Obsah nitrátového dusíku byl stanoven přístrojem LAQUAtwin (HORIBA Scientific, Praha, Česká republika), a to u všech vzorků. Pro měření přístupných makroprvků (kromě Ca) byl využit ICP-OES.

4.5 Stanovení potenciálně přístupných makroprvků metodou CAD

Dostupnost či obsah vybraných půdních živin a prvků byla stanovena dle normy EN 13651. Tato evropská norma je určena pro stanovení živin a prvků extrahovatelných chloridem vápenatý/DTPA (diethylenetriaminpentaoctová kyselina). Čerstvý vzorek substrátu byl extrahován roztokem 0,01 mol/l CaCl₂ a 0,002 mol/l DTPA v poměru (pevná látka/kapalina) 1:10 (3 g/30 ml). Po 1 hodině třepání byly vzorky zfiltrány a získané extrakty měřeny. Obsah amonného a nitrátového dusíku byl stanoven spektrofotometricky na přístroji SKALAR SAN^{PLUS}SYSTEM: z technických důvodů byl analyzován pouze směsný vzorek ze 4 opakování po sklizni pokusu a všechny vstupní substráty. Obsah nitrátového dusíku byl stanoven přístrojem LAQUAtwin, a to u všech vzorků. Pro měření přístupných makroprvků (kromě Ca) byl využit ICP-OES.

4.6 Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3

Pro analýzy usušených vzorků substrátů byl použit extrakční roztok dle Mehlich 3 (Mehlich, 1984) složený z CH₃COOH (c=0,2 mol/l), NH₄F (c=0,015 mol/l), HNO₃ (c=0,013 mol/l), NH₄NO₃ (c=0,25 mol/l) a EDTA (c=0,001 mol/l). Poměr substrátu a vyluhovadla činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 5 min. Ve filtrátech byl rovněž měřen obsah makroprvků pomocí ICP-OES.

4.7 Analýzy rostlin

Nadzemní hmota analyzovaných rostlin byla usušena a jemně namleta. Bylo naváženo 0,5 g (± 0,005g) namletého materiálu. Ten byl převeden do roztoku rozkladem na mokré cestě s pomocí mikrovlnné digesce v prostředí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku. Získaný vzorek

byl poté kvantitativně převeden do roztoku (finální objem 50 ml) a analyzován ICP-OES pro změření obsahů P, Ca, Mg a S a rovněž pomocí atomového absorpčního spektrometru (AAS) pro získání hodnoty celkového obsahu K.

4.8 Obsah N v nadzemní hmotě rostlin

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

4.9 Zpracování výsledků

Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky vypočtené v programu Microsoft Excel (Excel, 2003) a pokročilé statistické vyhodnocení (A-NOVA) bylo realizováno prostřednictvím programu Statistica 12 (StatSoft, Inc., 2017).

5 Výsledky

Pro větší přehlednost byla vytvořena tabulka č. 5, kde jsou uvedeny zkratky jednotlivých variant.

Tabulka č. 5 Zkratky vstupních materiálů a namíchaných kombinací

Substrát	Zkratka
Rašelina	R
Fugát + sláma	FS
Rašelina + fugát + sláma	RFS
Univerzální substrát	US
Rašelina + 1,5 g PG MIX/l + 12 g Vápenitého dolomitu/l	RPGMIX
Rašelina + 5 % slámy s fugátem + 12 g vápenitého dolomitu/l	RFS5
Rašelina + 10 % slámy s fugátem + 10 g vápenitého dolomitu/l	RFS10
Rašelina + 15 % slámy s fugátem + 8 g vápenitého dolomitu/l	RFS15
Rašelina + 20 % slámy s fugátem + 6 g vápenitého dolomitu/l	RFS20

5.1 Předběžné hodnocení substrátů

V rámci předběžného hodnocení substrátů byly provedeny vstupní rozbor, které jsou popsány v následujících tabulkách. Byl proveden rozbor samotných vstupních materiálů i rozbor namíchaných kombinací.

U jednotlivých substrátů byla měřena objemová hmotnost. Nejnižší objemová hmotnost 211 g/l byla naměřena u R a RPGMIX. Nejvyšší objemová hmotnost 474 g/l byla zjištěna u FS. Se stoupajícím podílem FS se zvyšovala i objemová hmotnost jednotlivých RFS substrátů.

Obsah sušiny v FS, byl podle předpokladu velmi nízký. Sušinu tvořilo pouze 25,8 %. V porovnání s R a US měl fugát se slámou až o polovinu méně sušiny. Tento nízký obsah se promítl i ve výsledcích u substrátů s různými podíly FS. Nejnížší procento sušiny z RFS substrátů měl substrát RFS20. Sušinu tohoto substrátu tvořilo pouze 30,5 %. Nejvyšší procento sušiny z RFS substrátů 41,5 % bylo zjištěno u substrátu RFS5, kde podíl fugátu se slámou tvořil pouze 5 %.

Přidávání FS do R naopak zvyšovalo hodnotu pH v H₂O. Rašelina se vyznačovala kyselým pH - 3,7, fugát naopak zásaditým pH - 9,3. Z tohoto hlediska se jevílo míchání těchto materiálů jako vhodné. Ve srovnání s univerzálním substrátem, bylo pH_{H₂O} v RFS5-RFS20 nižší. V US bylo naměřeno pH_{H₂O} 5,66. Nejvyšší pH_{H₂O} v RFS substrátech bylo zjištěno u RFS15 s hodnotou 4,63.

Pro srovnání bylo provedeno měření pH_{CaCl₂} (výměnné pH), které vyšlo ve všech měřeních nižší než pH ve vodném výluhu. Tendence jsou však srovnatelné s pH_{H₂O}.

Naměřená vodivost (EC), udává zasolenost substrátů. U zahradních substrátů by neměla zasolenost přesahovat hodnoty 1,1 mS/cm. U substrátů, které překračují tyto hodnoty, mohou nastat komplikace s růstem rostlin (hlavně kořenového systému), nebo s klíčením semen. FS tuto hodnotu přesahoval, avšak po smíchání s R došlo ke snížení EC pod hladinu 1,1 mS/cm. Nejméně (0,30 mS/cm) bylo naměřeno u RFS5 a nejvíce (0,36 mS/cm) u RFS10. Nejvyšší vodivost v substrátech 1,95 mS/cm byla zjištěna u RPGMIX.

Tabulka č. 6 Vstupní rozbor

Substrát	Objemová hmotnost (g/l)	Sušina substrátu %	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	EC mS/cm
R	211	50,7	3,7	2,8	0,115
FS	474	25,8	9,3	8,1	1,345
US	327	52	5,66	5,08	0,79
RPGMIX	211	43,9	4,09	3,89	1,95
RFS5	259	41,5	4,41	4,12	0,3
RFS10	269	37,1	4,41	4	0,36
RFS15	278	32,8	4,63	4,25	0,31
RFS20	301	30,5	4,51	4,03	0,33

Pro stanovení okamžitě přístupných makroprvků P, K, Ca, Mg, S byl využit vodný výluh. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Rašelina se vyznačovala nejnižším obsahem těchto živin, fugát vykazoval naopak vysoké hodnoty, a to především u draslíku (10278 mg K/kg sušiny). Výsledné směsi se proto zpravidla vyznačovaly jako vyvážené.

V R bylo naměřeno pouhých 9,49 mg P/kg sušiny, ve FS 467 mg P/kg sušiny. Nejméně P (51,3 mg/kg sušiny) v RFS substrátech bylo naměřeno u RFS5, nejvíce u RFS20 (120 mg/kg sušiny). Se zvyšujícím se obsahem FS se zvyšoval i obsah P v RFS substrátech.

Protože měl FS K dostatek, s množstvím přidaného FS do rašeliny se množství K v RFS substrátech zvyšovalo. Nejméně K v RFS substrátech bylo naměřeno v RFS5 (207 mg K/kg sušiny). Nejvíce K v RFS substrátech bylo naměřeno v RFS20 (472 mg K/kg sušiny).

V porovnání s univerzálním substrátem byl obsah K v RFS substrátech přesto velmi nízký. Obsah K v US byl 866 mg/kg sušiny.

Obsah Ca byl v RFS substrátech proměnlivý zejména kvůli různému množství vápenitého dolomitu přidávaného do RFS substrátů za účelem stabilizace hodnoty pH. Nejméně Ca (200 mg/kg sušiny) ve vodném výluhu RFS substrátů bylo naměřeno v RFS10, nejvíce Ca (235 mg/kg sušiny) v RFS15 i přes to, že zde bylo nejmenší množství vápenitého dolomitu (6 g/l). Obsah okamžitě přístupného Ca v FS byl 1969 mg/kg sušiny, proto ho mohl v RFS substrátech doplňovat. V čisté R byl obsah Ca 187 mg/kg sušiny.

Množství okamžitě přijatelného Mg v RFS substrátech bylo skoro stejné jako v kontrolním univerzálním substrátu (110 mg/kg sušiny) avšak nižší. RPGMIX obsahoval skoro stejné množství Mg (521 mg/kg sušiny) jako FS (528 mg/kg sušiny). Nejblíže k univerzálnímu substrátu z hlediska okamžitě přijatelného Mg měl RFS5 (106 mg/kg sušiny), ve kterém bylo z RFS substrátů Mg nejvíce. Nejnižší obsah Mg (84,2 mg/kg sušiny) byl naměřen u RFS10.

Okamžitě přijatelné S v RFS substrátech bylo s porovnáním s US velmi málo. V US bylo naměřeno 154 mg/kg sušiny, v RFS substrátech bylo toto množství až o 2/3 nižší. Nejméně S (45,6 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u RFS10. Nejvíce 53,1 mg/kg sušiny u RFS20. V R bylo množství S také nízké (40,8 mg/kg sušiny), ve FS vysoké (566 mg/kg sušiny).

Tabulka č. 7 Stanovení obsahu okamžitě přístupných makroprvků vodným výluhem

Vodný výluh (mg/kg sušiny)					
Substrát	P	K	Ca	Mg	S
R	9,49	44,7	187	73,9	40,8
FS	467	10278	1969	528	566
US	370	866	306	110	154
RPGMIX	1280	1656	884	521	1048
RFS5	51,3	207	229	106	47,3
RFS10	83,2	279	200	84,2	45,6
RFS15	110	382	235	92,5	51,3
RFS20	120	472	233	86,4	53,1

Stanovení rychle dostupných makroprvků bylo měřeno pomocí výluhu v 0,01 mol/l CaCl. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Zde byly sledovány i obsahy přístupného dusíku. V R bylo naměřeno 44,0 mg/kg sušiny amonného N, obsah dusičnanového N činil jen 0,99 mg/kg sušiny. Celkový obsah rychle dostupného N v FS byl velmi nízký. V amonné formě bylo naměřeno 5,86 mg/kg sušiny, v dusičnanové 0,33 mg/kg sušiny. V kontrolních substrátech, US a RPGMIX, byly hodnoty amonného dusíku o značnou část vyšší než ve u RFS substrátů. V US bylo naměřeno 115 mg/kg sušiny, v RPGMIX 231 mg/kg sušiny. V RFS substrátech se množství amonného N pohybovalo mezi 28,7-40,1 mg/kg sušiny. Obsah dusičnanového N byl v US 15,8 mg/kg sušiny, v RPGMIX 31,7 mg/kg sušiny. Hodnoty dusičnanového N v RFS substrátech byly podobné množství v US. Množství dusičnanového N v RFS substrátech se pohybovalo mezi 12,8-23,3 mg/kg sušiny.

Obsah P univerzálního substrátu činil 195 mg/kg sušiny. Obsah P v RFS substrátech byl výrazně nižší. Nejvíce P (81,1 mg/kg sušiny) v RFS substrátech bylo naměřeno u RFS20,

nejméně (27,3 mg/kg sušiny) u RFS5. Se zvyšujícím se podílem FS v substrátech se množství P zvyšovalo.

Obsah K v FS byl 13844 mg/kg sušiny. Ze zvyšujícím se podílem FS se zvyšovalo i množství rychle dostupného K v RFS substrátech. Nejvíce K v RFS substrátech (1283 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u RFS20, nejméně (514 mg/kg sušiny) u RFS5. V porovnání s US a s RPGMIX byl obsah rychle dostupného K stále nízký.

Množství rychle přijatelného Mg v RFS substrátech bylo vyšší než v kontrolním US (659 mg/kg sušiny) i v kontrolním RPGMIX (828 mg/kg sušiny). Se zvyšujícím se podílem FS v RFS substrátech se však množství Mg snižovalo. Nejvíce Mg v RFS substrátech (1088 mg/kg sušiny) bylo zjištěno u RFS5, nejméně (775 mg/kg sušiny) u RFS20.

V porovnání s US bylo množství rychle přijatelné S v RFS substrátech nízké. V RPGMIX bylo dokonce naměřeno 709 mg/kg sušiny. Nejvíce S v RFS substrátech (39,0 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u RFS5, nejméně (30,3 mg/kg sušiny) u RFS10. Rozdíly v obsahu S v RFS substrátech byly minimální.

Tabulka č. 8 Stanovení rychle dostupných makroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl₂

Výluh 0,01 mol/l CaCl ₂ (mg/kg sušiny)						
Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
R	44,0	0,99	4,80	128	560	25,1
FS	5,86	0,33	253	13844	731	435
US	115	15,8	195	1659	659	95,1
RPGMIX	231	31,7	706	1670	828	709
RFS5	40,1	16,4	27,3	514	1088	39,0
RFS10	38,6	17,5	41,7	731	964	30,3
RFS15	32,3	23,3	66,0	1214	909	34,1
RFS20	28,7	12,8	81,1	1283	775	33,6

Potencionálně přístupné makroprvky N v NH₄ a v NO₃, P, K, Mg a S byly měřeny pomocí metody CAD. Výsledky těchto měření jsou popsány v tabulce č. 9.

V R bylo naměřeno 83,3 mg/kg sušiny amonného N, obsah dusičnanového N činil jen 27,7 mg/kg sušiny. Ve FS bylo v amonné formě naměřeno 15 mg/kg sušiny, v dusičnanové 3,56 mg/kg sušiny. V kontrolních substrátech byl vysoký především amonný N. Amonného N v US bylo naměřeno 216 mg/kg sušiny v RPGMIX 382 mg/kg sušiny. Dusičnanového N bylo v kontrolních substrátech o značnou část méně než amonného N. V US byl obsah dusičnanového N 19,6 mg/kg sušiny v RPGMIX 27,2 mg/kg sušiny. Obsahy jak amonného, tak dusičnanového N v RFS substrátech, byly o značnou část nižší než v kontrolních substrátech. Množství amonného N se v RFS substrátech pohybovalo mezi 52,1-71,7 mg/kg sušiny, přičemž nejnížší množství bylo naměřeno u RFS20, nejvyšší u RFS5. Nejméně dusičnanového N v RFS substrátech (3,57 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u RFS15, nejvíce (5,06 mg/kg sušiny) u RFS5.

Obsah P byl v R pouze 10,1 mg/kg sušiny. Ve FS byl obsah P 373 mg/kg sušiny. Množství P v RFS substrátech rostlo se zvyšujícím se podílem FS. Nejméně P (43,2 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u RFS5, nejvíce (225 mg/kg sušiny) u RFS20. V univerzálním substrátu bylo množství P naměřeno 263 mg/kg sušiny.

Obsah K v R byl pouze 293 mg/kg sušiny v RPGMIX 1215 mg/kg sušiny. Ve FS byl obsah K 6544 mg/kg sušiny. Množství K v RFS substrátech rostlo s rostoucím podílem FS. Nejméně K v RFS substrátech (557 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u RFS5, nejvíce (2513 mg/kg sušiny) u RFS20. Naměřené množství K v RFS20 dosáhlo vyšších hodnot než v US (1623 mg/kg sušiny) a dokonce i v RPGMIX ve kterém byl obsah K 2101 mg/kg sušiny.

Obsah Mg v R byl 1607 mg/kg sušiny, což bylo více než v US (1074 mg/kg sušiny) i v RPGMIX (1215 mg/kg sušiny). V prvních třech RFS substrátech (RFS5, RFS10, RFS15) množství Mg rostlo spolu s rostoucím obsahem FS. Tento trend byl narušen substrátem RFS20.

Posledním hodnoceným prvkem tohoto měření byla S. V R bylo naměřeno 49,7 mg/kg sušiny, u FS 85,7 mg/kg sušiny. Obsah S v RFS substrátech rostl se zvyšujícím se obsahem FS jako u předchozích prvků. Nejnižší obsah S (31,2 mg/kg sušiny) byl naměřen u RFS5, nejvyšší (53,8 mg/kg sušiny) u RFS20.

Tabulka č. 9 Stanovení potencionálně přístupných makroprvků metodou CAD

CAD - CaCl ₂ /DTPA (mg/kg sušiny)						
Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
R	83,3	27,7	10,1	293	1607	49,7
FS	15	3,56	373	6544	893	85,7
US	216	19,6	263	1623	1074	100
RPGMIX	382	27,2	950	2101	1215	751
RFS5	71,7	5,06	43,2	557	1283	31,2
RFS10	65,3	3,96	79,3	860	1429	39,2
RFS15	61,8	3,57	122	1308	1461	43,3
RFS20	52,1	4,74	225	2513	1320	53,8

Metodou Mehlich 3 byly měřeny obsahy P, K, Ca, Mg, S. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Obsah P v R byl v tomto měření pouze 9,54 mg/kg sušiny. Ve FS byl naměřen obsah 2003 mg/kg sušiny. Tento obsah byl nejvyšší ze všech substrátů. Obsah P v prvních třech RFS substrátech (RFS5 - 23,1 mg/kg sušiny, RFS10 - 48,3 mg/kg sušiny, RFS15 - 93,2 mg/kg sušiny) rostl se zvyšujícím se podílem FS. Tento trend byl narušen variantou RFS20, u které byl obsah P 84,4 mg/kg sušiny. Obsah P v RFS substrátech byl oproti US (390 mg/kg sušiny) a RPGMIX (818 mg/kg sušiny) velmi nízký.

V R byl naměřen obsah K 155 mg/kg sušiny. U FS byl obsah K 11734 mg/kg sušiny. Obsah K v prvních třech RFS substrátech (RFS5 - 249 mg/kg sušiny, RFS10 - 541 mg/kg sušiny, RFS15 - 1061 mg/kg sušiny) rostl se zvyšujícím se podílem FS. Tento trend byl narušen variantou RFS20, u které byl obsah K 1039 mg/kg sušiny.

V R byl naměřen obsah Ca 2115 mg/kg sušiny u FS 13716 mg/kg sušiny. Obsah Ca v RFS substrátech vykazuje stejné chování jako u předchozí živiny. Varianta RFS20 opět narušila trend stoupajícího obsahu Ca se stoupajícím obsahem FS. Rozdíl mezi variantou RFS15 a RFS20 byl 519 mg/kg sušiny. Obsah Ca ve variantách RFS10, RFS15, RFS20 bylo vyšší než v RPGMIX, ve kterém bylo naměřeno 2550 mg/kg sušiny. US měl obsah Ca vyšší než RFS substráty a to 3811 mg/kg sušiny.

V R byl naměřen obsah Mg 606 mg/kg sušiny u FS 2399 mg/kg sušiny. Obsah Mg v RFS substrátech vykazuje stejné chování jako P, K a Ca. Varianta RFS20 výrazně narušila trend stoupajícího obsahu Mg se stoupajícím obsahem FS. Nejméně Mg v RFS substrátech (818 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u varianty RFS5, nejvíce (1401 mg/kg sušiny) u RFS15. RFS15 mělo o 36 mg/kg sušiny více než US a o 478 mg/kg sušiny více než RPGMIX.

Rašelina se vyznačovala nízkým obsahem S, který byl 17,5 mg/kg sušiny. Obsah S ve FS byl 248 mg/kg sušiny. Zde s rostoucím podílem FS v RFS substrátech rostl i obsah S. Nejméně S v RFS substrátech (18,2 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u varianty RFS5, nejvíce (32,1 mg/kg sušiny) u RFS20. Obsah S v RFS byl o mnoho vyšší než u kontroly RPGMIX.

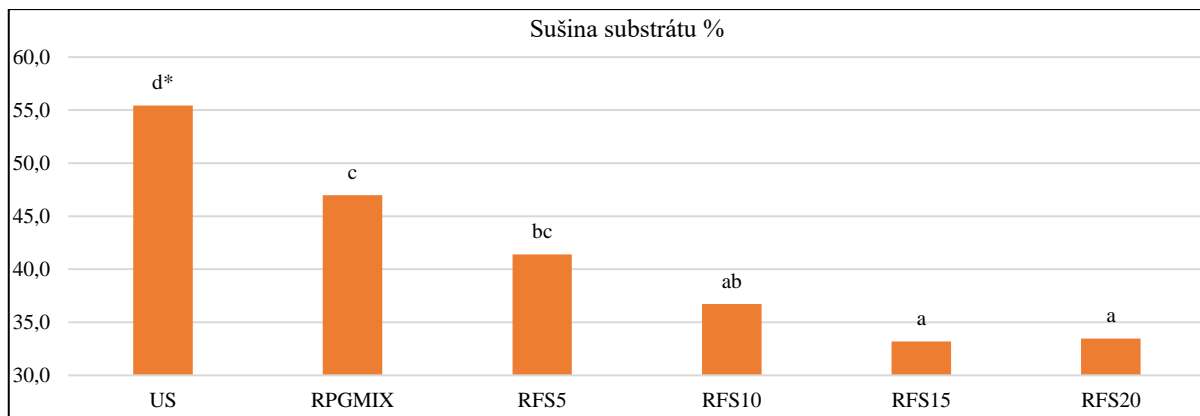
Tabulka č. 10 Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3

Mehlich 3 (mg/kg sušiny)					
Substrát	P	K	Ca	Mg	S
R	9,54	155	2115	606	17,5
FS	2003	11734	13716	2399	248
US	390	1471	3811	1365	89,0
RPGMIX	818	1423	2550	923	680
RFS5	23,1	249	2145	818	18,2
RFS10	48,3	541	2643	1021	22,8
RFS15	93,2	1061	3635	1401	32,0
RFS20	84,4	1039	3116	1102	32,1

5.2 Vyhodnocení posklizňových měření

Jako první byla měřena sušina substrátů v % a provedeno statistické hodnocení. Výsledky jsou znázorněny v grafu č. 1. Se stoupajícím podílem FS se u RFS substrátů % sušiny snižovalo. Statisticky podobných výsledků bylo dosaženo u skupiny substrátů RFS5 a RFS10 dále u skupiny RFS10, RFS15, a RFS20. Substrát RFS5 měl statistickou podobnost s RPGMIX. US měl prokazatelně nejvyšší % sušiny ze všech substrátů a je statisticky odlišný od všech substrátů.

Graf č. 1 Posklizňová sušina substrátů

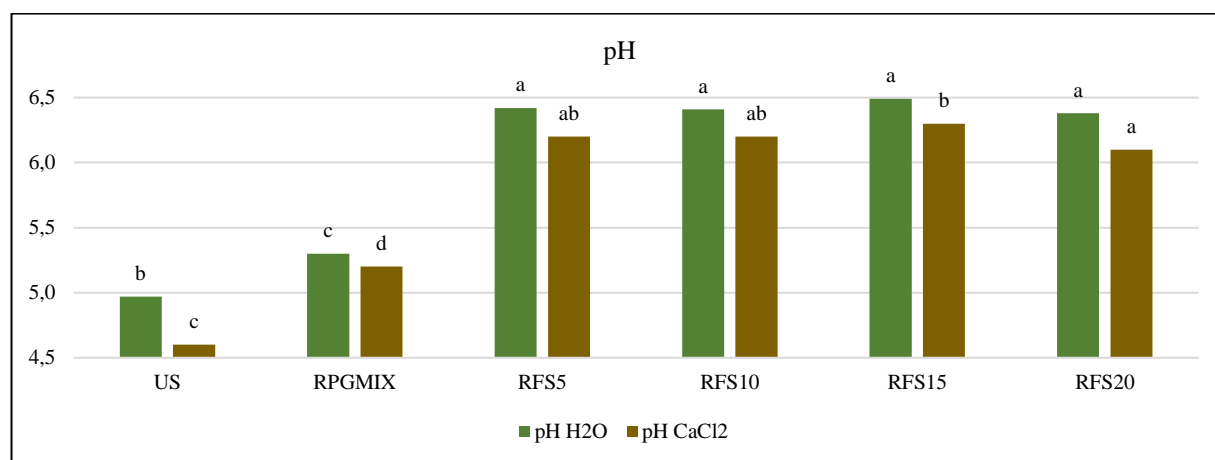


* rozdílná písmena znamenají statisticky průkazný rozdíl mezi variantami při $p < 0,05$

Graf č. 2 popisuje pH_{H_2O} a pH_{CaCl_2} použitých substrátů. Výsledné pH_{H_2O} RFS substrátů se pohybovalo mezi hodnotami 6,38-6,49. Hodnoty blízké pH_{H_2O} 6 jsou vhodné pro zahradní substráty. Mezi RFS substráty nebyly průkazné rozdíly. Přidání vápenitého dolomitu pravděpodobně způsobilo vyrovnaní, proto si jsou hodnoty v tomto měření navzájem podobné. Průkazně nižší hodnota byla zjištěna RPGMIX, kde bylo naměřeno pH_{H_2O} 5,30. Průkazně nejnižší hodnoty byly naměřeny u US ve kterém bylo pH_{H_2O} 4,97.

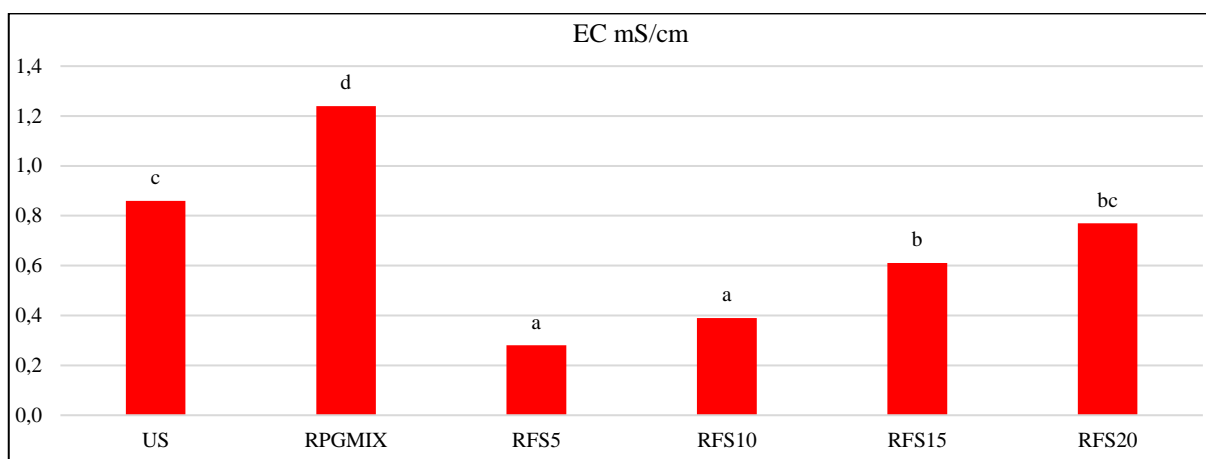
Výsledné výměnné pH_{CaCl_2} RFS substrátů se pohybovalo v úzkém rozmezí mezi hodnotami 6,1-6,3, přesto byl zaznamenán průkazný rozdíl mezi RFS15 a RFS20. Průkazně nižší hodnota byla u RPGMIX, kde bylo naměřeno pH_{CaCl_2} 5,2 a průkazně nejnižší hodnoty byly naměřeny u US ve kterém bylo naměřeno pH_{CaCl_2} 4,6.

Graf č. 2 pH_{H_2O} , pH_{CaCl_2}



Jako další byla měřena vodivost (EC), jejíž výsledky jsou znázorněny v grafu č. 3. V US bylo naměřeno EC 0,86 mS/cm, tedy více než ve vstupním rozboru před sázením, kde bylo EC 0,79 mS/cm. V RPGMIX byla naměřena hodnota 1,24 mS/cm, tedy méně než před sázením rostlin, kde EC bylo 1,95 mS/cm. V RFS substrátech bylo EC pod úrovní 1 mS/cm. Statisticky podobných výsledků bylo dosaženo u skupiny substrátů RFS5 (0,28 mS/cm) a RFS10 (0,39 mS/cm) dále u skupiny RFS15 (0,61 mS/cm) a RFS20 (0,77 mS/cm). U RFS20 bylo dosaženo statisticky podobných výsledků jako v US. EC se zvyšujícím podílem FS rostla.

Graf č. 3 Výsledná vodivost substrátů



Tabulka č. 11 popisuje naměřené hodnoty P, K, Ca, Mg, S, tj. okamžitě přijatelných živin z vodného výluhu. Z naměřených hodnot je zřejmé, že RPGMIX dosahuje vysokých hodnot všech prvků. Při hodnocení obsahu okamžitě přístupného P je zřejmé, že RFS substráty vykazovaly průkazně nižší obsahy P ve srovnání s kontrolními, často i více než 10krát. Se zvyšujícím se podílem FS však neprůkazně stoupal i obsah P.

V případě draslíku byla s kontrolními variantami srovnatelná jen hodnota dosažená substrátu RFS20. U ostatních RFS substrátů byly obsahy K průkazně nižší než u kontrol. Ve variantách RFS15 a RFS20 a v US bylo dosaženo vyššího množství K než při vstupních měření.

Varianta RFS20 dosáhla podobných hodnot vápníku s kontrolou US, avšak u RPGMIX byl obsah Ca průkazně vyšší než u všech ostatních variant. Ve všech variantách RFS substrátů bylo naměřeno vyšší množství Ca než při vstupních rozborech.

U všech RFS substrátů bylo dosaženo statisticky podobného množství Mg s US. V RPGMIX byl obsah Mg průkazně vyšší než v US. Ve všech substrátech, kromě RPGMIX, byl zjištěn vyšší obsah Mg než při vstupních rozborech.

U síry lze hovořit o podobném trendu jako u fosforu – v kontrolních substrátech byly zjištěny průkazně vyšší obsahy S než u testovaných RFS substrátů, avšak na rozdíl od fosforu obsah síry s přidavkem SF spíše klesal.

Tabulka č. 11 posklizňový vodný výluh

Vodný výluh (mg/kg sušiny)					
Substrát	P	K	Ca	Mg	S
US	264,6 ^{bc*}	982 ^{**a}	566 ^{cd}	263 ^a	134,2 ^b
RPGMIX	566,0 ^c	811 ^{ac}	706 ^d	493 ^b	871,7 ^c
RFS5	33,4 ^a	97 ^b	387 ^a	196 ^a	65,0 ^{ab}
RFS10	35,4 ^a	266 ^b	419 ^{ab}	209 ^a	42,3 ^a
RFS15	66,5 ^a	670 ^c	501 ^{abc}	235 ^a	45,0 ^a
RFS20	78,8 ^a	916 ^a	558 ^{bc}	254 ^a	42,1 ^a

* rozdílná písmena znamenají statisticky průkazný rozdíl mezi variantami při $p < 0,05$

** Modře odlišené hodnoty jsou vyšší než u vstupních rozborů substrátů.

Tabulka č. 12 popisuje naměřené hodnoty P, K, Mg, S ve výluhu 0,01 mol/l CaCl₂.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že RPGMIX dosahuje vysokých hodnot všech prvků. Vysokých hodnot bylo zde dosaženo i u US.

Obsah amonného N klesal s přidavkem FS, avšak statistické hodnocení nebylo možné (viz metodika). V případě dusičnanového N měl US statistickou podobnost se všemi substráty kromě RFS15, kde naměřené množství bylo nejvyšší ze všech substrátů. RPGMIX měl statistickou podobnost dusičnanového N se všemi substráty. Velmi nízké množství však bylo naměřeno u RFS5. Vyšší množství dusičnanového N než při vstupních rozborech zde měly US, RPGMIX a varianty RFS15 a RFS20. U FS variant to pravděpodobně bylo způsobeno přihnojením dusičnanem vápenatým během pokusu, u kontrolních substrátů potom mineralizací amonného N.

Při hodnocení obsahu P je zřejmé, že RFS substráty vykazovaly průkazně nižší hodnoty P než substráty kontrolní. RPGMIX měl více než 3krát vyšší obsah P než US. U všech RFS byla zaznamenána stejná statistická podobnost.

V případě K byly s kontrolními variantami srovnatelné hodnoty dosažené u substrátu RFS15 a RFS20. U substrátů RFS5 a RFS10 byly obsahy K průkazně nižší než u kontrol. U varianty RFS20 byl zjištěn vyšší obsah K než při vstupním rozboru.

Všechny varianty RFS substrátů dosáhly podobných hodnot hořčíku s kontrolou RPGMIX, avšak u US byl obsah Mg průkazně nižší než u všech RFS variant. Ve všech posklizňových rozborech substrátů bylo množství Mg o značnou část vyšší než ve vstupních rozborech substrátů, pravděpodobně díky uvolňování Mg za hůře přístupných forem.

Podobně tomu bylo i u síry, kde substrát RFS15 jako jediný nedosáhl vyšších hodnot než ve vstupním rozboru substrátů. U RFS substrátů bylo množství S výrazně nižší než u kontrolních substrátů. Jediné statistické podobnosti s kontrolními substráty došlo mezi RFS5 a US. Statistické podobnosti zde bylo dosaženo u všech RFS substrátů. Kontrolní substráty statistickou podobnost neměly. RPGMIX měl skoro 8krát vyšší obsah S než US.

Tabulka č. 12 Posklizňový výluh 0,01 mol/l CaCl₂ (mg/kg sušiny)

Výluh 0,01 mol/l CaCl ₂ (mg/kg sušiny)						
Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
US	44,2	27,1 ^a	147,0 ^b	1121 ^a	696 ^b	98,7 ^b
RPGMIX	38,7	41,6 ^{ab}	471,0 ^c	1102 ^a	1209 ^a	784 ^c
RFS5	25,6	6,9 ^a	11,6 ^a	152 ^b	1237 ^a	42,6 ^{ab}
RFS10	22,4	12,6 ^a	20,2 ^a	533 ^b	1375 ^a	36,0 ^a
RFS15	18,5	78,8 ^b	36,3 ^a	1164 ^a	1332 ^a	31,2 ^a
RFS20	14,2	50,6 ^{ab}	49,6 ^a	1533 ^a	1245 ^a	34,3 ^a

Tabulka č. 13 popisuje naměřené hodnoty posklizňových potencionálně přístupných makroprvků N v NH₄ a NO₃, P, K, Mg, S měřených metodou CAD.

Obsah amonného N byl vyšší v kontrolních substrátech ve srovnání s testovanými. Obsah dusičnanového N v kontrolních substrátech měl statistickou podobnost se všemi substráty kromě RFS20, kde naměřený obsah dusičnanového N byl nejvyšší ze všech substrátů. U všech substrátů byl zjištěn vyšší obsah dusičnanového N, než při vstupních rozborech.

Při hodnocení obsahu P je zřejmé, že RFS substráty vykazovaly průkazně nižší hodnoty P ve srovnání s kontrolními substráty. RFS substráty tak neměly žádnou statistickou podobnost s kontrolními substráty. U kontrolních substrátů byl zjištěn vyšší obsah P než ve vstupních rozborech, statistické podobnosti však dosaženo nebylo.

V případě K měly oba kontrolní substráty srovnatelné hodnoty s hodnotou substrátu RFS15. RFS5 a RFS10 měly hodnoty K prokazatelně nižší než u kontrolních substrátů.

Všechny varianty RFS substrátů dosáhly podobných hodnot hořčíku s kontrolou RPGMIX, avšak u US byl obsah Mg průkazně nižší než u všech RFS variant. U všech substrátů bylo množství Mg o značnou část vyšší než ve vstupních rozborech substrátů.

Stejně tomu bylo i u S, kdy hodnoty byly výrazně vyšší než ve vstupních rozborech substrátů. Všechny varianty RFS substrátů dosáhly podobných hodnot S s kontrolou US, avšak u RPGMIX byl obsah S průkazně vyšší než ve všech RFS variantách.

Tabulka č. 13 Posklizňové stanovení potencionálně přístupných makroprvků metodou CAD

CAD - CaCl ₂ /DTPA (mg/kg sušiny)						
Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
US	67,3	22,8 ^a	439 ^b	2278 ^a	2328 ^b	232 ^a
RPGMIX	82,4	42,1 ^a	1063 ^c	2222 ^a	3806 ^a	1596 ^b
RFS5	37,9	29,7 ^a	33,8 ^a	372 ^b	3864 ^a	100,6 ^a
RFS10	41,3	33,4 ^a	51 ^a	955 ^b	4058 ^a	56,3 ^a
RFS15	35,2	61,1 ^{ab}	117 ^a	2434 ^a	4373 ^a	69,1 ^a
RFS20	31,1	94,2 ^b	140 ^a	3155 ^c	4214 ^a	75 ^a

Tabulka č. 14 popisuje posklizňové stanovení makroprvků metodou Mehlich 3. Při hodnocení obsahu P je zřejmé, že RFS substráty vykazovaly průkazně nižší hodnoty P ve srovnání s kontrolními substráty. Ve všech variantách RFS substrátů bylo dosaženo statisticky podobných výsledků. Statistické podobnosti mezi US a RPGMIX však dosaženo nebylo.

V případě K bylo dosaženo statisticky podobných hodnot kontrolních substrátů se substráty RFS15 a RFS20. RFS5 a RFS10 měly hodnoty K prokazatelně nižší než u kontrolních substrátů. Ve variantě RFS15 byl zjištěn vyšší obsah K než při vstupním měření substrátu.

V případě Ca bylo dosaženo statistické podobnosti u všech substrátů. Oproti vstupním rozběrům substrátů zde bylo dosaženo mnohem vyšších hodnot tohoto prvku.

Stejně tomu bylo i u Mg, kdy hodnoty tohoto prvku byly až 3krát vyšší. Všechny varianty RFS substrátů dosáhly podobných hodnot hořčíku s kontrolou RPGMIX, avšak v US byl obsah Mg průkazně nižší než u všech RFS variant.

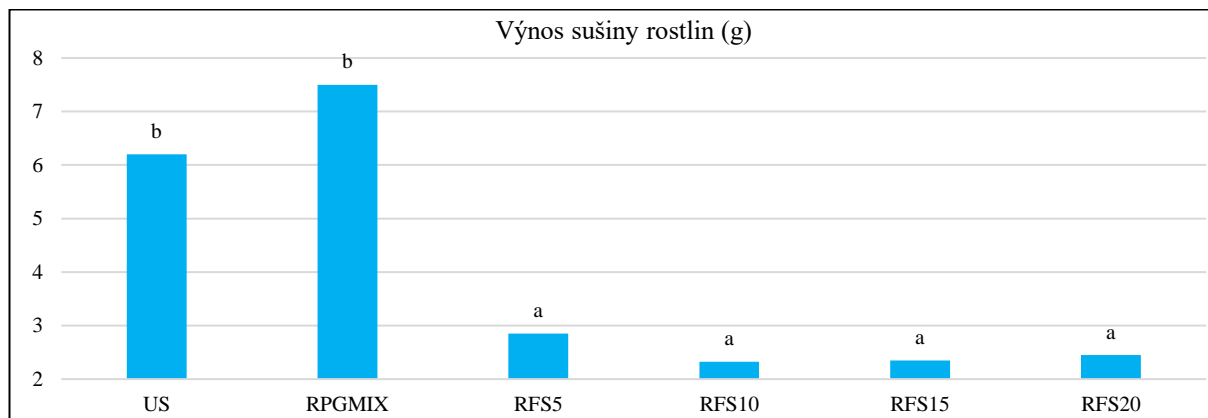
V případě síry byla zjištěna statistická podobnost všech RFS substrátů s US. RPGMIX má hodnoty S prokazatelně vyšší. U substrátů US, RPGMIX a RFS5 bylo dosaženo vyšších hodnot než ve vstupních rozborech substrátů.

Tabulka č. 14 Posklizňové stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3

Mehlich 3 (mg/kg sušiny)					
Substrát	P	K	Ca	Mg	S
US	283 ^b	1366 ^a	4161 ^a	1600 ^b	39 ^a
RPGMIX	585 ^c	1147 ^a	4424 ^a	2621 ^a	757 ^b
RFS5	18,6 ^a	200 ^b	4819 ^a	2591 ^a	34,5 ^a
RFS10	22,2 ^a	486 ^b	5026 ^a	2554 ^a	22,7 ^a
RFS15	54,2 ^a	1066 ^a	4813 ^a	2257 ^a	21,8 ^a
RFS20	74,2 ^a	1435 ^a	5283 ^a	2257 ^a	24,4 ^a

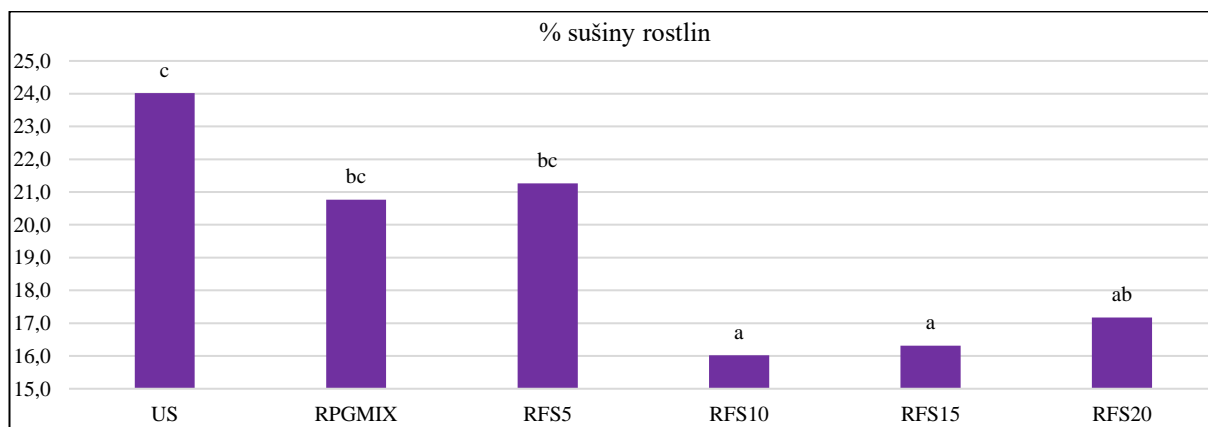
Graf č. 4 znázorňuje výnos sušiny v gramech nadzemní hmoty máty. RPGMIX se vyznačoval nejvyšším výnosem sušiny nadzemní hmoty, následoval ho US. V žádném v RFS substrátů se nepodařilo dosáhnout podobných výsledků jako v kontrolních substrátech. Množství sušiny kontrolních substrátů bylo oproti RFS substrátům až 4x vyšší. V RFS substrátech bylo dosaženo statistické podobnosti.

Graf č. 4 Výnos sušiny nadzemní hmoty Máty



Graf č. 5 znázorňuje % sušiny rostlin máty. Nejvyšší % sušiny rostlin měl US. Statistickou podobnost s US vykazoval RPGMIX a varianta RFS5. Substráty RFS5 a RFS20 byly statisticky podobné s RPGMIX. U RFS10 a RFS15 nebyla zjištěna statistická podobnost s kontrolními substráty.

Graf č. 5 % sušiny rostlin



Graf č. 6 znázorňuje obsah P, Mg, S a Ca v nadzemní hmotě rostlin (mg/kg), graf č. 7 obsah K a N. Grafy byly odděleny kvůli výrazným rozdílům v obsahu jednotlivých prvků.

U RFS substrátů je zřejmé, že rostliny vykazovaly nižší obsah fosforu než rostliny v kontrolních substrátech. V RPGMIX je evidentní, že rostliny měly výrazně vyšší obsah P než v rostliny pěstované v US. Žádný z RFS substrátů neměl statistickou podobnost P s kontrolními substráty.

U hořčíku tomu bylo naopak. U všech substrátů bylo dosaženo statisticky podobných výsledků. Hodnoty Mg v sušině se pohybovaly od 4585 mg/kg do 5328 mg/kg. Nejméně hořčíku v sušině nadzemní hmoty měly rostliny pěstované v RPGMIX, nejvíce ve variantě RFS15.

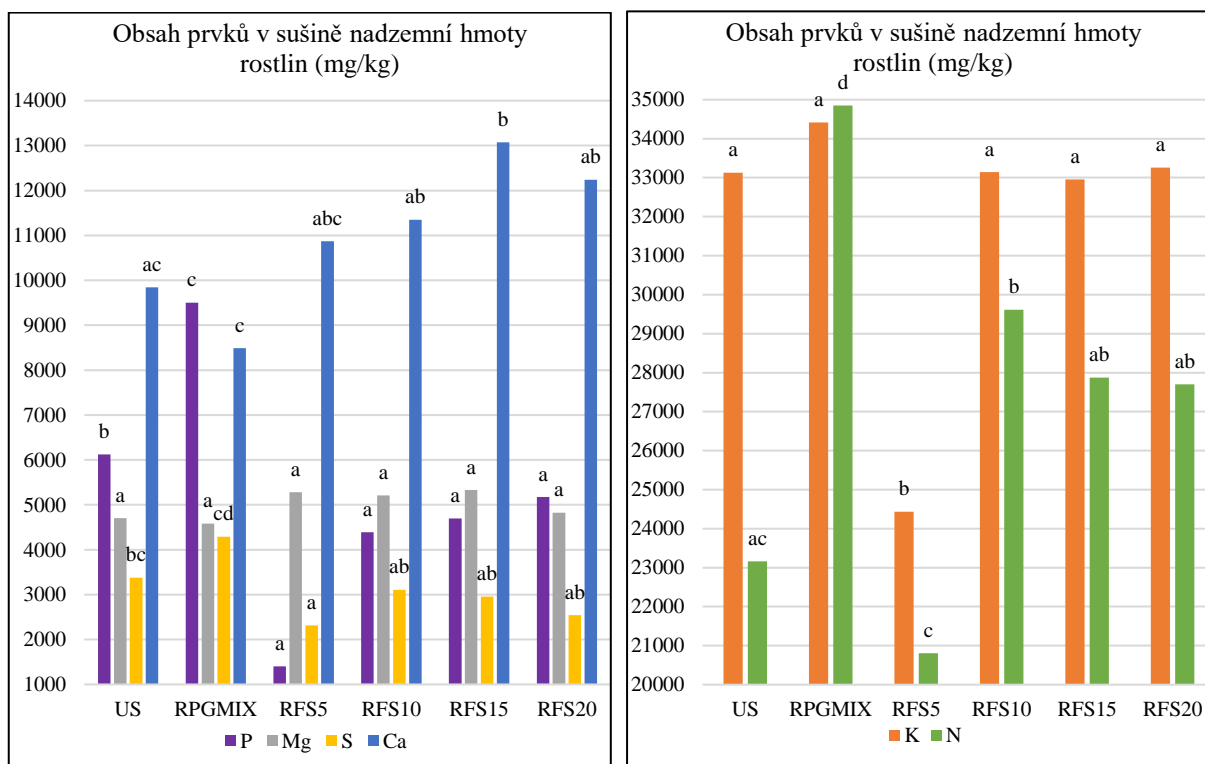
V případě síry byl obsah v rostlinách u RFS substrátů nižší než v kontrolních substrátech. Statistickou podobnost s US zde vykazovaly varianty RFS10, RFS5 a RFS20. RFS5 nebyl podobný s žádným kontrolním substrátem.

Obsah vápníku v sušině rostlin byl ve všech RFS substrátech vyšší než v kontrolních substrátech. Statistickou podobnost s US měly varianty RFS5, RFS10 a RFS20. Statistickou podobnost s RPGMIX měla varianta RFS5. Vzájemné statistické podobnosti dosaženo u všech RFS variant.

Obsah draslíku v sušině byl statisticky podobný se všemi substráty kromě varianty RFS5, kde byl obsah K až 1,5krát nižší než v kontrolních substrátech.

V grafickém znázornění je zřejmé, že průkazně nejvyšší obsah dusíku měl RPGMIX. Varianty RFS5, 15 a 20 byly statisticky podobné s US. Nejnižší obsah N v rostlinách byl zaznamenán u varianty RFS5.

Graf č. 6 Obsah P, Mg, S a Ca v sušině nadzemní hmoty rostlin; Graf č. 7 Obsah K a N v sušině nadzemní hmoty rostlin

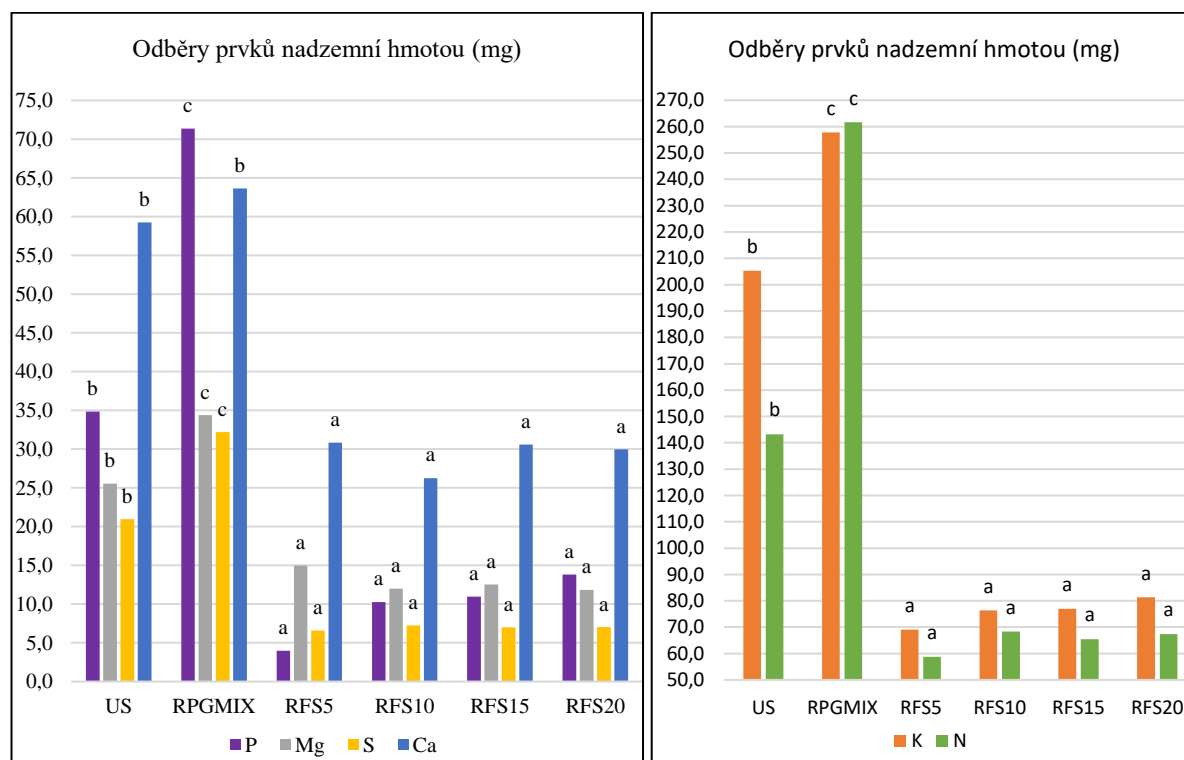


Graf č. 8 znázorňuje odběry P, Mg, S a Ca nadzemní hmotou v mg, graf č. 9 odběry K a N. Z grafického znázornění je zřejmé, že největší množství všech živin bylo odebráno rostlinami pěstovanými v RPGMIX.

Množství fosforu v US se od RPGMIX značně lišilo. V RFS substrátech bylo dosaženo vzájemné statistické podobnosti všech prvků ve všech variantách. Naopak u kontrolních substrátů byly hodnoty ve srovnání s RFS substráty vždy průkazně vyšší.

Graf č. 8 Odběry P, Mg, S, Ca nadzemní hmotou

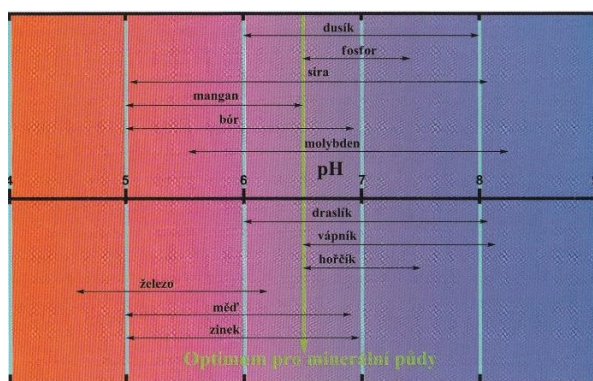
Graf č. 9 Odběry K a N nadzemní hmotou



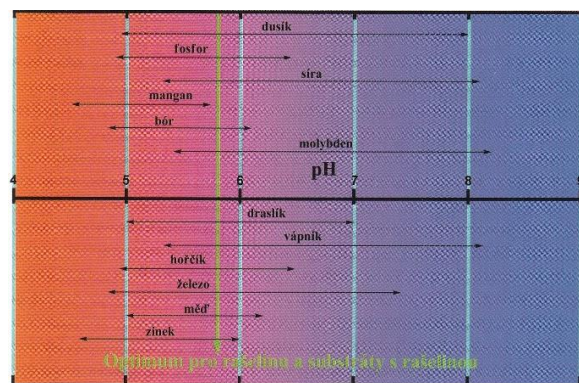
6 Diskuze

Mezi nejdůležitější parametry substrátu patří jeho pH. Hodnota pH ovlivňuje příjem živin rostlinami, a může tak způsobit i jejich nedostatek v rostlinách. Je proto žádoucí se vyvarovat extrémnějším hodnotám, a to hlavně vyšším alkalickým, které výrazně snižují přijatelnost většiny živin, ale podobně i silně kyselým hodnotám, které jsou nepříznivé pro rozpustnost a přijatelnost fosforu, vápníku a hořčíku (Vaněk et al., 2012). Protože bylo pH rašeliny (pH – 3,7) kyselé a FS naopak zásadité (pH – 9,3), jevílo se míchání těchto materiálů jako vhodné. Při vstupních rozborech bylo naměřeno $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ RFS substrátů okolo 4,5. Do RFS substrátů byl však přidán vápenitý dolomit, který má pomalou rozpustnost, a tak nemohl při vstupním rozboru pH zvýšit. Pomalým rozpouštěním vápenitého dolomitu v substrátech se měnilo i $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ RFS substrátů, které se po sklizni pokusů pohybovalo od 6,38 do 6,49. Vaněk et al. (2012) uvádí, že optimální hodnota pH pro příjem většiny živin v čisté rašelině a jiných materiálech s vysokým obsahem organických látek je okolo 5,8 (viz. obrázek č. 3). Vhodné pH pro příjem živin v minerálních půdách je 6,5 (viz. obrázek č.2). U běžně dostupných univerzálních substrátů se pH pohybuje od 5,5 do 6,5. Výsledné hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ RFS substrátů byly proto vhodné. Hodnota $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ve vzorcích RFS substrátů před sázením se pohybovala od 4 do 4,25. V posklizňovém měření substrátů byly naměřeny podobně jako v $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ hodnoty vyšší a to od 6,1 do 6,3.

Obrázek č. 2 Rozsah vhodného pH pro příjem živin v minerálních půdách (Vaněk et al., 2012)



Obrázek č. 3 Rozsah vhodného pH pro příjem živin v rašelině a v substrátech s převahou rašeliny (Vaněk et al., 2012)



Posklizňová vodivost (EC) RFS substrátů, kromě varianty RFS5, byla vyšší než ve vstupních substrátech. Pohybovala se mezi hodnotami 0,28-0,77 mS/cm. Podle toho můžeme

usuzovat, že se živiny v substrátech uvolnily, avšak nebyly rostlinami ve stejné míře spotřebovány. Šrámek a Dubský (2014) v metodice uvádějí, že vhodná vodivost substrátů pro rostliny se středními nebo vyššími nároky na živiny se pohybuje v rozmezí 0,2-0,65 mS/cm. Jediná varianta RFS20 vykazovala vyšší hodnotu. U ostatních RFS substrátů byla EC v optimálním rozmezí. Kontrolní substrát RPGMIX vykazoval při posklizňovém měření vysoké hodnoty EC a to 1,24 mS/cm; kontrolní US pak 0,86 mS/cm. Je zřejmé, že kontrolní substráty měly v posklizňovém rozboru vyšší koncentraci živin, než byla požadována rostlinou. Rostlina proto nepřijala všechny živiny, což vedlo k hromadění solí v substrátech.

Obsah dusíku v substrátech po sklizni byl měřen pouze metodou výluhu 0,01 mol/l CaCl₂ a metodou CAD. Byly zde měřeny obsahy NH₄⁺ a NO₃⁻. Barampouti et al., (2020) ve své práci uvádí, že obsah dusíku ve fugátech je jen nepatrně nižší než v separovaných digestátech. Ve vstupních rozbozech však měl fugát se slámou jen malé množství celkového dusíku. To se odrazilo i v namíchaných RFS substrátech. Obsah dusíku v amonné formě z výluhu 0,01 mol/l CaCl₂ byl naměřen ve vzorcích RFS substrátů po sklizni v rozmezí 14,2-25,6 mg/kg a v dusičnanové formě v rozmezí 6,9-78,8 mg/kg. Obsah dusíku ve vzorcích RFS substrátů po sklizni v amonné formě měřený metodou CAD byl naměřen v rozmezí 31,1-41,3 mg/kg, obsah dusíku v dusičnanové formě v rozmezí 29,7-94,2 mg/kg. V obou analýzách dusíku RFS substrátů po sklizni bylo naměřeno výrazně méně amonného dusíku než v kontrolních substrátech. Dusičnanového dusíku bylo ve variantách RFS15 a RFS20 naopak naměřeno výrazně více než v kontrolních substrátech, a to v obou analýzách. Celkový obsah dusíku ve všech variantách byl velmi nízký. Z výsledků studie provedené Holm a Heinsoo (2014) lze určit optimální množství N v substrátu. Při hnojení digestátem (2 g N týdně na 5 l substrátu) bylo zaznamenáno spálení rostlin. Jako optimální hladinu tak udávají 0,5 g N týdně na 5 l substrátu, kdy dosáhli obsahu 2600 mg N/kg. Kontrolní, nehnojený vzorek pro srovnání obsahoval 1500 mg/kg N ve výsledném substrátu. Z důvodu nedostatečného množství dusíku v RFS substrátech vykazovaly rostliny jeho nedostatek. Muselo proto dojít k jeho doplnění ve formě dusičnanu vápenatého.

Obsah fosforu měřený ve vodném výluhu po sklizni se v RFS substrátech pohyboval v rozmezí 33,4-78,8 mg/kg, ve výluhu 0,01 mol/l CaCl₂ se pohyboval v rozmezí 11,6-49,6 mg/kg, metodou CAD byl naměřen v rozmezí 33,8-140 mg/kg, metodou Mehlich 3 v rozmezí 18,6-74,2 mg/kg. Marschner (1995) uvádí, že běžný obsah P v půdách se pohybuje v rozmezí 0,8-8 mg/kg. Hodnoty P naměřené v RFS substrátech jsou tedy několikanásobně vyšší než podle Marschner (1995). Do substrátů se však běžně doplňuje vyšší množství přístupných živin, protože rostliny jsou pěstovány v omezeném prostoru, a nemohou tak získat živiny z okolní půdy.

Vaněk et al., (2007) uvádí, že průměrný obsah draslíku v půdním roztoku činí 12 mg/kg. Ve vzorcích RFS substrátů po sklizni byl obsah K ve vodném výluhu naměřen v rozmezí 97-916 mg/kg, což je až 76krát více než uvádí Vaněk et al., (2007). Ve výluhu 0,01 mol/l CaCl₂ se množství rychle přístupného K v RFS substrátech po sklizni pohybovalo v rozmezí 152-1533 mg/kg. Metodou CAD byl obsah K v RFS substrátech po sklizni naměřen v rozmezí 372-3155 mg/kg. Obsah přístupného K měřeného metodou Mehlich 3 se po sklizni v RFS substrátech pohyboval v rozmezí 200-1435 mg/kg. Vaněk et al., (2007) uvádějí obsah přijatelného K v půdě stanovený metodou Mehlich 3 v rozmezí 50-640 mg/kg. Tomuto rozmezí se nejvíce blížily hodnoty naměřené ve variantách RFS5 a RFS10.

Obsah vápníku měřený po sklizni ve vodném výluhu se ve vzorcích RFS substrátů pohyboval v rozmezí 387-558 mg/kg. Metodou Mehlich 3 byl celkový obsah Ca ve vzorcích posklizňových RFS substrátů naměřen v rozmezí 4813-5283 mg/kg. Vaněk et al., (2012) uvádějí, že celkový obsah se může pohybovat v širokém rozmezí od 0,15 (na kyselých písčitých půdách v humidních oblastech) do 10 % i více (na půdách karbonátových), v přepočtu tedy 1500-100000 mg/kg. Proto se dá obsah Ca naměřený v substrátech považovat za optimální.

Barampouti et al., (2020) uvádí celkové množství hořčíku ve fugátu v rozmezí 300-500 mg/kg. Použitý FS měl obsah Mg ve vodném výluhu 528 mg/kg, to mohlo příznivě ovlivnit obsahy Mg u RFS substrátů. Obsah hořčíku ve vodném výluhu v RFS substrátech po sklizni byl 196-254 mg/kg. Obsah Mg ve výluhu 0,01mol/l CaCl₂ posklizňových RFS substrátů měl hodnoty v rozmezí 1237-1375 mg/kg. Potencionálně přístupný Mg byl naměřen v RFS substrátech po sklizni v rozmezí 3864-4373 mg/kg. Obsah Mg v Mehlich 3 byl naměřen v RFS substrátech po sklizni v rozmezí 2257-2591 mg/kg. V univerzálním substrátu byly hodnoty Mg nižší než u RFS substrátů. Vaněk et al., (2012) uvádějí průměrný obsah hořčíku v půdách v rozmezí 4000-6000 mg/kg. Je tedy zřejmé, že hodnoty potenciálně přístupného Mg v RFS substrátech po sklizni stanoveného metodou Mehlich 3 byly podobné, jako je celkový obsah hořčíku v půdách, a tedy i velmi vysoké. Na druhou stranu nelze předpokládat, že by se v testovaných substrátech vyskytoval významný podíl vázaného Mg. Zdrojem Mg byl převážně vápenitý dolomit přidávaný do RFS substrátů. Dávky tohoto hnojiva by tak bylo možno na základě výsledných hodnot pH, obsahu Ca a Mg snížit.

Obsah okamžitě přijatelné síry měřené ve vodném výluhu se v RFS substrátech po sklizni pohyboval v rozmezí 42,1-65 mg/kg. Ve výluhu 0,01mol/l CaCl₂ se pohyboval v rozmezí 31,2-42,6 mg/kg. Potencionálně přístupná S v RFS substrátech po sklizni měřená Metodou CAD se pohybovala v rozmezí 56,3-100,6 mg/kg. Obsah S v RFS substrátech po sklizni analyzován metodou Mehlich 3 byl naměřen v rozmezí 21,8-34,5 mg/kg. Ve všech analýzách RFS substrátů po sklizni byly hodnoty S výrazně nízké oproti kontrolním substrátům, avšak v některých případech bylo množství S vyšší než při vstupních rozborech substrátů. Vaněk et al. (2012), uvádějí, že na většině zemědělských půdách celkový obsah S kolísá mezi hodnotami od 50 do 500 mg/kg.

Výnosy sušiny rostlin v RFS substrátech byly oproti kontrolním substrátům velmi nízké, a to 2,3-2,9 g. Je tedy zřejmé, že RFS substráty nevykazovaly ideální vlastnosti pro pěstování máty a nedosahovaly výnosové úrovně kontrolních substrátů.

Procentický obsah sušiny rostlin v RFS substrátech se blížil substrátům kontrolním. Jediná varianta RFS5 měla vyšší výnos sušiny rostlin než kontrola RPGMIX. Všechny rostliny z RFS substrátů měly hodnoty nižší než z US.

Dále byl hodnocen obsah prvků v sušině rostlin. V případě N byla zjištěna výjimka pouze u univerzálního substrátu, kde rostliny z variant RFS10, RFS15, RFS20 měly v sušině vyšší obsah. U rostlin pěstovaných v RFS substrátech se množství N pohybovalo v rozmezí 20808-29615 mg/kg. Maia et al. (2004) ve svém výzkumu uvádějí, že v sušině listů máty pěstované v kontrolním substrátu byl obsah dusíku 27600 mg/kg, což přibližně koresponduje s výsledky RFS substrátů. U rostlin z RFS substrátů byl obsah fosforu v sušině výrazně nižší než u rostlin z kontrolních substrátů. U rostlin pěstovaných v RFS substrátech se množství P pohybovalo v rozmezí 1400-5170 mg/kg. Maia et al. (2004) ve svém výzkumu uvádějí, že v sušině máty pěstované v kontrolním substrátu byl obsah P 2900 mg/kg, což je výrazně méně než u většiny

rostlin z RFS substrátů. Pouze u substrátu RFS5 byla tato hodnota nižší. Obsah vápníku v rostlinách pěstovaných v RFS substrátech výrazně převyšoval nad obsahem rostlin univerzálních substrátů. U rostlin pěstovaných v RFS substrátech se množství Ca pohybovalo v rozmezí 10869-13072 mg/kg. Maia et al. (2004) také uvádějí vyšší obsah Ca v sušině, a to 15700 mg/kg. U obsahu draslíku v sušině máty pěstované v RFS substrátech bylo dosaženo velmi podobných výsledků jako u kontrolních substrátů. U rostlin pěstovaných v RFS substrátech se množství K pohybovalo v rozmezí 24434-33257 mg/kg. Maia et al. (2004) naměřily v kontrolním substrátu 19400 mg K/kg, což je výrazně méně. Podobně tomu bylo i u hořčiku, kde však nepatrně vyšší množství měly rostliny RFS substrátů. U rostlin pěstovaných v RFS substrátech se množství Mg pohybovalo v rozmezí 4826-5328 mg/kg. Maia et al. (2004) uvádějí výrazně nižší obsah Mg v sušině kontrolního substrátu a to 3300 mg/kg. V případě síry byl obsah v rostlinách pěstovaných v RFS substrátech nižší než u kontrolních substrátů. U rostlin pěstovaných v RFS substrátech se množství S pohybovalo v rozmezí 2311-3105 mg/kg. V porovnání s mátou pěstovanou v kontrolním substrátu studie Maia et al. (2004) je obsah S v sušině nižší než v RFS substrátech.

Odběry živin ze všech RFS variant substrátů byly velmi nízké a nedosahovaly hodnot kontrolních substrátů.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnocení vlastností substrátů složených z rašeliny, fugátu a slámy a vápenitého dolomitu z hlediska pH a obsahu přístupných makroprvků a dále nalezení nejvhodnější kombinace těchto materiálů pro pěstování máty. RFS substráty byly porovnávány s kontrolními substráty US a RPGMIX.

Podle předpokladu přidavek fugátu se slámou a vápenitého dolomitu ovlivnil pH rašeliny, ale i obsah přístupných makroprvků. Pozvolné uvolňování vápenitého dolomitu pravděpodobně způsobilo postupné zvýšení hodnoty pH, které vedlo k dosažení optimální hodnoty v substrátech po sklizni pokusu.

Po sklizni pokusu byly vyhodnoceny obsahy přístupných makroprvků v substrátu. Ty byly v mnoha případech vyšší než obsahy při založení pokusu. Při vyhodnocení obsahu dusíku metodou výluhu 0,01 mol/l CaCl_2 v posklizňových substrátech bylo zjištěno, že vyšší obsah dusíku než kontrolní substráty měla varianta RFS15. Při vyhodnocení metodou CAD bylo zjištěno, že ve variantách RFS15 a RFS20 bylo naměřeno více přijatelného dusíku než v kontrolních substrátech. V případě fosforu hodnoty kontrolních substrátů (US a RPGMIX) výrazně převyšovaly nad variantami RFS substrátů. Ve variantě RFS20 bylo zjištěno nejvíce přístupného draslíku a jeho hodnoty jako jediné z RFS variant převyšovaly i nad kontrolními substráty. Obsah vápníku ve všech RFS variantách byl vyšší než u kontrolních substrátů, avšak rozdíl nebyl statisticky průkazný. U všech variant RFS substrátů bylo dosaženo podobného obsahu hořčíku s kontrolou RPGMIX, ale obsah hořčíku v US byl prokazatelně nižší. V případě obsahu přístupné síry měly oba kontrolní substráty prokazatelně vyšší hodnoty než RFS substráty.

Bylo zjištěno, že nejvhodnější kombinace pro pěstování máty (při porovnání RFS substrátů) byla z hlediska výnosu sušiny varianta RFS5. U této varianty bylo rovněž naměřeno nejvyšší procento sušiny v rostlinách ze všech RFS substrátů. Sušina nadzemní části máty však v této variantě obsahovala nejméně makroprvků. I když tato varianta substrátu byla z hlediska výnosu ze všech RFS variant nejlepší, výnosy kontrolních substrátů byly několikanásobně vyšší. Variantu RFS5 následovaly varianty RFS20, RFS15 a RFS10. Nízké výnosy RFS substrátů způsobil pravděpodobně nízký obsah dusíku v substrátech na počátku vegetace. Proto by měl být v navazujícím výzkumu tento nedostatek odstraněn včasným hnojením.

8 Použitá literatura

- Abbasi, T., Tauseef S.M. a Abbasi S.A. *Biogas Energy*. 1. New York: Springer, 2012. ISBN 978-1-4614-1039-3.
- Ashley, M. K., Grant, M., a Grabov, A. (2006). Plant responses to potassium deficiencies: A role for potassium transport proteins. *Journal of Experimental Botany*, 57, 425–436.
- Bačík, O.: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. *Biom.cz* [online]. 2008-01-14 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.
- Barker, A. V. a Pilbeam D. J. *Handbook of plant nutrition*. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300: 0-8247-5904-4, 2007. ISBN 0-8247-5904-4.
- Bunth, A. C., Hons, N. D. a Biol, M. I. *Media and mixes for container-grown plants: A manual on the preparation and use of growing media for pot plants*. Second edition. UK, 1988. ISBN 978-94-011-7906-5.
- Barampouti, E.M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K., Loizidou, M. Exploring technological alternatives of nutrient recovery from digestate as a secondary resource. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2020, 134 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <doi: 10.1016/j.rser.2020.110379>. ISSN 13640321
- CZ BIOM. 2009. *Průvodce pro výrobu a zpracování bioplynu*. CZ BIOM – České sdružení pro biomasu. Praha. 155 s. ISBN 9788090377752.
- CZ BIOM: Dostatek kvalitních vstupních surovin pro výrobu bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2015-09-11 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/dostatek-kvalitnich-vstupnich-surovin-pro-vyrobu-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- Dajčl, J., Doležal, J., Holubík, O., Hronová, T., Jančíková, S., Komprsová, I., Kaplan, L: *Biom, časopis o energii, co roste: DIGESTÁT POKAŽDĚ JINAK*. 2020. ISSN 1801-4038.
- Deublein, D. a Steinhauser, A. *Biogas: from Waste and Renewable Resources*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2008. ISBN 978-3-527-31841-4.
- Dimambro, M. Novel uses for digestate: Protected horticulture (2015) 20th European Biosolids and Organic Resources Conference and Exhibition. 12 s. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/284169259_Novel_uses_for_digestate_Protected_horticulture>.
- EXCEL. Microsoft Office Excel 2007. Microsoft office Enterprise 2007. USA. release SP2
- Fragaro, M. E., ed. *Plants and the Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity*. Weinheim: Verlagsgesellschaft mbH, 1994. ISBN 3-527-28269-6 (VCH, Weinheim).
- Formowitz, B. a Fritz, M. (2010). Biogas digestates as organic fertilizer in different crop rotations. *18th European Biomass Conference*. Lyon, France. Dostupné z: <<http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=6006>>

Houba VJG, Novozamsky I., Lexmond TM, Van der Lee JJ (1990) Applicability of 0.01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21:2281-2290.

Holm, B. a Heinsoo, K. 2014. Biogas Digestate Suitability for the Fertilisation of Young *Salix* Plants. *Baltic Forestry* 20(2): 263-271. Dostupné také z: <https://www.researchgate.net/publication/279102538_Biogas_Digestate_Suitability_for_the_Fertilisation_of_Young_Salix_Plants>

Jeřábková, J. a Duffková, R. Využití digestátu jako hnojiva. *Biom.cz* [online]. 2019-06-21 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.

Kára, J., Pastorek, Z., Příbyl, E. et al. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT Praha – Ruzyně. Praha. 117 s. ISBN: 978-80-86884-28-8

Kolář, L., Vaněk, V., Kužel, S. 2010. Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv – sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2

Liedl, B. E., Cummins, M., Young, A., Williams, M. L., Chatfield, J. M. (2004). Liquid effluent from poultry waste bioremediation as a potential nutrient source for hydroponic tomato production. *Acta Horticulturae*, 659, 647-652.

Lubbersen, J. How can a phosphorus deficiency in plants be prevented? *Royal Brinkman* [online]. 2019, 11.11. 2019 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <<https://royalbrinkman.com/knowledge-center/crop-care/recognize-phosphorus-deficiency>>

Luscombe, P.C., Syers J.K., Gregg, P.E.H., 1979: Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10, 1361-1369. DOI: 10.1080/00103627909366991

Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego CA. USA. 889 p. ISBN: 0-12-473542-8. Hydroponic cultivation of mint and vetiver with spirostane analogues of brassinosteroids. *Acta horticulturae* [online]. 2004, (644), 55-59 [cit. 2021-4-28]. ISSN 05677572. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/283932321_HYDROPONIC_CULTIVATION_OF_MINT_AND_VETIVER_WITH_SPIROSTANE_ANALOGUES_OF_BRASSINOSTEROIDS>

Marada, P., Večeřová V., Kamarád, L., Dundáková P., Mareček J. *Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem*. Vydání 2. Brno, 2008. Dostupné také z: <http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf>

Maher, M., Prasad, M., Raviv, M. 2008. Organic soilless media components. In *Soilless culture: Theory and practice*, ed. M. Raviv and J. H. Lieth, 459–504. Oxford: Elsevier.

Mehlich, A.: Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1984, s. 1409-1416

- Minasny, B., McBratney A. B., Brough, D. M., Jacquier, D., 2011, Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration, University of Sydney, Australia, p. 728 – 732. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2011.01386.x
Dostupné také z:
<https://www.researchgate.net/publication/234017463_Models_relating_soil_pH_measurements_in_water_and_calcium_chloride_that_incorporate_electrolyte_concentration >
- Molek, T. Bioplyn a bioplynové stanice v ČR. *Oenergetice.cz* [online]. 31. srpen 2015 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <<https://oenergetice.cz/elektrina/bioplyn-a-bioplynove-stanice-v-cr>>
- Möller, K., Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12, 247-257. Dostupné z: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/elsc.201100085>>
- Mudhoo, A., ed. *Biogas Production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*. 1. New Jersey: Scrivener Publishing, 2012. ISBN 978-1-118-06285-2.
- Neal, J. a Wilkie, A. C. (2014). Anaerobic Digester Effluent as Fertilizer for Hydroponically Grown Tomatoes. *University of Florida Journal of Undergraduate Research*, 15, 1-5.
- Pandey, G. K. a Mahiwal, S. *Role of Potassium in Plants: SpringerBriefs in Plant Science*. Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland: Springer, 2020. ISBN 978-3-030-45952-9.
- Restrepo, A.P., Medina, E., Pérez-Espinosa, A., Agulló, E., Bustamante, M.A., Mininni, C. MP Bernal & R. Moral (2013) Substitution of Peat in Horticultural Seedlings: Suitability of Digestate-Derived Compost from Cattle Manure and Maize Silage Codigestion, DOI: 10.1080 / 00103624.2013.748004
- Risberg, K. (2015). *Quality and function of anaerobic digestion residues*. PhD, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2015. ISBN 978-91-576-8279-6. ISSN 1652-6880.
- Richter, R. Symptomy nedostatku a nadbytku dusíku. *Web2.mendelu* [online]. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, 23.01. 2004 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/nsymptomy.htm>
- Richter, R. Symptomy nedostatku a nadbytku draslíku. *Web2.mendelu* [online]. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, 27.01. 2004 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/nsymptomy.htm>
- Song, T. A., Dragicevic I., Linjordet R., Krogstad, T., Eijsink, V. G. H. a Eich-Greatorex, S. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* [online]. 2018, 7(1), 49-58 [cit. 2021-04-13]. ISSN 21953228. Dostupné z: <[doi:10.1007/s40093-017-0188-0](https://doi.org/10.1007/s40093-017-0188-0)>

StatSoft. 2017. Statistica. StatSoft Inc. 1984-2013 s.r.o. ver. 12 Praha. Česká republika

Šrámek, F. a Dubský, M. *Certifikovaná metodika č. 1/2014-053: Hodnocení střešních substrátů a jejich zařazení do systému typových substrátů definovaných ve Vyhlášce 131/2014 Sb. Zpracovaná v rámci řešení projektu TAČR TA01020252 Nové komponenty pro střešní substráty*. Průhonice: VÝZKUMNÝ ÚSTAV SILVA TAROUČY PRO KRAJINU A OKRASNÉ ZAHRADNICTVÍ, v.v.i. 252 43 Průhonice Česká republika, 2014, 24 s. Dostupné také z: <https://www.vukoz.cz/dokumenty/053/metodika_stresni_substraty.pdf>

Tlustoš, P. *Pěstební substráty s komponenty na bázi separátů: certifikovaná metodika / Pavel Tlustoš a kol.* 2016. ISBN 9788021327115.

Troeh, F. R. a Thomson L. M. *Soils and soil fertility*. Vydání 2. UK: Blackwell Publishing, 2005. ISBN 0-8138-0955-X.

ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ. *Digestáty a jejich využití v zemědělství*. Praha, 2016. Dostupné také z: <http://eagri.cz/public/web/file/458518/Digestaty_final2_WEB_optim.pdf>

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press. s.r.o. Praha. 167 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Academia. Praha. 570 s. ISBN 9788020021472

Váňa, J. Využití digestátů jako organického hnojiva. *Biom.cz* [online]. 2007-04-25 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.

Váňa, J. Bioplynové stanice na využití bioodpadů. *Biom.cz* [online]. 2010-05-10 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-vyuziti-bioodpadu>>. ISSN: 1801-2655.

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. 2021-03-27]. Dostupné z WWW: <<https://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>>. ISSN: 1801-2655.

Wellinger, A., Murphy J. a Baxter D., ed. *The biogas handbook: Science, production and applications*. Oxford: Woodhead Publishing Limited, 2013. ISBN 978-0-85709-498-8.

Wiedenhoeft, A. C. *Plant Nutrition*. New York: Infobase Publishing, 2006. ISBN 0-7910-8564-3.

WRAP (2012). Digestate & compost in agriculture. Bulletin 3 - March 2012. Field experiments focus on crop available nitrogen supply from digestate. Banbury: WRAP.